

Nome: _____
 Nome: _____
 Nome: _____

Conjunto de Dados:

Neste experimento online, estudaremos o movimento de um pêndulo simples, que é composto por uma esfera presa à extremidade inferior de um fio, cuja extremidade superior é fixa. Esse sistema oscila uma vez sendo abandonada a esfera de certa amplitude inicial. Partiremos da medição, em função do tempo, das posições angulares do fio – que serão obtidas da leitura direta do transferidor de referência posicionado detrás e bem próximo dele. Das posições angulares e tempos, calcularemos as velocidades e determinaremos as energias (potencial gravitacional, cinética e mecânica) em função do tempo. Finalmente, verificaremos por um método gráfico via inferência estatística se é possível afirmar que a energia mecânica se conserva.

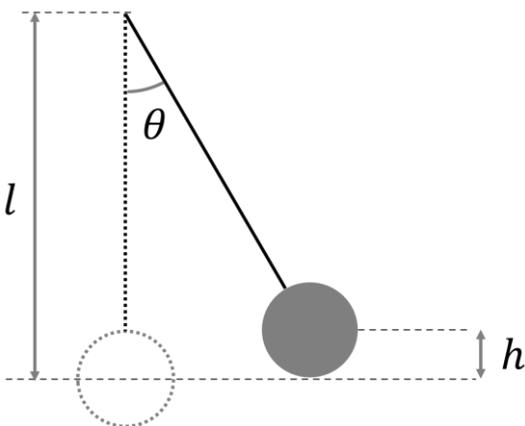
Ouçã as instruções dadas pelo professor antes de iniciar a atividade!

1. Abra a página inicial do **Mecânica Experimental com Imagens (MEXI)** acessando o link <http://fep.if.usp.br/~fisfoto>. No menu **Experimentos de Rotação**, selecione o experimento **Pêndulo Simples**.

2. Assista ao vídeo de demonstração do experimento disponível na aba **Apresentação**. Navegue pelas abas **Filmagens** e **Materiais** para conferir os detalhes sobre o arranjo experimental.

a) Da observação dos vídeos, a sua expectativa inicial é de que a energia mecânica se conserva ou não? Justifique sua resposta com base nos parâmetros visuais e/ou intuitivos que você utilizou em seu raciocínio.

b) Orientando o eixo vertical das alturas para cima e adotando sua origem no centro da bolinha quando ela está em sua posição de equilíbrio, deduza o valor da altura h do centro da bolinha numa posição afastada da posição de equilíbrio em função do comprimento l do pêndulo e do ângulo θ de abertura.



3. Faça download do modelo de planilha disponível em <http://fep.if.usp.br/~fisfoto/plantillaHojaCalculo>.

Realize o passo a passo daqui para frente utilizando essa planilha eletrônica. Escreva no canto superior direito desta página a identificação do conjunto de dados que lhe foi atribuído. Acesse a aba **Filmes e Quadros** e registre em sua planilha os valores de seu conjunto de dados, como a massa m da esfera, o comprimento l do fio e a espessura $\Delta\theta_f$ do fio. Acesse a aba **Quadros** e clique na opção do conjunto de dados que lhe foi atribuído.

4. A Figura 1 ao lado mostra uma imagem extraída de um vídeo do experimento. Nela, aparecem o fio, o transferidor de referência com marcas a cada $0,5^\circ$ e o código de tempo no canto inferior esquerdo, que corresponde ao instante (em segundos) em que essa imagem foi obtida, dentre certo conjunto de uma das filmagens do experimento. Realize a tomada de dados de posições angulares do fio em função do tempo, levando em conta as seguintes instruções:

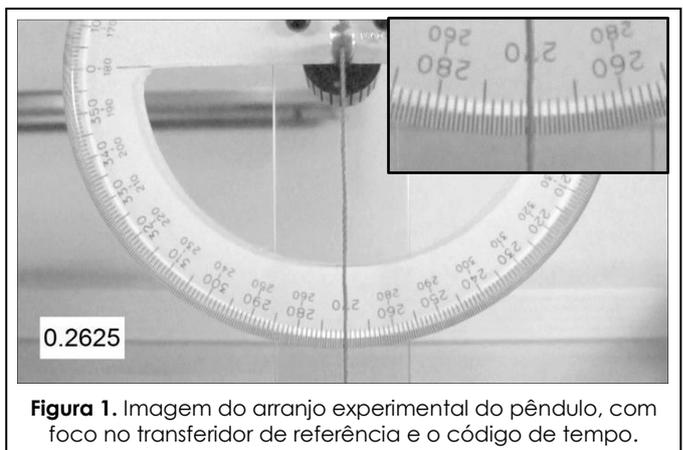


Figura 1. Imagem do arranjo experimental do pêndulo, com foco no transferidor de referência e o código de tempo.

- a) utilize a escala de leitura mais interna do transferidor, cujos valores são crescentes no sentido anti-horário;
- b) adote como ponto de referência de suas leituras a extremidade direita do fio;
- c) para evitar erros sistemáticos e fazer coincidir o centro geométrico do fio com o valor esperado de cada medida, é necessário subtrair do valor lido metade da espessura $\Delta\theta_f$ do fio, enquanto que para fazer coincidir a marca 0° com a posição de equilíbrio do pêndulo, é necessário realizar uma mudança de referencial subtraindo 270° do valor lido, de modo que $\theta_{\text{definitivo}} = \theta_{\text{lido}} - 270^\circ - \Delta\theta_f/2$.

5. Calcule os valores das velocidades angular e tangencial do pêndulo em função do tempo.

a) Para obter a velocidade angular, recorreremos a um método conhecido como derivação numérica: aproximaremos a *velocidade angular instantânea* num certo instante t_i como sendo a *velocidade angular média* no intervalo $t_{i-1} \leq t_i \leq t_{i+1}$. Ou seja, faremos $\omega(t_i) = \frac{\theta_{i+1} - \theta_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}}$, onde i é o número da imagem dentro do seu conjunto. Note que não será possível calcular a velocidade nem para o primeiro e nem para o último instante de tempo de sua tabela.

b) Calcule a velocidade tangencial $v(t_i)$ do pêndulo para cada instante de tempo, a partir da velocidade angular $\omega(t_i)$ e do comprimento l do fio.

6. Calcule os valores das energias potencial gravitacional, cinética e mecânica em função do tempo.

a) Determine a energia potencial gravitacional utilizando $U(t_i) = m \cdot g \cdot h(t_i)$, sendo a altura calculada a partir da dedução realizada na questão 2b.

b) A energia cinética pode ser calculada como $K(t_i) = m \cdot [v(t_i)]^2/2$.

c) Para a energia mecânica $E(t_i)$, faça a soma simples das energias potencial e cinética.

d) Construa num mesmo sistema de eixos os gráficos das energias em função do tempo e esboce-o abaixo.



e) Interprete o comportamento de cada energia, explorando os significados dos elementos possíveis de se avaliar graficamente, como trechos crescentes ou decrescentes e pontos de máximo ou mínimo.

7. Agora, buscaremos analisar se a energia mecânica se conserva!

a) Calcule o valor médio e o desvio-padrão dos valores de energia mecânica. As fórmulas MÉDIA () e DESVPAD () do Excel podem ser úteis!

b) Construa um novo gráfico apenas da energia mecânica em função do tempo. Insira barras de incerteza aos pontos experimentais, de acordo com o desvio-padrão encontrado. Insira também uma reta constante no valor médio da energia mecânica. *Dica*: ajuste a escala do eixo da energia de modo que você consiga visualizar bem os pontos e as barras de incerteza em comparação à reta do valor médio.

c) Que porcentagem dos seus pontos experimentais estão a menos de um desvio-padrão do valor médio? Assumindo que os dados comportam-se segundo uma distribuição normal (gaussiana), o que isso nos permite concluir a respeito da conservação da energia mecânica? Essa conclusão corrobora a sua expectativa inicial, informada na questão 2a?