XXIII Olimpiada IBEROAMERICANA de FÍSICA
Puerto Rico 2018

Prova Experimental

(em português)

E-2

INTRODUÇÃO:

As oscilações dos sólidos (pêndulos, molas, acoplamentos entre pêndulos e molas) permitem analizar as diversas propriedades destes sólidos: massa, momentos de inércia, frequências próprias, modos ressonantes e outras.

As oscilações das molas estudam-se quase sempre considerando que as molas têm massa e momento de inércia nulos. Contudo, nesta experiência, a massa da mola não é desprezável/desprezível, e contribui com a sua inércia e com o seu momento de inércia para o sistema oscilante mola-tubo que será analizado. Para além disto, será usada uma mola cónica/cônica compacta que obedece à Lei de Hook somente quando se pendura uma certa massa.

Nesta experiência irá medir a massa equivalente de uma mola que oscila verticalmente. Em seguida, também medirá o momento de inércia de um tubo que oscila como um pêndulo. Finalmente serão medidos o momento de inércia e a constante de amortecimeto das oscilações do tubo acoplado à mola.

SE A FOLHA DE RESPOSTA DE CADA TAREFA NÃO FOR SUFICIENTE PARA ESCREVER TODOS OS CÁLCULOS INTERMÉDIOS/INTERMEDIÁRIOS, PODE TAMBÉM USAR AS FOLHAS MARCADAS COM “W- ”, ESCREVENDO A SEGUIR AO “W- ” O NÚMERO DA TAREFA CORRESPONDENTE.

XXIII Olimpiada IBEROAMERICANA de FÍSICA Puerto Rico 2018

Prova Experimental

(em português)

E-3

TAREFA 1- (2,0 pontos)

O objetivo desta tarefa é determinar a constante elástica, k, da mola cónica/cônica quando está descompactada pelo peso de uma massa acoplada com 200 g (m_{ac} = 200 g), que se irá considerar como parte intrínseca da mola. (O papel desta massa acoplada é simplesmente esticar a mola de modo a que satisfaça a lei de Hooke).

Para determinar k usando um método estático (sem oscilações), faça a montagem da Fig. 2, colocando a mola de forma a que o seu extremo de menor diâmetro esteja em cima, e pendure as massas m_p que tem disponíveis.

Considere a aceleração da gravidade $g = 9{,}78$ m/s^2.

Use a folha W-5a. Se necessitar folhas extra, marque-as como W-5b, W-5c, etc.

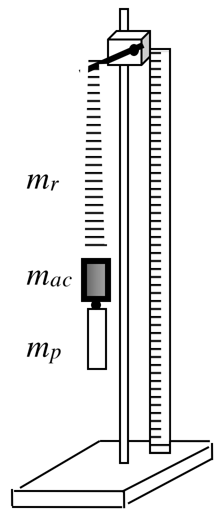

Fig. 2

Escreva o valor final de k na folha W-4.

Não determine a incerteza de k nesta tarefa.

TAREFA 2- (5,5 pontos)

Pode-se considerar que o sistema formado pela mola cônica/cónica e pela massa acoplada oscila de forma equivalente a uma partícula pendurada a uma mola ideal (sem massa) com constante elástica k. A massa desta partícula é a *massa equivalente* m_{eq} do sistema.

O objetivo desta tarefa é determinar esta *massa equivalente*. Com este objetivo empregue o método de oscilações verticais.

A partir das medições efetuadas, determine a *massa equivalente*, m_{eq}, da mola descompactada e determine novamente o valor de k. Tenha em conta que o período T para o sistema de massa+mola é dado por $T = 2\pi\sqrt{m/k}$, onde $m = m_{eq} + m_p$.

Use a folha W-6a. Se necessitar folhas extra, marque-as como W-6b, W-6c, etc.

Escreva o valor final de k e de m_{eq} na folha W-4, assim como o valor das incertezas.

XXIII Olimpiada IBEROAMERICANA de FÍSICA
Puerto Rico 2018

Prova Experimental

(em português)

E-4

TAREFA 3- (3,0 pontos)

O objetivo desta experiência é medir o momento principal de inércia I_{yy} em relação ao eixo y que passa no centro de massa (Fig. 3) de um tubo oco usando **métodos oscilatórios**. O tubo pode oscilar como um pêndulo em relação a diferentes eixos. A relação entre o período do pêndulo T e o seu momento de inércia I em relação ao eixo de suspensão é:

$$2\pi/T = \sqrt{mgh/I} \quad ,$$

onde h é a distância do eixo de suspensão relativamente ao centro de massa.

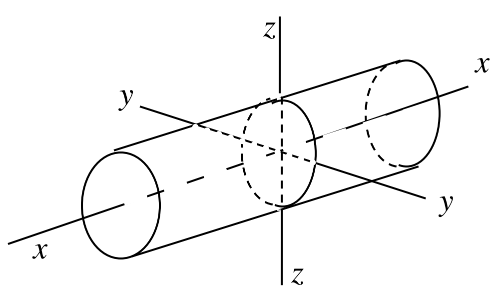

Fig. 3

A Fig. 3 mostra três eixos principais. Debe-se medir somente o momento de inércia I_{yy} em relação ao eixo yy.

Dispõe de uma vareta e de suportes para fazer as medições que lhe permitirão calcular este momento de inércia, recorrendo às oscilações do tubo como um pêndulo pendurado no eixo $y'y'$, **paralelo** ao eixo principal yy (Fig. 4).

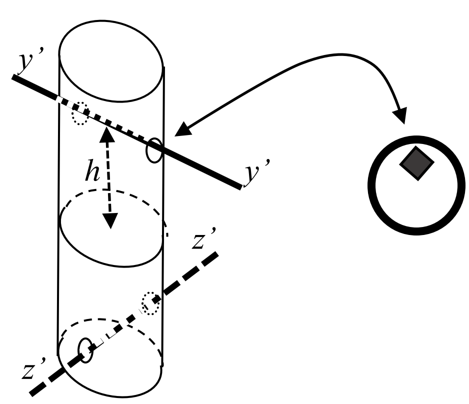

Fig. 4

Depois de medir $I_{y'y'}$ calcule o momento principal de inércia I_{yy}. A Fig. 4 mostra como colocar o eixo $y'y'$.

Utilize a folha W-7a para os seus cálculos. Pode adicionar folhas, numerando-as como já indicado.

Na folha W-3, escreva o raio externo médio, R_e, o raio interno médio, R_i, e o comprimento do tubo, L, juntamente com a estimativa das suas incertezas.

O tubo tem dois furos $y'y'$ perto de uma das suas extremidades onde se pode inserir na horizontal a vareta de secção quadrada como um eixo de suspensão do pêndulo. Tenha cuidado com a montagem da vareta-eixo: a sua horizontalidade, a solidez/estabilidade dos pontos de suspensão, as superfícies mínimas de contato com os eixos, etc. A massa do tubo m_t está escrita num papel colado ao tubo, o qual deve retirar depois de anotar o seu valor, com a respectiva incerteza, na folha W-3.

Compare o seu resultado experimental de I_{yy} com o obtido da teoria:

$$I_{yy\,teor} = (m_t/4)[R_i^2 + R_e^2 + L^2/3]$$

<u>Deverá registar o valor experimental de $I_{yy'}$ com a sua incerteza, o valor de I_{yy} sem a sua incerteza, o valor de $I_{yy\,teor}$ sem incerteza, e a diferença percentual $Dif(\%)_{exp\text{-}teor}$ entre I_{yy} e $I_{yy\,teor}$ na folha W-4.</u>

TAREFA 4- (5,0 pontos)

Monte o tubo acoplado à mola vertical descompactada (mola + massa acoplada) como mostrado na Fig. 5, de modo a que o tubo fique na horizontal. Para o acoplamento da mola com o tubo veja a Fig. 2 da página W-2.

O momento de inércia de rotação do sistema montado na Fig. 5 é agora determinado tanto pela massa do tubo como pela da mola, que se pode modelar como uma partícula acoplada ao tubo; à contribuição da mola para o momento de inércia do sistema chamaremos momento de inércia equivalente da mola, I_{eq}.

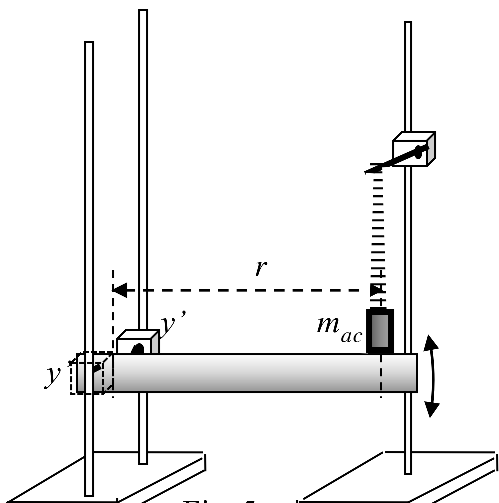

Fig. 5

O objetivo desta tarefa é calcular este momento de inércia equivalente, I_{eq}, quando a mola oscila acoplada ao tubo, em relação ao eixo horizontal *y'y'* que passa próximo de uma extremidade. A partir do valor determinado experimentalmente para o momento de inércia do sistema tubo-mola, $I_{t\text{-}r}$, deve calcular o momento de inércia equivalente I_{eq} da mola.

Meça várias vezes o período das oscilações e calcule o momento de inércia do sistema, $I_{t\text{-}r}$, em relação ao eixo *y'y'*.

Para calcular este valor $I_{t\text{-}r}$, tenha em conta que o período de oscilação obedece à relação:

$$2\pi/T = \sqrt{kr^2/I_{t-r}}$$

onde *r* é aproximadamente a distância entre o eixo de oscilação e o ponto de ligação da mola.

A partir de este $I_{t\text{-}r}$ poderá calcular o I_{eq} da mola, tendo em conta a propriedade aditiva do momento de inércia: $I_{t\text{-}r} = I_{y'y'} + I_{eq}$.

Por outro lado, calcule o valor $I' = m_{eq}\, r^2$. Este I' será o valor teórico do momento de inércia da mola assumindo que se comporta como uma partícula colocada no ponto de acoplamento da mola.

Dentro dos limites dos erros experimentais, que deverá calcular: podemos concluir que $I' = I_{eq}$ para a sua mola descompactada? Ou são os parâmetros independentes nos modelos teóricos das oscilações corpo-mola e das oscilações de um pêndulo horizontal? Escreva as suas respostas na folha W-9a.

Utilize a folha W-9a para as suas medidas e cálculos (e aquelas que adicionar, bem numeradas).

<u>Escreva os valores de I_{eq} e de I', com as respetivas incertezas (assim como a sua conclusão sobre se eles podem ser considerados iguais ou não) na folha W-4.</u>

ATENÇÃO: O raio dos orifícios através dos quais o eixo *y'y'* passa é tão pequeno comparado com o comprimento do tubo que, em primeira aproximação, se pode considerar que o momento de inércia $I_{y'y'}$ é praticamente o mesmo quando o eixo *y'y'* apoia o tubo num ou noutro ponto na borda dos orifícios, como nas Figuras 4 e 5. A diferença entre um e outro valor é da ordem de 1%.

XXIII Olimpiada IBEROAMERICANA de FÍSICA

Puerto Rico 2018

Prova Experimental

(em português)

TAREFA 5- (3,5 pontos)

O quinto e último objetivo é calcular o fator de amortecimento exponencial das oscilações do sistema mola-tubo, com uma montagem como a mostrada na Fig. 6. (Prenda o "arame indicador" I na extremidade do tubo usando um pedaço de fita adesiva).

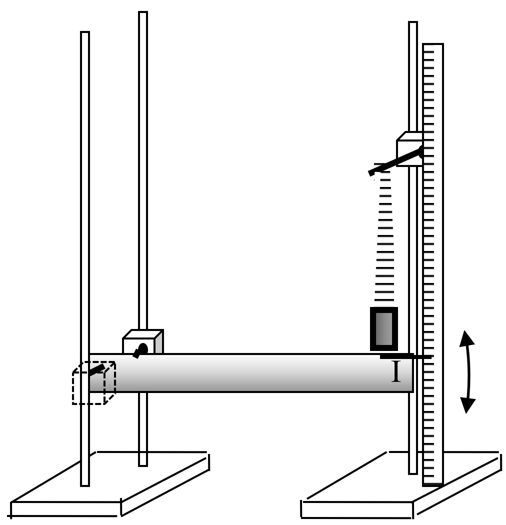

Fig. 6

Com esta montagem, faça medidas da amplitude de oscilações da extremidade livre da barra, desde 8,0 cm de amplitude a 4,0 cm de amplitude, observando que tempo leva para diminuir a sua amplitude, de 8 cm a 7 cm, de 8 a 6, de 8 a 5, de 8 a 4. Repita várias vezes as medidas do tempo com os mesmos intervalos.

Faça uma tabela de amplitudes A e de tempos t, e determine graficamente o valor de λ, assumindo que a amplitude decresce aproximadamente segundo uma lei do tipo $A = A_o e^{-\lambda t}$.

Não se pede a incerteza de λ.

Inclua a tabela de valores e o seu gráfico experimental na folha W-10a.

<u>Escreva o valor obtido de λ na folha W-4.</u>

Lista de valores na folha W3 (1,0 pontos)