

F129 - Atividade Experimental 3

Estudo de colisões unidimensionais e propagação de incertezas¹

Apresentação

O núcleo atômico foi descoberto em um experimento no qual partículas alfa (núcleos de He4) colidiram com folhas de Au. Rutherford, ao analisar o resultado do experimento concluiu que as partículas alfa estavam colidindo com pequenos corpos de carga positiva e dimensões muito menores que as do átomo e que concentram quase toda a massa deste.² Este é somente um exemplo das muitas aplicações do estudo de colisões.³

No nosso laboratório, podemos estudar a física envolvida nas colisões através de um modelo experimental simples, utilizando duas esferas e uma rampa de lançamento (Fig. 1). Uma das esferas é abandonada de um ponto fixo na rampa (esfera projétil) e colide com a segunda, em repouso no final da rampa (esfera alvo). A distância viajada pela esfera alvo, após a colisão, pode ser determinada registrando o seu ponto de impacto sobre a bancada. Repetindo-se essa colisão inúmeras vezes, os pontos de impacto apresentam uma certa variação que permite que se obtenha um valor médio de alcance e seu desvio padrão experimental.

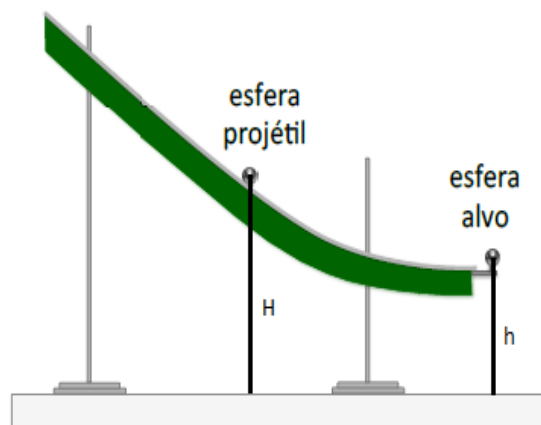


Figura 1. Montagem para o experimento de colisão de esferas, mostrando a altura de lançamento, H , de onde é solta a esfera projétil, e a altura da ponta da rampa, h , de onde é lançada a esfera alvo após a colisão.

¹ Versão adaptada pelos Profs Sandro Guedes e Julio Hadler da apostila “Aplicando propagação de incertezas a um experimento de colisões”, de autoria do Prof. Luís E. E. de Araújo.

² Para mais detalhes, veja o capítulo sobre Física Nuclear no volume 4 de Fundamentos da Física (Halliday, Resnick e Walker) disponível na biblioteca do IFGW.

³ Veja outro exemplo em “A Física utilizada na investigação de acidentes de trânsito”, por Kleer, Thielo e Santos (Cad. Cat. Ens. Fis, v.14, p.160-169, 1997), disponível no Moodle.

Materiais

Os seguintes materiais são necessários para a realização deste experimento:

- Esferas de aço
- Esferas de madeira
- Rampa de lançamento
- Nível de bolha de ar
- Régua ou trena milimetrada
- Folhas de cartolina branca
- Papel carbono de cores diferentes;
- Fita crepe ou fita adesiva
- Balança digital
- Prumo de linha

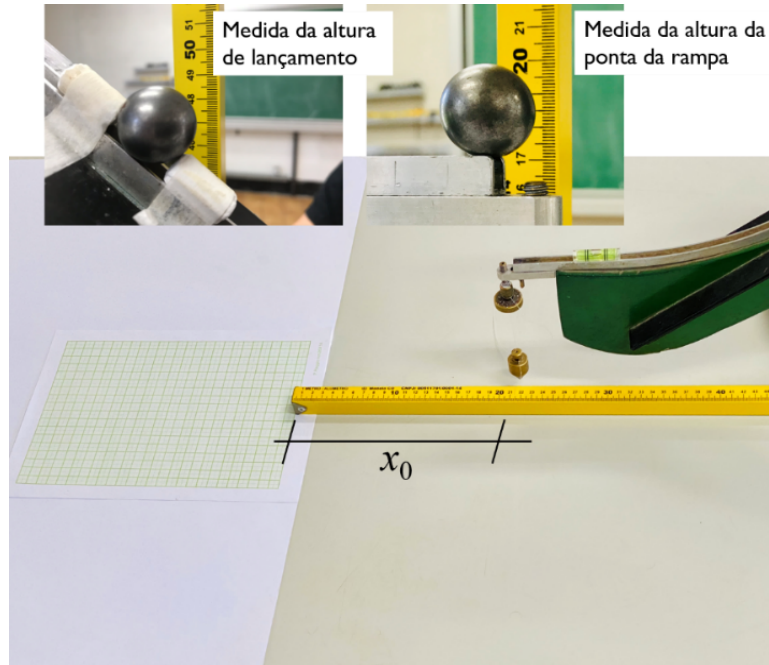


Figura 2. Esquema da montagem experimental mostrando o nivelamento da rampa, a determinação da referência com o prumo de linha e os parâmetros experimentais relevantes para a realização do experimento.

A montagem é a mesma utilizada no experimento de lançamento de esferas (Fig. 2), inclusive com os mesmos ajustes. A rampa de lançamento deve ser nivelada com o nível de bolha de ar, para garantir que o lançamento das esferas seja horizontal. A altura de lançamento, H , e a altura da ponta da rampa, h , devem ser medidas com uma régua milimetrada. A distância da ponta da rampa até a margem da folha milimetrada, x_0 , também deve ser medida com a régua milimetrada. Os valores de H e h podem ser os mesmos usados no experimento 1.

Parte 1: Execução / Análise

- Faça uma colisão de duas esferas de aço de massas iguais (diferença máxima de 0,1 ou 0,2 gramas para massas de aproximadamente 43 gramas). Meça as massas em uma balança inicialmente. Posicione a esfera alvo no final da rampa de modo que seu centro de massa fique sobre a marca zero da cartolina. Lance a esfera projétil do ponto “H” por 20 vezes. Meça o alcance médio e o desvio padrão experimental.
 - Como será explorado mais à frente, há uma tendência da esfera projétil de cair na mesa algumas vezes, produzindo marcas indesejadas pela presença do papel carbono. Evite isto!

Parte 2: Execução / Análise

- Planeje experimentos para analisar em mais profundidade o caso da colisão de esferas de aço de mesma massa. Sugestão: utilizando a câmera lenta de um aparelho celular filme a colisão destas esferas, quais conclusões você pode tirar desta filmagem. Essas conclusões corroboram as análises realizadas na Parte 1.
- Filme também a colisão de duas esferas de madeira de mesma massa. Que diferenças você pode ver nos dois casos em particular fale sobre o tempo de colisão nos dois casos.

Parte 3: Execução / Análise

- Calcule a velocidade média de lançamento das esferas de aço e madeira sem colisão, fazendo, em ambos os casos, a propagação das incertezas (no alcance e no tempo de queda).
- Calcule também a velocidade média de lançamento das esferas de aço sem colisão e com colisão. Que conclusão pode ser tirada caso essas velocidades sejam iguais dentro das devidas incertezas? E se forem diferentes temos dois casos, quando a esfera com colisão tem alcance menor que a sem colisão e quando a esfera com colisão tem alcance maior do que a sem colisão. Neste último caso, antes de hipotetizar a violação da conservação de energia, pense um pouco mais!

Incerteza experimentais

Para cada uma das grandezas medidas, e cujos valores estão apresentados na seção anterior, faça a avaliação das incertezas. Considere que a precisão do instrumento de medida é

dada pelo algarismo menos significativo apresentado. Organize as incertezas obtidas, para cada grandeza, na forma de tabelas (mesmo que só uma fonte de incerteza seja identificada) - as tabelas devem ser construídas com base no formato da Tabela 1.

Tabela 1. Modelo de tabela para organizar as incertezas do experimento.

| Fonte da Incerteza | Símbolo para esta incerteza | Incerteza-padrão | f.d.p utilizada | Tipo de avaliação |
|--|-----------------------------|------------------|-----------------|-------------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| Incerteza-padrão combinada para esta grandeza: | | | | |

Relatório

O relatório deve ser elaborado seguindo o padrão adotado até aqui na disciplina e descrito em “Formato do relatório”. Antes de começar a escrever, organizem os dados em tabelas, incluindo as tabelas de ocorrência e aquelas listando as várias fontes de incerteza de cada medição. Façam as análises pedidas no roteiro e identifiquem os principais resultados. Quaisquer dúvidas devem ser tiradas com os professores e monitores da disciplina antes da entrega do relatório.

(Importante: As questões de 1 a 13 devem ser entendidas como guias para compor o relatório de uma página. Eventualmente algumas delas podem ser respondidas no anexo se assim for o desejo dos autores(as)).

Questão 1) No experimento 1, desconsiderando qualquer perda de energia, a velocidade da esfera ao final da rampa era:

$$V_0 = \sqrt{2g(H - h)}$$

Com esta fórmula, calcule a velocidade da esfera projétil V_0 .

Questão 2) Apresenta as equações para as velocidades finais (logo após a colisão) da esfera alvo V_a e da esfera projétil, V_p , em função da velocidade inicial V_0 da esfera projétil (no final da rampa, imediatamente antes de colidir com o alvo), da massa da esfera projétil m_p e da massa total, M , das duas esferas. Assuma que a colisão entre as esferas é frontal e elástica. **Detalhe:** não é necessário apresentar a dedução das equações. Consulte livros para obter estas relações.⁴

Questão 3) Usando o valor obtido para V_0 (Questão 1) e os valores de massa das esferas alvo e projétil fornecidas, calcule o valor esperado para V_a e V_p . Propague as incertezas destas três velocidades.

I. Alcance sem rolamento:

Questão 4) Como visto no experimento 1, o tempo de queda da esfera (t) entre o final da rampa e a bancada é:

$$t = \sqrt{2h/g}.$$

Usando esta fórmula e a velocidade V_a encontrada anteriormente (Questão 3), calcule o alcance teórico da esfera-alvo e a sua incerteza. Esta é uma boa aproximação? Comente.

II. Alcance com rolamento:

Questão 5) No experimento 1, usamos a conservação de energia para calcular a velocidade da esfera ao final da rampa e, a partir daí, o alcance da esfera. Em geral, observamos que o alcance experimental era significativamente menor que o teórico - isso porque não consideramos a energia rotacional. Levando em conta esta energia, a velocidade da esfera projétil ao final da rampa é:

$$V_0 = \sqrt{\frac{10}{7}g(H - h)}.$$

Agora, use os valores de H e h e calcule a velocidade V_0 dada pela equação acima. Com esta nova estimativa, obtenha a velocidade da esfera alvo V_a .

Questão 6) A partir do novo valor de V_a e do tempo de queda da esfera t , estime o alcance da esfera alvo e a sua incerteza.

⁴ Por exemplo: Fundamentos de Física - Vol. 1, de David Halliday, Robert Resnick e Jearl Walker.

III) Determinação do alcance experimental da esfera

Usando sua resultados obtidos em cima:

Questão 7) Para determinar o valor médio e desvio-padrão do alcance da esfera alvo, vamos usar um método aproximado. Faça um círculo contendo a maior parte dos lançamentos. **Você pode aproximar o diâmetro desse círculo por 4σ (por quê?).** Estima-se o alcance médio pelo centro do círculo. A distância do centro do círculo à margem inferior da folha de papel milimetrado deve ser medida e somada à distância x_0 . Qual o alcance médio que você obteve? Qual o desvio padrão?

Questão 8) Há outras fontes de incertezas para o alcance médio da esfera alvo? Faça uma tabela semelhante à Tabela 1 para esta grandeza, listando as fontes de incerteza e calculando a incerteza combinada. Não esqueça de usar o desvio padrão da média para a incerteza estatística.

4) Análise e Discussão

Questão 9) No experimento 1, usamos a conservação de energia (sem perda de qualquer espécie) para calcular o alcance da esfera quando esta bate na bancada. Este “alcance teórico” é significativamente maior do que os alcances experimentais obtidos, seja no experimento 1 (alcance da esfera de metal) e no experimento 3 (alcance da esfera de metal com colisão com esfera de mesma massa). Estes 2 alcances experimentais deveriam ser iguais ou muito próximos, se a colisão foi elástica. Isto vale para as massas das esferas usadas neste experimento?

Levando em conta que o atrito entre a esfera e a rampa ocorre sem deslizamento⁵, responda às seguintes questões:

Questão 10) Compare os alcances teóricos, aquele sem perdas de energia (calculado na Questão 4) e o com transformação parcial de energia translacional para energia de rotação (Questão 6) com os 2 valores experimentais: valor do deslocamento sem colisão (experimento 1) e valor com colisão (Questão 7). Comente.

⁵ Estamos trabalhando com a hipótese mais simples possível: Navalha de Ockham - leia sobre este princípio: https://pt.wikipedia.org/wiki/Navalha_de_Ockham.

Questão 11) Que fração da energia cinética de translação da esfera é “perdida”, ou seja, transformada em energia cinética de rotação?

Questão 12) Além da rotação, quais outros fenômenos físicos poderiam explicar uma eventual diferença entre as estimativas teóricas e experimentais?

Questão 13) Assista seu vídeo sobre colisões de esferas de metal com a mesma massa e descreva, em consonância com a física que permeia os experimentos, o que acontece com as esferas projétil e alvo antes, durante e após a colisão - quais fenômenos discutidos anteriormente podem ser percebidos?

Existe um software para fazer uma análise detalhada desse tipo de vídeo. No Laboratório 2, você usará o Tracker (<https://physlets.org/tracker/>).

Com este software gratuito, você pode facilmente obter o caminho (posição em função do tempo) das duas esferas. Usando isso, você pode determinar as velocidades antes e depois da colisão e compará-las com as expectativas deduzidas das marcas no papel. Além disso, você pode estimar a energia cinética. Eventualmente, você tem que usar valores relativos, pois os vídeos são considerados como 26 quadros/s - no caso de câmera lenta, esse valor é maior e você pode ajustá-lo no software, se você conseguir obter a taxa de quadros da sua câmera. Aqueles grupos que implementarem esta análise extra, podem receber um bônus na nota a critério do corretor.

Bibliografia

1. Halliday, Resnick e Walker. Fundamentos da Física, Volume 1, editora LTC.
2. Kirkup e Frenkel. An Introduction to Uncertainty in Measurement, editora Cambridge.
3. Derby e Fuller, 1999. Reality and Theory in a Collision. The Physics Teacher, v.37, p.24-27
4. (disponível no Moodle).