



Os estudantes de Ensino Médio demonstram preferência pelas aulas experimentais, quando supostamente o conhecimento é tratado de forma “mais concreta”, “aprender na prática”, como costumam dizer. Sem avançar na discussão epistemológica entre empirismo e racionalismo, o pêndulo de Newton (Fig. 1) pode contribuir para mostrar que a observação de um fenômeno desperta o interesse momentâneo dos alunos, mas somente o estudo sistemático e o domínio dos conteúdos poderão levar os estudantes à compreensão dos fatos observados.

Antes de iniciar a apresentação, é interessante o professor chamar a atenção dos alunos não apenas para o que eles observarão, mas também para o que eles não observarão

A abordagem aqui proposta pretende promover uma aula diferente daquelas em que o professor apresenta os conteúdos, explica e resolve exercícios. Na verdade, essa abordagem é complementar às aulas normalmente ministradas. O professor pode apresentar em sala de aula o pêndulo de Newton, fazendo as bolinhas oscilar, e motivar os alunos a utilizar seus conhecimentos de física a fim de explicar o funcionamento.

Procedimento

Antes de iniciar a apresentação, é interessante o professor chamar a atenção dos alunos não apenas para o que eles observarão, mas também para o que eles não observarão (isto permitirá o professor discutir sobre os “possíveis” resultados que não são verificados). O pêndulo deve ser colocado sobre uma mesa horizontal e mantido em repouso. Na dinâmica da apresentação, os alunos observarão o professor realizar uma série de oscilações com o pêndulo: inicialmente utilizando apenas uma bolinha; depois duas, três e quatro bolinhas. Antes de cada demonstração o professor pode indagar ao grupo sobre

quantas bolinhas se moverão na outra extremidade do pêndulo. Os alunos observarão que o número de bolinhas que iniciam o movimento em uma extremidade é sempre igual ao número de bolinhas que partem na extremidade oposta, após cada colisão. Este resultado, definitivamente, não é intuitivo. Pode-se avançar nas demonstrações, escolhendo duas bolinhas em uma extremidade e uma única na extremidade oposta, e soltando-as simultaneamente. Qualquer outra combinação de número igual ao desigual de bolinhas em ambas as extremidades é possível a fim de enriquecer a apresentação.

Reflexões

Após fazer todas as demonstrações que achar conveniente, o professor pode começar suas indagações: se as bolinhas não estão presas umas às outras,¹ por que o pêndulo de Newton apresenta sempre o mesmo resultado - o número de bolinhas que se movimentam em uma extremidade é sempre igual ao que se movimenta no

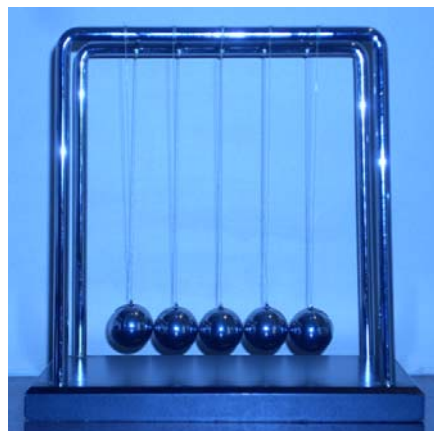


Figura 1 - O pêndulo de Newton.

.....
Mauro Costa da Silva

Colégio Pedro II, Rio de Janeiro, RJ,
 Brasil

E-mail: maurocostasilva@ig.com.br

Este artigo propõe uma prática docente para os estudantes de ensino médio como forma de comprovação dos princípios de conservação. A prática prevê a utilização do pêndulo de Newton como forma de instigar os alunos à observação crítica das múltiplas possibilidades de colisão nesse pêndulo, e motivá-los a encontrar uma explicação baseada nos conhecimentos adquiridos sobre mecânica

lado oposto? O professor poderá fundamentar o “estranhamento” das observações verificadas no pêndulo lembrando que o princípio de conservação da energia permite que uma bolinha ao colidir em um lado possa mover, por exemplo, duas no lado oposto, basta que a velocidade das duas bolinhas seja convenientemente menor que a velocidade da primeira bolinha no instante da colisão. O professor pode ainda lembrar o princípio de conservação da quantidade de movimento para mostrar que esse princípio também não impede outras soluções. Então, o que está havendo? Diante de uma condição inicial, por que a natureza escolhe sempre a mesma solução final? Colocado o problema, deve-se dar aos alunos uns dias para que pesquem, antes de apresentar a solução. Alguns alunos acham que a solução é meramente teórica. Vale antecipar que a solução é numérica, e que os cálculos devem ser apresentados. Caberá aos alunos perceber que a solução do problema se dá quando os dois princípios de conservação citados são satisfeitos.

Demonstração

A maioria dos livros do Ensino Médio utiliza um modelo padrão que é apresentado no estudo das colisões (Fig. 2)². É possível demonstrar de maneira simples o funcionamento do pêndulo de Newton a partir desse modelo. Sejam:

- m - massa que inicia a colisão (corresponde a massa de uma ou mais bolinhas);
- m_2 - massa que parte após a colisão da massa m ;
- v - velocidade da massa m antes da colisão;
- v_1 - velocidade da massa m após a colisão;
- v_2 - velocidade da massa m_2 após a colisão.

Considerando que todas as bolas têm a mesma massa, $m_2 = x.m$, onde x é o número de bolas que partem do outro lado do pêndulo de Newton. Pelo princípio de conservação da quantidade de movi-

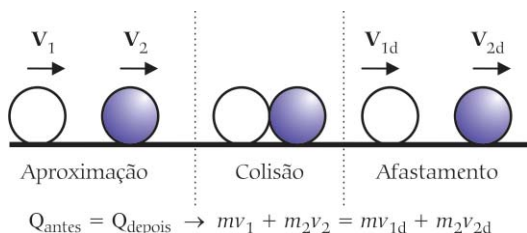


Figura 2 - Colisão unidimensional.

mento:

$$mv = mv_1 + m_2v_2 \rightarrow mv = mv_1 + (xm)v_2 \rightarrow v = v_1 + xv_2 \quad (1)$$

Considerando as colisões elásticas (coeficiente de restituição $e = 1$)

$$1 = \frac{v_2 - v_1}{v} \rightarrow v = v_2 - v_1 \quad (2)$$

Montando um sistema com as Eqs. (1) e (2)

$$\begin{cases} v = v_1 + xv_2 \\ v = v_2 - v_1 \end{cases} \rightarrow 2v = (x+1)v_2 \rightarrow v_2 = \frac{2v}{x+1} \quad (3)$$

Substituindo o resultado da equação do sistema na Eq. (2)

$$v_1 = \frac{2v}{x+1} - v = \frac{2v - (x+1)v}{x+1} \rightarrow v_1 = \left(\frac{1-x}{1+x} \right) v \quad (4)$$

Pelo princípio de conservação da energia

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{m_2v_2^2}{2} \rightarrow v^2 = v_1^2 + xv_2^2 \quad (5)$$

Substituindo a Eq. (3) na Eq. (4)

$$\begin{aligned} v^2 &= v_1^2 + x \left(\frac{2v}{x+1} \right)^2 \\ \rightarrow v_1^2 &= v^2 - \frac{4xv^2}{(x+1)^2} \\ \rightarrow v_1^2 &= \left(1 - \frac{4x}{(x+1)^2} \right) v^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_1 &= \left(\sqrt{\frac{x^2 - 2x + 1}{(x+1)^2}} \right) v \\ \rightarrow v_1 &= \sqrt{\frac{(x-1)^2}{(x+1)^2}} v \\ \rightarrow v_1 &= \frac{(x-1)}{(x+1)} v \end{aligned} \quad (6)$$

Igualando as Eqs. (4) e (6)

$$\frac{(x-1)}{(x+1)} = \frac{(x-1)}{(x+1)} \rightarrow x-1 = 1-x \rightarrow x = 1$$

Portanto

$$v_1 = 0 \text{ e } v_2 = v$$

O resultado comprova que o número de bolinhas que colidem numa extremidade é igual ao número de bolinhas que partem do outro lado.

Conclusão

Para concluir, vale ressaltar aos alunos que o ensino de física, que prima por uma abordagem fenomenológica, pelo domínio dos conceitos e valoriza as questões teóricas, não exclui o uso da matemática como ferramenta fundamental para obtenção de resultados. Essa observação, óbvia para os professores de física, não está tão clara para alguns alunos que se dedicam ao estudo conceitual dos fenômenos, mas deixam a matemática em um plano secundário, um papel coadjuvante no ensino da física. O pêndulo de Newton pode contribuir para enfatizar que, sem abandonar o estudo conceitual, algumas questões “teóricas” só são resolvidas com a solução das equações.

Notas

¹O que significa liberdade de movimento e, portanto, várias possibilidades de resposta diante de uma condição inicial - por exemplo, uma bolinha poderia mover as outras quatro inicialmente em repouso, fazendo-as oscilar com pequena amplitude, ou fazer duas oscilarem com amplitude um pouco maior, etc.

²O tratamento vetorial será dispensado em função de a colisão ser unidimensional.

Saiba mais

D. Halliday, R. Resnick and J. Walker, *Fundamentals of Physics Extended* (John Wiley & Sons, Inc. New York, 1997).
F.W. Sears e M.W. Zemansky, *Mecânica e Hidrodinâmica* (LTC, Rio de Janeiro, 1975), v. 1.