

*Isabel Bianchi**
José de Pinho A. Filho
Depto de Física – UFSC
Florianópolis – SC

O pêndulo balístico foi inventado em 1742, com o objetivo de medir velocidades de projéteis por meio de colisões inelásticas com um corpo de massa muito maior.

Sua maior aplicação foi em indústrias de armamentos, onde era medida a velocidade com que os projéteis lançados atingiam o alvo. Para se determinar esta velocidade usa-se a conservação do momento linear e da energia mecânica.

Tendo em mente o ensino de choques no 2º grau, pensou-se em construir um equipamento que permitisse ao estudante um entendimento maior sobre o princípio da conservação do momento linear, tópico este, ligado ao assunto acima mencionado.

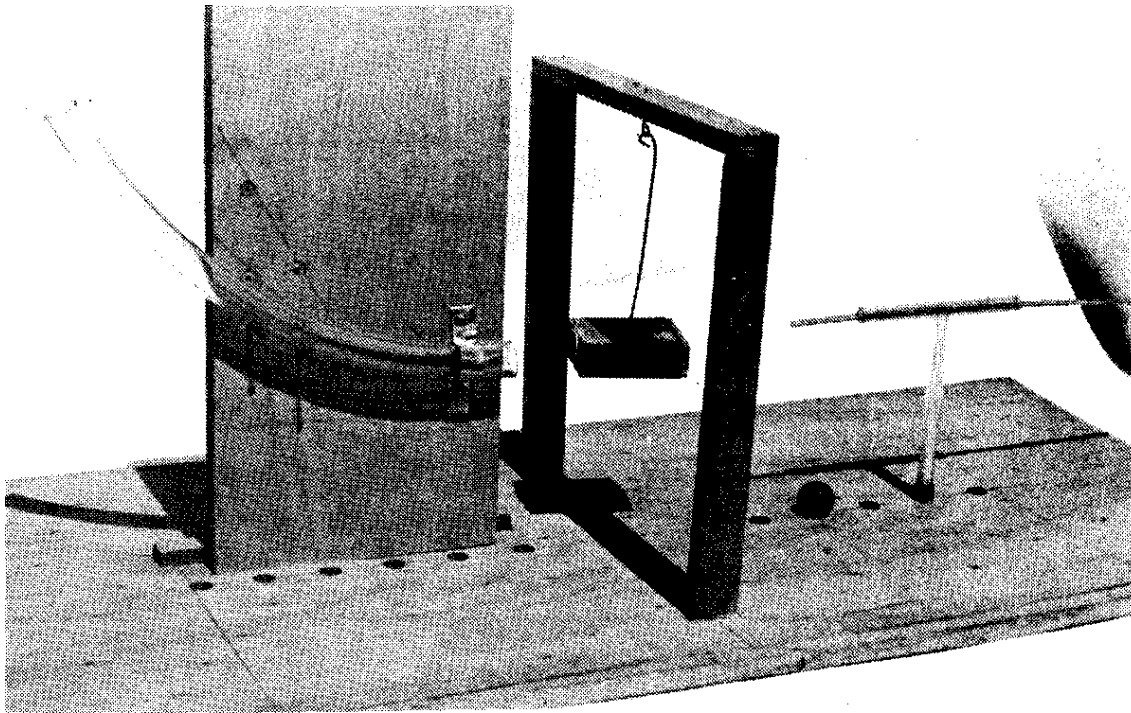
Foi então que, ao depararmos com a sugestão de se construir o pêndulo balístico, resolvemos aceitá-la buscando uma melhor maneira de fazê-lo. Apresentamos do original, apenas a disposição dos mecanismos.

Material necessário

- uma chapa de madeira de (40,00 x 30,00 x 1,00) cm
- uma chapa de madeira de (30,00 x 15,00 x 2,00) cm
- três pedaços de madeira de (20,00 x 2,00 x 1,00) cm
- um pedaço de mangueira cristal de 20,00 cm e com 1,20 cm de diâmetro
- uma esfera de aço com 0,95 cm de diâmetro (e 3,50 g de massa)
- dois tubos de caneta de plástico (tipo esferográfica descartável)
- um canudinho de plástico (de refrigerante)
- uma presilha de alumínio

* Aluna de graduação do curso de licenciatura em física - UFSC

- uma haste de aço (arame) de 11,00 cm de comprimento com 0,10 cm de diâmetro
- uma haste de aço (arame) de 3,00 cm de comprimento e 0,10 cm de diâmetro
- uma caixa de fósforos
- um pedaço de cartolina de (5,00 x 10,00) cm
- fita adesiva
- um tubo de cola super-bonder
- dois pregos médios



Montagem

1º) Construção da base

Na chapa de madeira maior, faça 5 orifícios com diâmetro 0,10 cm maior que o diâmetro do tubo da caneta, espaçados de 2,50 em 2,50 cm, começando a partir de 6,00 cm do meio da chapa.

2º) Suporte do pêndulo

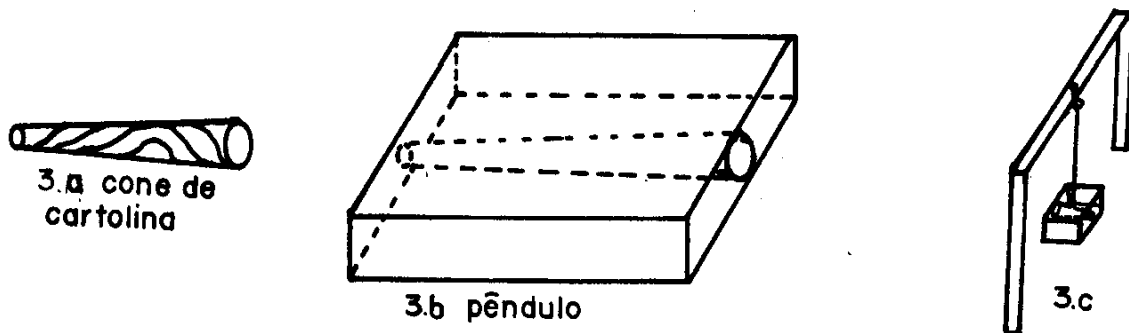
Cole ou pregue os três pedaços de madeira, de modo a formar um U. Este será o suporte para o pêndulo oscilar.

No centro da base do U, faça um orifício com diâmetro de 0,15 cm. Prenda então a haste de 3,00 cm neste orifício e entorte a parte maior que deve ficar para dentro do U, formando um gancho pequeno. A haste de 11,00 cm deverá ter uma de suas extremidades moldada em forma de círculo, para que possa girar livremente no gancho preso no suporte.

Pregue o U bem no centro da placa de madeira maior.

3º) Construção do pêndulo

Com a cartolina faça um cone cuja base deve ter um diâmetro que se ajuste perfeitamente ao interior da caixa de fósforos. Para que o cone não desenrole, passe fita adesiva ao seu redor. Cole então o cone dentro da caixa.



Cole o pêndulo na haste de 11,00 cm (l), sendo que a mesma deve encaixar exatamente no centro da caixa.

4º) Suporte da mangueira

Na chapa de madeira menor, marque a altura em que está o centro do cone. Exatamente nesta altura deve ficar o centro da mangueira.

A partir desta linha, marque ângulos de 30°, 45° e 60°.

Com a presilha de alumínio, fixe a extremidade da mangueira que ficará voltada para o pêndulo.

Nas marcas dos ângulos, faça orifícios (dois ao longo de cada linha) que não perfurem a chapa. Nestes orifícios serão introduzidos os pregos de modo a fixarem a mangueira no ângulo desejado.

Pregue então a chapa de madeira na base a 0,50 cm do centro da mesma.

5º) Suporte do canudinho

Corte os tubos de caneta, raspando bem as extremidades interiores, e cole-os em forma de T. Fixe então o suporte em um dos orifícios da base de modo que, ao colocar o canudinho no seu interior, este fique encostado na parte superior do pêndulo. O canudinho deve ser graduado em milímetros. Para marcar a escala, utilize tinta nanquim.

Procedimento experimental

Solte a esfera na extremidade superior da mangueira. Ela vai deslizar, indo acoplar-se ao pêndulo, que então ao movimentar-se empurrará o canudinho graduado. É um procedimento fácil de ser executado e o aluno pode ver com clareza tudo que acontece no experimento.

De que maneira podemos então mostrar ao aluno como se conserva o movimento linear?

Começemos partindo das equações que descrevem este tipo de choque. Inicialmente, com uma balança, determine as massas:

m_p = massa do pêndulo

m_e = massa da esfera

A equação de conservação diz que:

$$m_p \vec{v}_p + m_e \vec{v}_e = (m_p + m_e) \vec{v}$$

onde:

\vec{v}_p = velocidade do pêndulo

\vec{v}_e = velocidade da esfera

$(m_p + m_e)$ = massa do conjunto pêndulo-esfera

\vec{v} = velocidade com que o conjunto pêndulo-esfera se move após o choque.

Sabemos que a velocidade do pêndulo antes do choque é zero, então:

$$m_e \vec{v}_e = (m_p + m_e) \vec{v},$$

$$\vec{v}_e = \frac{(m_p + m_e) \vec{v}}{m_e} .$$

As massas do pêndulo e da esfera são conhecidas; restamos determinar a velocidade do conjunto. Esta velocidade pode ser calculada da seguinte maneira:

- Sabemos que a energia cinética do conjunto pêndulo-esfera, logo após o choque, é igual à energia potencial gravitacional deste conjunto no final do movimento, ou seja, no momento em que o pêndulo chega à sua altura máxima.

Então:

$$(m_p + m_e) g h = (m_p + m_e) \frac{v^2}{2} .$$

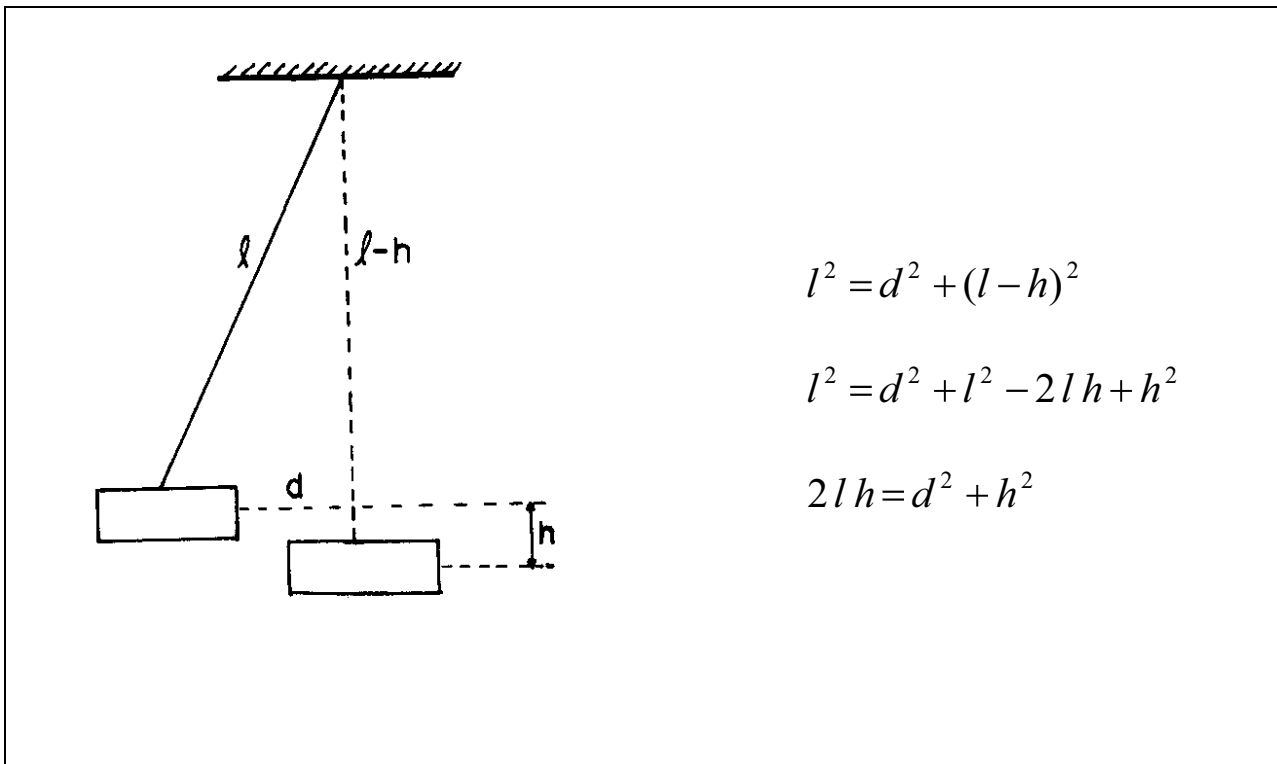
$$v = \sqrt{2 g h} .$$

A velocidade da esfera será:

$$v_e = \frac{(m_e + m_p)}{m_e} \sqrt{2 g h} .$$

Ao observarmos o experimento, percebemos que a determinação de h é muito difícil. Porém, se usarmos um pouco de matemática e contarmos com a ajuda do Teorema de Pitágoras, encontraremos a solução para nosso problema.

Se observarmos a figura abaixo, onde temos a representação do instante em que o pêndulo atinge h, veremos que:



Para pequenas oscilações, que é o que acontece neste caso, h é pequeno comparado com l e d, e podemos desprezar h^2 .

Então,

$$h = \frac{d^2}{2l}$$

A velocidade do projétil será então

$$v_e = \frac{(m_e + m_p)}{m_e} d \sqrt{\frac{g}{l}}$$

Podemos verificar então a Conservação do Momento Linear no choque:

$$v_e m_e = (m_e + m_p) d \sqrt{\frac{g}{l}}$$

Os dados obtidos, através da realização da experiência, foram:

$$\begin{aligned} m_e &= 3,51 \text{ g} \\ m_p &= 3,94 \text{ g} \\ l &= 11,00 \text{ cm} \end{aligned}$$

e os demais se encontram na tabela abaixo. O valor de g utilizado nos cálculos foi $9,80\text{m/s}^2$.

θ	VALORES TEÓRICOS			VALORES EXPERIMENTAIS			
	h' (m)	v_e (m/s)	p (kg.m/s)	d (m)	v_e (m/s)	p (kg.m/s)	E (%)
30°	$12,50 \times 10^{-2}$	1,565	$5,49 \times 10^{-3}$	$6,20 \times 10^{-2}$	1,240	$4,34 \times 10^{-3}$	21
45°	$15,20 \times 10^{-2}$	1,726	$6,06 \times 10^{-3}$	$7,30 \times 10^{-2}$	1,456	$5,11 \times 10^{-3}$	16
60°	$18,40 \times 10^{-2}$	1,899	$6,67 \times 10^{-3}$	$9,50 \times 10^{-2}$	1,895	$6,65 \times 10^{-3}$	0,30

Os valores teóricos da velocidade, indicados na tabela acima, foram obtidos utilizando-se a expressão da conservação da energia mecânica para a esfera:

$$m g h' = \frac{1}{2} m v_e^2$$

$$v_e = \sqrt{2 g h'}$$

onde h' é a altura de lançamento da esfera em relação à posição do pêndulo. A partir da mesma, determinou-se o valor teórico da quantidade de movimento da esfera antes de chocar-se com o pêndulo.

A última coluna indica o erro percentual relativo. Como se observa, para ângulos maiores o erro cai consideravelmente, permitindo a

obtenção de resultados excelentes. Como sugestão, fica a discussão do elevado erro para ângulos maiores.

Referências Bibliográficas

1. GRUPO de Estudos em Tecnologia de Ensino de Física. Física: 2º grau/GETEF. São Paulo, Saraiva, 1979. V.1.
2. SEARS, Zemansky. Física mecânica: hidrodinâmica. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1980
3. PROJECTO física: unidade 3 – triunfo da mecânica. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1978.