Experimento Online – Loop

Nome: ____

Nome: ____

Nome: ____

Conjunto de Dados: ________________

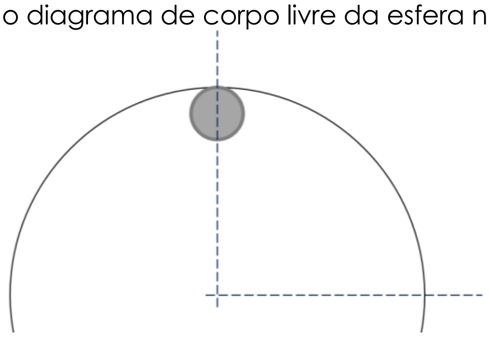
Neste experimento online, estudaremos o movimento de uma esfera que realiza um movimento de rotação sobre um trilho por dentro de um loop. Partiremos da medição das posições angulares da esfera pelas marcas (em graus) do arranjo, em função do tempo. Das posições angulares e tempos, calcularemos as velocidades e determinaremos as forças que atuam sobre a esfera. Finalmente, construiremos um gráfico dessas forças em função da posição angular, o que nos permitirá analisar o comportamento de cada força e compará-los às as suposições que geralmente são feitas para o modelo adotado ao se resolver o clássico problema teórico do loop.

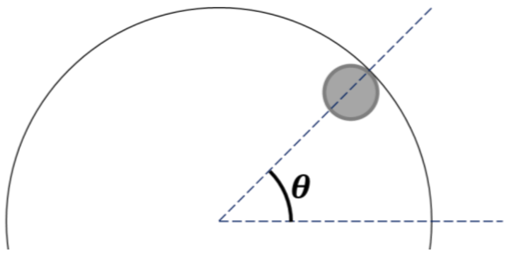
<u>Ouça as instruções dadas pelo professor antes de iniciar a atividade!</u>

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

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) Faça o diagrama de corpo livre da esfera no ponto de máxima altura e numa posição anterior a ele:





b) O clássico problema teórico do loop geralmente pergunta a altura mínima inicial de abandono da esfera para que ela complete o loop. Na resolução desse problema, que suposição é feita a respeito da energia mecânica? E quanto se supõe que vale a força normal no ponto mais alto do loop nessa situação limite?

3. Faça download do modelo de planilha disponível em ***<u>http://fep.if.usp.br/~fisfoto/plantillaHojaCalculo</u>***. 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 e o raio R da trajetória do loop. 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 a bolinha e o transferidor colado à parte fixa do arranjo. No canto superior esquerdo está representado o código de tempo, que corresponde ao instante (em segundos) em que essa imagem foi obtida, dentre certo conjunto de uma das filmagens do experimento.

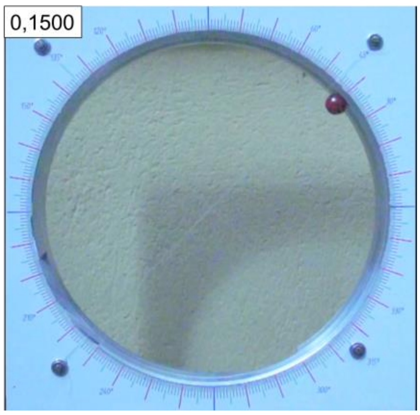


Figura 1. Imagem do arranjo experimental do loop com a bolinha numa posição arbitrária e o código de tempo (em segundos) disposto no canto superior esquerdo.

a) para ler a posição angular da esfera, basta imaginar um eixo radial que passe pelo centro dela e verificar onde ele intercepta o transferidor de referência. Caso você escolha um eixo que tangencia uma das extremidades da esfera, é possível fazer essa leitura e somar ou subtrair do dado lido um valor de ângulo correspondente a meia esfera, para recuperar a posição angular do centro dela. Uma vez escolhido o eixo de referência, *mantenha-o* para a leitura da posição angular em *todas* as imagens. Perceba que a distância mínima entre as marcas da escala do transferidor corresponde a $0{,}5°$.

b) você perceberá que o movimento se inicia com a bolinha no 4º quadrante do transferidor, onde as marcações estão entre $\theta = 270{,}0°$ e $\theta = 360{,}0°$. Para que os seus dados de posição angular tenham uma tendência crescente, é necessário que nesse quadrante, *e apenas nele*, suas leituras resultem em valores

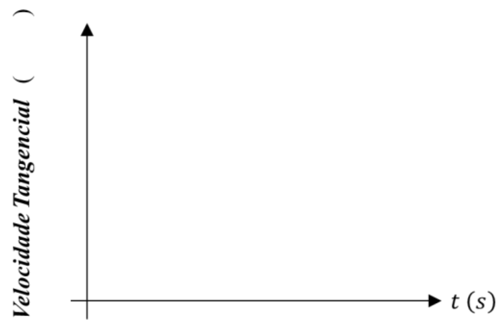
entre $\theta = -90{,}0°$ e $\theta = 0°$. Portanto, você pode manter as leituras de acordo com a marcação do transferidor, desde que sejam *subtraídos* $360°$ *do valor lido*;
c) Calcule as posições angulares da bolinha *em radianos*, a partir dos valores lidos em graus. Para realizar a conversão, a fórmula `RADIANOS()` do Excel pode ser útil. Daqui para frente, *essas serão as posições angulares utilizadas em seus cálculos*!

5. Calcule os valores das velocidades angular e tangencial da esfera 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 $\boldsymbol{t_i}$ como sendo a *velocidade angular média* no intervalo $\boldsymbol{t_{i-1}} \leq \boldsymbol{t_i} \leq \boldsymbol{t_{i+1}}$. Ou seja, faremos $\boldsymbol{\omega(t_i)} = \frac{\boldsymbol{\theta_{i+1}-\theta_{i-1}}}{\boldsymbol{t_{i+1}-t_{i-1}}}$, 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 $\boldsymbol{v(t_i)}$ da esfera (em relação à trajetória circular) para cada instante de tempo, a partir da velocidade angular $\boldsymbol{\omega(t_i)}$ e do raio $\boldsymbol{R}$ do loop.
c) Construa o gráfico da velocidade tangencial $\boldsymbol{v(t_i)}$ em função do tempo.

6. Adote um sistema de coordenadas polares com origem no centro do loop e considere, que a direção radial tem o sentido convencional, positivo para fora da circunferência. Assim, podemos calcular a resultante centrípeta como $\boldsymbol{R_{cp}(t_i)} = -\boldsymbol{m} \cdot [\boldsymbol{v(t_i)}]^2/\boldsymbol{R}$ e a projeção radial da força peso como $\boldsymbol{P_{radial}(t_i)} = -\boldsymbol{m} \cdot \boldsymbol{g} \cdot \mathbf{sen}[\boldsymbol{\theta(t_i)}]$, onde $\boldsymbol{m}$ é a massa da moeda, $\boldsymbol{R}$ o raio da trajetória e $\boldsymbol{g}$ o módulo da aceleração local da gravidade. Implemente essas fórmulas em sua planilha e determine essas duas forças para todos os instantes de tempo possíveis.
a) Equacione a 2ª Lei de Newton para a direção radial, de acordo com o diagrama de forças construído na sua resposta à questão **2a**. Determine a força normal a partir dessa equação, implemente a respectiva fórmula em sua planilha e calcule-a para todos os instantes de tempo possíveis.

b) Construa num mesmo sistema de eixos o gráfico de cada força em função da posição angular (em graus). Não se esqueça de incluir as barras de incerteza.

7. Responda aos itens a seguir, considerando todos os dados obtidos.
a) Esboce abaixo os gráficos que você obteve nos itens **5c** e **6b**.



b) Interprete os gráficos obtidos. Em seus comentários, explore os significados dos elementos possíveis de se avaliar graficamente, como trechos crescentes ou decrescentes e pontos de máximo ou mínimo.

c) Retome as suas respostas à questão **2b** e comente se as suposições feitas no problema teórico correspondem aos seus resultados experimentais. Em caso afirmativo ou negativo, comente o que se pode deduzir dessa análise do ponto de vista físico.