

Experimento A8: Pêndulo Simples e Pêndulo Físico

1 - INTRODUÇÃO

Movimento periódico é o movimento de um corpo que retorna regularmente para uma posição após um intervalo de tempo fixo. Podemos identificar vários tipos de movimento periódico em nosso dia a dia, como por exemplo, o movimento de uma criança em um balanço no parque ou o pêndulo de um relógio antigo que oscila de um lado para o outro.

4.1. Pêndulo Simples

Um pêndulo simples é um modelo idealizado consistindo de um objeto de massa m que pode oscilar em torno de um ponto de equilíbrio, suspenso por um fio de comprimento ℓ . Algumas situações familiares como uma criança em um balanço no parque ou uma bola de demolição presa por um cabo à um guindaste podem ser considerados exemplos de pêndulo simples.

A Figura 1 mostra a representação esquemática do movimento de um pêndulo simples consistindo de uma partícula de massa m presa em fio de comprimento ℓ . A Figura 1 (a) mostra a representação do pêndulo no instante inicial e as forças que agem sobre partícula de massa m . A Figura 1 (b) mostra as componentes radial e tangencial da força peso.

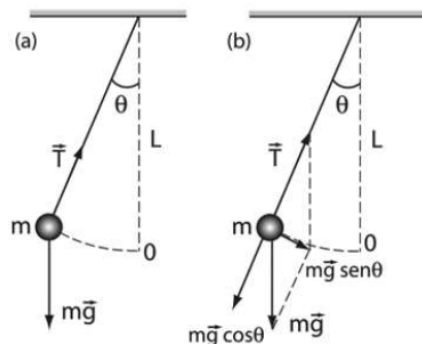


Figura 1 - Representação esquemática de um pêndulo simples.

A força restauradora F_R é a componente tangencial da força resultante, de forma que podemos calcular a frequência angular ω para pequenas amplitudes, ou seja:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{\ell}} \quad (1)$$

A frequência e o período correspondentes serão:

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{\ell}} \quad (2)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{\nu} = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}} \quad (3)$$

Note que o período e a frequência não envolvem a massa da partícula. Em pequenas oscilações, o período de um pêndulo simples para um dado valor de g é determinado pelo seu comprimento.

Quando a amplitude não é pequena, o desvio do comportamento harmônico é significativo e o período pode ser escrito em uma série infinita com deslocamento angular máximo θ , da forma:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}} \left[1 + \frac{1}{2^2} \text{sen}^2 \left(\frac{\theta}{2} \right) + \frac{1}{2^2} \frac{3^2}{4^2} \text{sen}^4 \left(\frac{\theta}{2} \right) + \dots \right] \quad (4)$$

Podemos calcular o período com a precisão desejada se tomarmos o número de termos adequados nesta série.

4.2. Pêndulo Físico

Um corpo rígido que pode oscilar verticalmente em torno de um eixo perpendicular ao seu plano pode ser chamado de um pêndulo físico, Figura 2.

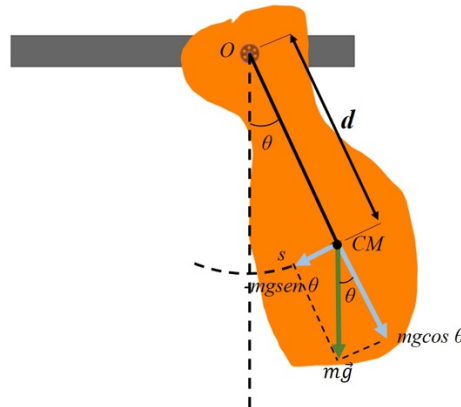


Figura 2 - Representação esquemática do pêndulo físico.

O período de oscilação de um pêndulo físico dependerá da forma como o pêndulo foi construído e, para pequenas oscilações, pode ser escrito como:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{\nu} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{gmd}} \quad (5)$$

em que m é a massa do corpo e d é a distância entre eixo de oscilação e o centro de massa do corpo rígido. O momento de inércia, I relativo a um eixo paralelo ao centro de massa é dado por:

$$I = I_{CM} + md^2 \quad (6)$$

em que I_{CM} é o momento de inércia do sistema relativo a um eixo que passa pelo centro de massa e dependerá da estrutura do corpo de massa m que, em nosso experimento, poderá ser uma barra, um disco ou uma placa retangular.

Para a barra de comprimento a , $I_{CM} = \frac{1}{12} ma^2$;

Para o disco de raio r , $I_{CM} = \frac{1}{2} mr^2$;

Para a placa retangular fina de altura a e largura b , $I_{CM} = \frac{1}{12} (a^2 + b^2)$.

2 - OBJETIVOS

Estudar os pêndulos simples e físicos, determinando o período de oscilação para os dois sistemas; para o pêndulo simples, calcular a aceleração da gravidade e mostrar que o período de oscilação não depende da massa; e para o pêndulo físico, determinar o centro de oscilação para diferentes formatos e determinar experimentalmente o comprimento do pêndulo simples que oscila em sincronia com um pêndulo físico.

3 - MATERIAIS UTILIZADOS

- (i) Um tripé com haste longa; **Erro! Fonte de referência não encontrada.**
- (ii) Um pêndulo Simples;
- (iii) Pêndulos físicos: Barra, disco e uma placa retangular;
- (iv) Sistema de regulagem de comprimento;
- (v) Régua;
- (vi) Um cronometro;

4 - PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

5.1. Pêndulo Simples

- (i) Monte o sistema conforme a Figura 3. Certifique-se de o equipamento esteja nivelado.

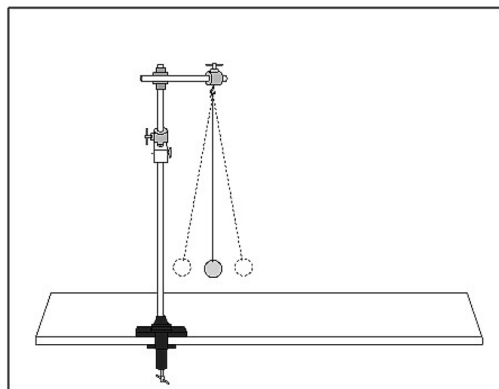


Figura 3 – Montagem do experimento com pêndulo simples.

- (ii) Comece medindo a massa m e ajuste o comprimento do fio que suspende esta massa de modo que a distância entre o ponto de suspensão do pêndulo e a extremidade inferior do pêndulo seja de aproximadamente $\ell = 1,5 \text{ m}$. Este será o seu comprimento inicial.
- (iii) Desloque o pêndulo da sua posição de equilíbrio por um pequeno ângulo (aproximadamente 10°) e solte-o. Meça o tempo que o pêndulo leva para realizar 10 oscilações completas. Repita a contagem por 5 vezes e anote seu resultado na Tabela 1. Desloque o pêndulo de uma grande amplitude ($\sim 30^\circ$) e repita os passos anteriores). Calcule o período e a frequência e compare seus resultados.

- (iv) Use o sistema de regulação, diminua o comprimento do pêndulo em 20 cm. Solte o pêndulo de um ângulo de 10° , ou seja, usando a mesma amplitude anterior e anote, para cada comprimento, o tempo gasto para 10 oscilações completas. Complete a Tabela 2 e obtenha o período e frequência da oscilação. Repita o procedimento anterior, sempre diminuindo o comprimento do fio em 20 cm.
- (v) Substitua a massa do pêndulo por uma massa maior (use a esfera) e repita todo o procedimento anterior. Anote todos os dados na Tabela 3.

5.2. Pêndulo Físico.

- (i) Monte o sistema conforme a Figura 3. Certifique-se de que o equipamento esteja nivelado.



Figura 4 – Montagem do experimento com pêndulo físico.

- (ii) Prenda o corpo rígido em forma de **barra** pelo ponto P e deixe-o oscilar, com uma pequena amplitude, em torno do ponto de equilíbrio. Deixe o pêndulo oscilar por 10 vezes e anote o tempo gasto para as oscilações. Repita o procedimento por 5 vezes e anote na Tabela 4. Obtenha o período e frequência médios.
- (iii) Modifique o ponto de suspensão da barra para o ponto O e repita o procedimento. Complete a Tabela 4
- (iv) Suspenda o pêndulo físico pelo ponto G , deixe-o oscilar por 10 vezes e anote os valores na Tabela 4.
- (v) Mantenha o pêndulo suspenso pelo ponto O . Regule o comprimento do fio do pêndulo simples até que a marca central do corpo suspenso esteja alinhada com a extremidade inferior do pêndulo físico.
- (vi) Meça o comprimento do segmento $L_{exp} = \overline{PO}$ e anote seu resultado.
- (vii) Deixe o pêndulo simples completar 10 oscilações e anote o tempo de cada oscilação. Obtenha o período de cada oscilação e determine o período médio. Anote todos os dados na Tabela 4.

- (viii) Coloque o pêndulo físico suspenso pelo ponto O e o pêndulo simples de comprimento com o comprimento ajustado anteriormente para oscilarem simultaneamente e observe o que ocorre. Anote os seus resultados.
- (ix) Substitua a barra pela *placa circular* e repita o procedimento anterior, anotando os dados na Tabela 5.

5 - ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÕES

5.1. Pêndulo Simples

- (a) Com base nos dados da Tabela 1, discuta os valores encontrados para a frequência e o período de oscilação. Explique o seu resultado considerando a amplitude da oscilação. Existe alguma relação entre a amplitude e o período de oscilação? Explique.
- (b) O que ocorre com o período do pêndulo quando diminuimos seu comprimento?
- (c) A partir dos dados da Tabela 2, faça um gráfico de $T^2 \times \ell$ e trace a melhor reta que se ajusta a esses dados.
- (d) Obtenha os coeficientes angular e linear desta reta e obtenha a aceleração da gravidade e sua respectiva incerteza. Compare seu resultado com o valor adotado no laboratório $g = (9,80 \pm 0,01) m/s^2$.
- (e) O que ocorre com o período do pêndulo quando aumentamos a massa suspensa?
- (f) A partir dos dados da Tabela 3, faça um gráfico de $T^2 \times \ell$ e trace a melhor reta que se ajusta a esses dados.
- (g) Obtenha os coeficientes angular e linear desta reta e obtenha a aceleração da gravidade e sua respectiva incerteza. Compare seu resultado com o valor adotado no laboratório.
- (h) Compare seu resultado com o anterior e mostre que o período de oscilação de um pêndulo simples não depende da massa.

5.2. Pêndulo Físico

- (a) Para cada pêndulo físico, compare os valores obtidos para o período de oscilação para cada um dos dois pontos de sustentação. O que você pode concluir?
- (b) Obtenha, teoricamente, o período de oscilação para cada um dos pêndulos físicos usados e compare com o resultado experimentalmente obtido. Faça o cálculo considerando os dois pontos de sustentação (P e O). O que você pode concluir? Lembre-se que o momento de inércia do pêndulo físico será diferente nas duas situações.
- (c) Compare os valores obtidos experimentalmente para o período de oscilação do pêndulo físico (nos pontos P e O) com o período de oscilação do pêndulo simples. Discuta seu resultado.
- (d) Mostre que para que os períodos de oscilação dos pêndulos físico e simples sejam iguais, o comprimento do fio do pêndulo simples deve ser $L = \frac{I}{md}$. Este valor nos permite obter o centro de oscilação do pêndulo físico.
- (e) Compare a medida do segmento $L_{exp} = \overline{PO}$ experimentalmente obtido com o valor de L que você pode obter teoricamente e verifique se o resultado obtido no seu experimento concorda com o resultado teórico. Discuta seu resultado.

- (f) Com os dados obtidos para o pêndulo físico (barra e disco) suspenso pelo ponto G , obtenha o momento de inércia do pêndulo e compare com o resultado teórico. Discuta seus resultados.

6 - QUESTIONÁRIO PREPARATÓRIO

Questão 1) Obtenha a expressão para a frequência angular ω , equação (1);

Questão 2) Obtenha a expressão para a frequência ν , equação (2);

Questão 3) Obtenha a expressão para o período T , equação (3);

Questão 4) Obtenha a expressão para o período T , equação (4);

Questão 5) Usando o ângulo $\theta = 5^\circ$, calcule o período usando as duas equações (3) e (4). Explique seu resultado. Agora mude o ângulo para $\theta = 15^\circ$, e calcule novamente o período usando as duas equações. Compare os resultados. O que você pode concluir.

Questão 6) Quando um corpo que oscila preso a uma mola horizontal passa por sua posição de equilíbrio, sua aceleração é igual a zero nesta posição. Quando a massa de um pêndulo simples oscilando passa pela posição de equilíbrio, sua aceleração também é zero? Explique.

Questão 7) Explique o que você deve fazer com o comprimento de um pêndulo simples para dobrar a sua frequência e o seu período.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. YOUNG, H.D.; FREEDMAN, R.A.; Sears e Zemansky Física 1: Mecânica , 12.Ed., São Paulo: Ad-Adison Wesley (2008).
2. JEWETT JR., J. W. e SERWAY, R. A., Física para Cientistas e Engenheiros, 8 Ed. São Paulo, Ed. Cengage Learning (2011).
3. Campos, A. A., Alves, E. S. e Speziali N. L.; Física Experimental Básica na Universidade; Editora UFMG (2007).

Parte II: Pêndulo Físico

Tabela 4 – Tempo de 10 oscilações completas para o pêndulo físico em forma de barra .

Posição	Tempo 1 (s)	Tempo 2 (s)	Tempo 3 (s)	Tempo 4 (s)	Tempo 5 (s)
Ponto P					
Ponto O					
Ponto G					
Pêndulo simples					

Para barra: $L_{exp} = \overline{PO} = \text{_____} \pm \text{_____} cm$

Tabela 5 – Tempo de 10 oscilações completas para o pêndulo físico em forma de placa circular .

Posição	Tempo 1 (s)	Tempo 2 (s)	Tempo 3 (s)	Tempo 4 (s)	Tempo 5 (s)
Ponto P					
Ponto O					
Ponto G					
Pêndulo simples					

Para placa circular: $L_{exp} = \overline{PO} = \text{_____} \pm \text{_____} cm$