

INTRODUÇÃO

Na presente atividade iremos estudar o Pêndulo Simples, ou seja, o movimento oscilatório de um objeto de massa m , preso em um fio de comprimento L de massa desprezível, comprovando por meio de simulações (PhET) a independência do período de oscilação com a massa e a dependência deste período com o comprimento. Para isso, empregaremos as técnicas básicas utilizadas no tratamento estatístico de dados e conhecimentos básicos de mecânica.

OBJETIVOS

- Comprovar a independência do período de oscilação com a massa,
- Comprovar a dependência do período de oscilação com o comprimento do fio, e
- Testar a validade da aproximação para pequenas amplitudes de oscilação.

MATERIAL UTILIZADO

- Calculadora científica em modo de calculo estatístico,
- Material de apoio (apostilas e vídeos) divulgados no mural da turma, e
- Simulação PhET do sistema pêndulo simples, disponível em:
https://phet.colorado.edu/sims/html/pendulum-lab/latest/pendulum-lab_pt_BR.html

RESUMO DAS BASES TEÓRICAS

Um pêndulo simples é um sistema idealizado que consiste de uma partícula de massa m suspensa por um fio de comprimento L com massa desprezível e inextensível. Quando a partícula é afastada de sua posição de equilíbrio e solta, o pêndulo oscilará em um plano vertical sob a ação da gravidade, tal como ilustrado abaixo.

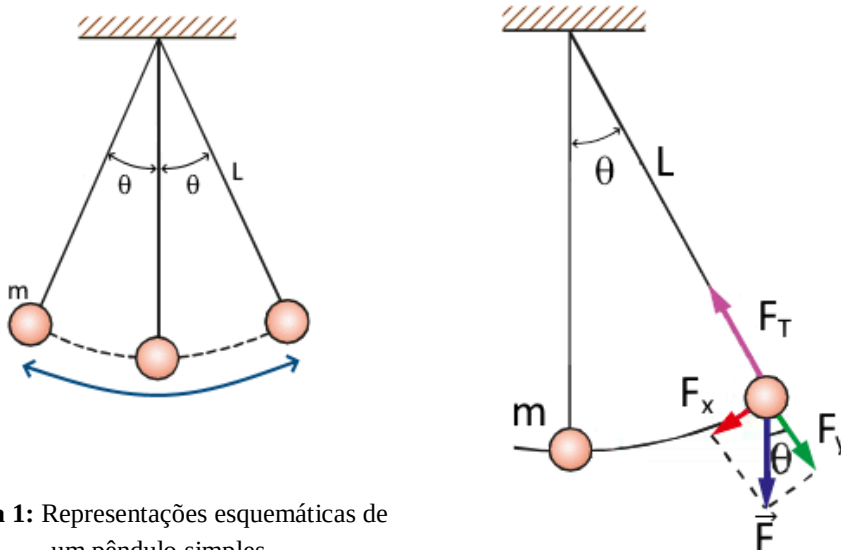


Figura 1: Representações esquemáticas de um pêndulo simples

Tendo em mente os cálculos discutidos na aula da disciplina Física II, disponível em <https://youtu.be/oTo2crOc960> (login institucional requerido), obtemos que o período das oscilações de um pêndulo simples adotando a aproximação para pequenas oscilações, ou seja, pequenas amplitudes de oscilação, T_{LIN} , é dado por:

$$T_{LIN} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

onde g é a aceleração da gravidade ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$). Utilizando técnicas aproximativas mais avançadas, tal como discutido no artigo disponível em <https://physika.info/site/documents/PenduloAvancado.pdf>, a primeira correção no cálculo deste período, T_{KF} , considerando agora oscilações cuja amplitude já não podem ser consideradas como sendo pequenas, será obtida por:

$$T_{KF} = 2\pi \left[1 + \frac{\theta_M^2}{16} \right] \sqrt{\frac{L}{g}}$$

onde θ_M é a amplitude angular das oscilações, ou seja, o valor máximo que o ângulo θ pode atingir.

TÓPICOS PRINCIPAIS DO PROCEDIMENTO

Para efetuar a aquisição dos dados necessários para realizar a presente atividade remota, utilize a simulação PhET https://phet.colorado.edu/sims/html/pendulum-lab/latest/pendulum-lab_pt_BR.html, e siga todas as orientações repassadas na aula síncrona onde foi apresentado o roteiro e que se encontra disponível em <https://youtu.be/z4LBM2xRAfQ> (login institucional requerido).

(i) Dependência do período de oscilação com a massa: Nesta etapa fixe o comprimento do fio $L = 1 \text{ m}$, o valor inicial do ângulo θ , $\theta_M = 5^\circ$, e use a aceleração da gravidade $g = 9.8 \text{ m/s}^2$. Feito isso, adquira os dados tal como foi orientado, e complete o Quadro abaixo. Observe com cuidado as unidades requeridas.

Quadro1: Dados das simulações com L fixo.

Massa $m \text{ (kg)}$	Tempo cronometrado de 12 oscilações: $t \text{ (s)}$	Período de oscilação: $T = t/12 \text{ (s)}$
0,20		
0,40		
0,60		
0,80		
1,00		
1,20		

Com base nesses dados, podemos afirmar que o período de oscilação de um pêndulo simples depende da massa do objeto? Isso está coerente com as expressões usadas para o cálculo do período de oscilação? Explique e contextualize tais conclusões. Para isso calcule o valor médio de T , $\bar{T}$, o desvio padrão da medida, σ_T , e determine o intervalo $[\bar{T} - 3\sigma_T, \bar{T} + 3\sigma_T]$. Lembre que esse intervalo corresponde a faixa de valores onde uma nova medida de T deveria pertencer, com 99,73% de probabilidade de acerto.

(ii) Dependência do período de oscilação com o comprimento do fio: Nesta etapa fixe a massa do objeto $m = 0,5 \text{ kg}$, o valor inicial do ângulo θ , $\theta_M = 5^\circ$, e a aceleração da gravidade $g = 9.8 \text{ m/s}^2$. Agora iremos variar o comprimento L do fio, completando o Quadro 2 mostrado a seguir. Efetue 6 medidas do tempo cronometrado de 12 oscilações, t , para cada valor de L , e calcule o valor médio dessas 6 medidas, $\bar{t}$. Calcule o respectivo período de oscilação, $T = \bar{t}/12$, e as previsões teóricas T_{LIN} e T_{KF} . Com base nesses valores, calcule os desvios Δ_{LIN} e Δ_{KF} , usando:

$$\Delta_{LIN} = \frac{|T - T_{LIN}|}{T_{LIN}} \times 100\% \quad \text{e} \quad \Delta_{KF} = \frac{|T - T_{KF}|}{T_{KF}} \times 100\%$$

Tais desvios correspondem aos desvios percentuais tomando os valores de T_{LIN} e T_{KF} como referência, e traduzem o quanto o valor obtido “experimentalmente” se desvia (ou discorda) do valor calculado para a aproximação de pequenas oscilações (T_{LIN}) e para um aproximação mais elaborada (T_{KF}), respectivamente.

Com base nesses dados, discuta a validade da aproximação para oscilações de pequenas amplitudes. Partindo da análise dos dados, podemos dizer que se os maiores desvios, Δ_{LIN} , ocorrem para valores de L menores? Justifique essa resposta. No tocante aos valores T_{KF} , eles são mais fidedignos? Os maiores desvios, Δ_{KF} , ocorrem para quais valores de L ? Explique e contextualize tais conclusões.

(iii) Validade das aproximações no cálculo do período: Nesta etapa fixe o comprimento $L = 0,5 \text{ m}$, a massa do objeto $m = 0,5 \text{ kg}$ e a aceleração da gravidade $g = 9.8 \text{ m/s}^2$. Agora iremos variar o valor inicial do ângulo θ , θ_M , que corresponde à amplitude (angular) de oscilação, completando o Quadro 3 mostrado a

seguir. Efetue as medidas do tempo cronometrado de 12 oscilações, t , para cada valor de θ_M , e calcule o respectivo valor do período de oscilação, $T = t/12$. Calcule as previsões teóricas T_{LIN} e T_{KF} , e os respectivos desvios Δ_{LIN} e Δ_{KF} , usando as expressões mostradas anteriormente.

Quadro 2: Dados das simulações com m fixo ($m = 0,5$ kg), $\theta_M = 5^\circ$ e $g = 9,8$ m/s².

Comprimento do fio: L (m)	Medida n°	Tempo cronometrado de 12 oscilações: t (s)	$\bar{t}$ (s)	$T = \bar{t}/12$ (s)	T_{LIN} (s)	Δ_{LIN} (%)	T_{KF} (s)	Δ_{KF} (%)
0,20	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							
0,40	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							
0,60	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							
0,80	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							
1,00	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							

Com base nesses resultados, discuta a validade de cada aproximação teórica para o cálculo do período de oscilação. Partindo da análise dos dados, podemos dizer que se os maiores desvios, Δ_{LIN} , ocorrem para quais valores de θ_M ? No tocante aos valores T_{KF} , eles são mais fidedignos? Os maiores desvios, Δ_{KF} , ocorrem para quais valores de θ_M ? Faça um gráfico comparativo incluindo duas curvas: Δ_{LIN} (%) versus θ_M e Δ_{KF} (%) versus θ_M . Discuta os resultados com base na análise dessas curvas.

Quadro 3: Dados das simulações com m e L fixos ($m = 0,5$ kg e $L = 0,5$ m), sendo $g = 9,8$ m/s².

Amplitude angular: θ_M	Tempo cronometrado de 12 oscilações: t (s)	$T = t/12$ (s)	T_{LIN} (s)	Δ_{LIN} (%)	T_{KF} (s)	Δ_{KF} (%)
5°						
10°						
15°						
20°						
25°						
30°						
35°						
40°						
45°						

SUGESTÕES PARA REFERENCIAS

- Apostilas sobre teoria de erros (UFBA e UNICAMP) – Ver <http://physika.info>
- Livro de Física I – ex. Halliday, Resnick e Walker Vol.1 – Mecânica.
- Demais referências apontadas ao longo do roteiro – Ver <http://physika.info>.