

Introdução

Historicamente, os físicos conheceram inicialmente a lei de conservação do momento linear [1]. Em 1666, membros da Royal Society of London assistiram a uma demonstração durante uma de suas reuniões. Duas bolas de madeira dura (com massas e diâmetros iguais) foram suspensas formando dois pêndulos. Ao suspender e abandonar uma das bolas em uma certa altura, deixando a segunda parada, a bola abandonada fez um movimento de descida e, após a colisão com a segunda bola, a primeira ficava parada enquanto a segunda adquiria movimento. Diminuindo-se o atrito, o movimento das bolas se repetia, ou seja, a bola seguinte voltava a colidir com a primeira e então retornava ao ponto de onde foi suspensa.

Todavia, a análise dessa realização experimental, seguindo apenas a lei da conservação do momento linear, não possibilita explicar o resultado experimental descrito acima, pois a lei de conservação do momento linear informa que o momento linear antes da colisão é exatamente igual ao momento linear após a colisão. A lei não indica como se repartem os momentos lineares. Por exemplo, a primeira bola poderia retornar para trás com velocidade igual à velocidade inicial, desde que a segunda bola fosse para frente com velocidade duas vezes a velocidade inicial da primeira bola. Além disso, qualquer outra combinação seria

Em 1668 Christiaan Huygens propôs uma nova lei de conservação: a quantidade mv^2 . Posteriormente, $\frac{1}{2}mv^2$ foi batizada de energia cinética

possível, desde que o momento linear inicial (antes da colisão) fosse igual ao momento linear final (depois da colisão).

Somente em 1668, dois anos depois da apresentação experimental, o físico holandês Christiaan Huygens, apresentou a solução. Ele demonstrou que era necessária uma nova lei de conservação. Era preciso conservar a quantidade mv^2 (grandeza escalar), além de $m\mathbf{v}$ (grandeza vetorial). Posteriormente, a quantidade $\frac{1}{2}mv^2$ foi batizada de energia cinética. Portanto, para explicar a experiência, é necessário usar a conservação do momento linear e da energia cinética.

Presentemente, nos cursos de mecânica clássica, seja no Ensino Médio ou no ensino superior, o assunto acerca das leis de conservação é abordado com uma visão quase sempre puramente teórica. Contudo, uma visão experimental, de qualquer tópico em estudo, apresenta diversas sutilezas, principalmente ajudando a despertar a curiosidade dos alunos e aguçando aspectos como o conhecimento da ordem de grandeza dos parâmetros físicos envolvidos, a visualização que possibilita a reprodutibilidade do aparato experimental, ou a caracterização da atividade lúdica. Na realização proposta nesse trabalho, todos esses pontos são explorados.

Descrição do aparato experimental

Foi pensando em uma atividade experimental que abordasse as leis de

.....
C. Chesman, C. Salvador e

E.S. de Sousa

Departamento de Física Teórica e

Experimental

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

E-mail: chesman@dfte.ufrn.br

.....
A. Albino Jr.

Centro Federal de Educação

Tecnológica do Rio Grande do Norte

E-mail: amadeu@cefetrn.br

A Física, por ser uma Ciência, tem necessidade de comprovar suas teorias ou modelos através da análise experimental. O objetivo deste trabalho é estudar comparativamente a teoria e a prática de um sistema mecânico. O experimento consiste em estudar colisões de bolas semelhantes às de bilhar em um aparato cujo funcionamento é o mesmo de um pêndulo físico (formado por um cordão e uma bola de bilhar). Outra bola de bilhar e uma cesta também fazem parte do modelo. Neste experimento, a posição de queda da segunda bola pode ser previamente determinada usando-se as leis de conservação do momento linear e da energia mecânica. A experiência foi efetuada variando-se o ângulo de largada do pêndulo físico e medindo-se o alcance. Os resultados demonstram a excelente concordância entre o modelo teórico e os dados experimentais. A vantagem desse experimento moldado pela mecânica clássica é a sua facilidade de operação, pois não necessita de cronômetro, e resulta em uma excelente atividade didática e em interessante atividade lúdica que pode ser facilmente usada como atrativo em demonstrações científicas.

conservação da mecânica que se elaborou um aparato experimental que tornasse a colisão entre duas bolas de bilhar algo experimental, didático e lúdico. O desenho do aparato experimental é mostrado na Fig. 1.

O aparato foi montado em madeira, de forma que uma das bolas (a que chamaremos de bola-2) foi suspensa por dois fios (fixados na madeira por parafusos), formando um pêndulo [2]. A segunda bola fixada sobre um parafuso (batizada de bola-1), cuja altura pode ser ajustada, sofreu a colisão com a bola-2 e foi arremessada, semelhante à experiência descrita na introdução. Caso a posição da cestinha, colocada em um plano abaixo, coincidissem com a posição do alcance da bola-1, essa bola cairia dentro da cestinha. O acerto da bola-1 dentro da cesta significa um gol ou pontos, como ocorre em jogos. Portanto, o aparato pode em princípio ser considerado como um jogo. Em demonstrações públicas, somente alguns participantes percebem que há uma relação entre o ângulo de largada e o alcance da bola-1 e que é completamente previsível o acerto da bola-1 na cestinha. Contudo, eles ficam deslumbrados ao descobrirem a relação e usam o conhecimento para prevalecer perante os demais participantes. Entretanto, conforme demonstrado, a posição da cestinha pode ser ajusta-

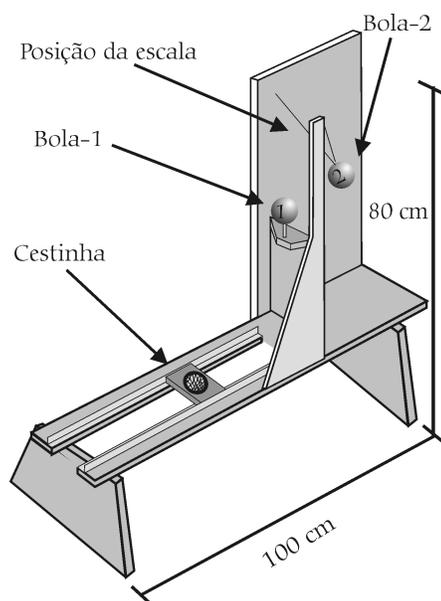


Figura 1. Desenho do aparato experimental.

da de acordo com o ângulo de largada da bola-2, conseguindo-se uma precisão maior do que 95%. Vale ressaltar que o aparato, apesar de abordar um assunto de mecânica, não necessita de cronômetros ou relógios e, principalmente, é de fácil manuseio.

Na Fig. 2 mostramos o desenho do modelo para descrever a realização experimental, quando a colisão é frontal. Para a condição de colisão frontal é necessário ajustar o parafuso onde fica apoiada a bola-1. Participam duas bolas idênticas, uma que faz parte de um pêndulo físico de comprimento L (bola-2), e outra (bola-1) que se encontra suspensa sobre o parafuso, estando a uma altura H do plano. Nesse plano de referência encontra-se uma cestinha a uma distância X da posição de saída da bola-1. A bola-2 é lançada de uma altura Y , formando um ângulo θ (definido como ângulo de largada) com posição vertical, conforme mostra a Fig. 2.

Inicialmente, o sistema está em equilíbrio estático, com o centro de massa da bola-1 alinhado horizontalmente com o centro de massa da bola-2, que será lançada de uma altura Y com relação a altura H . Quando a bola-2 é solta livremente, choca-se frontalmente com a bola-1, efetuando uma colisão quase que completamente elástica (perdendo somente 2% da energia inicial [1]). A relação entre a altura Y , o comprimento do pêndulo L e o ângulo de largada θ , é mostrada no canto superior esquerdo da Fig. 2.

Relação entre X e θ

É fácil demonstrar que existe uma relação entre o ângulo de largada θ da bola-2 e a posição do alcance X . A demonstração que segue pode ser amplamente apresentada e discutida em sala de aula para mostrar a necessidade da aplicação correta das leis de conservação do momento linear e da energia mecânica [3, 4]. Aqui usamos as leis de conservação para resolver um problema que, como dito anteriormente, pode ser confundido com um jogo.

Elevando a bola-2 a uma altura Y , teremos uma energia potencial gravitacional dada por mgY . Quando o pêndulo é solto, toda sua energia

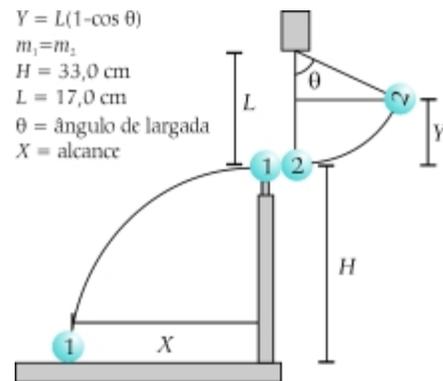


Figura 2. Modelo para a descrição experimental.

potencial é convertida em energia cinética, $\frac{1}{2}mv^2$, no ponto mais baixo da trajetória. Aplicando a lei de conservação do momento para bolas de massas iguais, a velocidade de saída da bola-1 será exatamente igual à velocidade da bola-2 no momento da colisão. É fácil demonstrar que o módulo do vetor velocidade (aponta horizontalmente), é dado por:

$$v_1 = \sqrt{2gL(1 - \cos\theta)}. \quad (1)$$

Usando o tempo de queda livre t_q da bola-1, da altura H , encontramos que o alcance X é

$$X = v_1 \cdot t_q = 2\sqrt{HL(1 - \cos\theta)}. \quad (2)$$

Isso mostra que o alcance X depende exclusivamente das alturas H e L e do ângulo de largada θ .

Na Fig. 3 apresentamos o gráfico do alcance X em função do ângulo de lançamento θ , quando usamos $L = 17,0$ cm e $H = 33,0$ cm. Os pontos no gráfico são os dados experimentais e a curva contínua é o resultado dado pela Eq. (2). Observa-se a excelente concordância entre os dados experimentais e teóricos. Comparando esses dois resultados, observa-se ainda que, experimentalmente, há uma relação simples entre X e θ , a qual é aproximadamente uma relação do tipo linear. Para H e L dados, a equação da reta é mostrada no gráfico como uma reta tracejada. Portanto, a relação entre X e θ é uma relação diretamente proporcional, ficando extremamente fácil calcular a posição em que ficará a cestinha. Com esses valores, para cada aumento de 10 graus em θ , teremos

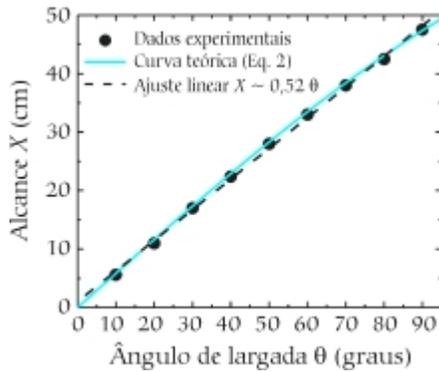


Figura 3. Gráfico do alcance X em função do ângulo de lançamento θ . O resultado é um comportamento praticamente linear entre X e θ .

um aumento de 5,2 cm no alcance X .

Posteriormente, concluímos também que é possível justificar matematicamente a relação de proporcionalidade entre X e θ . Basta escrever a expansão de $1 - \cos\theta$ [5]. Considerando somente o primeiro termo (θ^2), fazendo a transformação de radianos para graus e substituindo os valores de H e L , encontramos $X = 0,57\theta$. O coeficiente angular encontrado matematicamente é sempre superior ao determinado experimentalmente, pois ao considerar apenas o primeiro termo da expansão, a validade da aproximação se restringe a ângulos meno-

res do que 90° . Dessa forma, o ajuste matemático terá um erro menor do que 10% quando comparado aos dados experimentais para o maior ângulo.

Uma observação experimental importante refere-se ao instante de largar a bola-1. Para termos uma medida precisa do ângulo de largada, é necessário evitar o erro de paralaxe. Este é evitado quando se olha perpendicularmente para a escala trigonométrica no instante de obter a medida angular. O procedimento experimental consiste em olhar para os dois fios que sustentam a bola-1 e ao fazer essas observações perceber apenas o primeiro fio, pois o segundo estará na sombra do primeiro, e isso determina a medida angular como correta.

O mesmo aparato permite inúmeros experimentos intrigantes e excitantes que estão ainda sendo investigados. Por exemplo, a colisão entre bolas de massas diferentes, de tamanhos diferentes, a colisão não frontal ou ainda a colisão inelástica.

Conclusões

Apresentamos um novo aparato experimental para estudar colisões entre bolas. O equipamento em destaque, além da atividade educacional, pode ser usado como excelente ativi-

dade lúdica, pois o acerto da bolinha dentro da cestinha pode vir a ser usada como um jogo. Nesse aparato, demonstramos que existe uma relação simples entre o alcance X e a posição angular de lançamento θ ; portanto, o acerto da bolinha dentro da cestinha não é apenas um jogo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e a Pró-Reitoria de Pesquisa da UFRN pelo apoio institucional, à empresa Oficina Ciência pela confecção dos protótipos, ao Prof. Márcio Colombo pelas sugestões e aos bolsistas Neymar P. da Costa e Márcio V. de Araújo pela montagem da nova versão do equipamento.

Referências

- [1] G. Holton, F.J. Rutherford e F.G. Watson, *Projecto de Física - Unidade 3 (O triunfo da Mecânica)* (Fundação Calouste Gulbenkian, Portugal, 1980).
- [2] Fotografias coloridas do aparato experimental podem ser vistas no sítio www.oficinaciencia.com.br.
- [3] H.M. Nussenzveig, *Curso de Física Básica - Mecânica* (Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1981), 1ª ed.
- [4] A.C. Baratto, *Rev. Bras. Ens. Fís.* **21**, 40 (1999).
- [5] M.R. Spiegel, *Coleção Schaum - Manual de Fórmulas e Tabelas Matemáticas* (McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, 1974), 1ª ed.

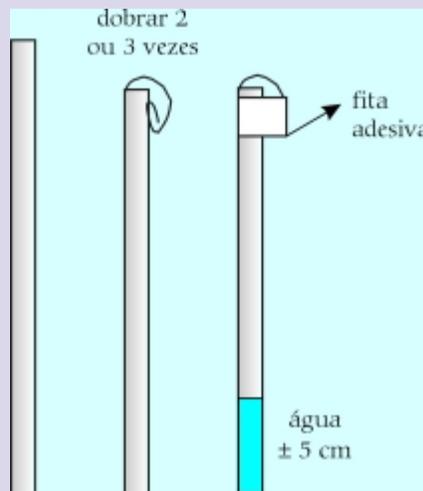


Um termômetro de canudo de refresco

Dobre um dos lados de um canudo de refresco duas ou três vezes e prenda com uma fita adesiva (veja figura). Pelo outro lado, aberto, coloque mais ou menos 5 cm de água. A maneira mais fácil de se fazer isso é ou colocando primeiramente a água e depois dobrando o outro lado ou apertando um pouco o canudo para que o mesmo funcione como um sugador. Pronto está feito seu termômetro.

Pela posição do menisco da água

podemos calibrar o termômetro. Ao colocar a parte dobrada do canudo em uma região mais quente (dentro de sua boca, por exemplo) o ar dentro do canudo se expandirá empurrando



a água para fora, e se o mesmo for colocado em um copo com gelo, o ar sofrerá contração e a água subirá pelo canudo.

Tendo por base a lei de Charles em que o volume do gás (neste caso o comprimento da coluna de ar) é proporcional a temperatura absoluta, segue que

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1 + 273}{T_2 + 273} = \frac{L_1}{L_2'}$$

sendo V_1 o volume e L_1 o comprimento da coluna do ar à temperatura T_1 , etc.

Referência

- String & Stick Tape experiments* (R.D. Edge, AAPT, 1981).

José Pedro Rino
DF - UFSCar