

F129 – Experimento 4 – Estudo da Lei de Hooke e associação em série de molas¹

Apresentação

A mola é um objeto feito de material elástico, que é deformado pela ação de uma força e que volta ao seu formato original quando a força é removida. Entre outras aplicações, as molas servem para absorver choques ou vibrações em amortecedores de carros, medir forças em balanças de mola e armazenar energia em relógios e brinquedos². Em outro exemplo, as molas são usadas em modelos de osciladores harmônicos para interpretação de dados na Espectroscopia de Infravermelho de moléculas diatômicas³.

Segundo a Lei de Hooke, a deformação, x , de uma mola é proporcional à força, F , aplicada: $F = kx$, em que k é a constante elástica da mola e depende da geometria e do material de que é feita. Pode-se dizer também que a constante elástica está associada à rigidez da mola. Molas reais podem não obedecer à Lei de Hooke para valores muito pequenos ou muito grandes de força aplicada. Neste experimento, a validade da Lei de Hooke será estudada para duas molas de constantes elásticas diferentes, k_1 e k_2 . A combinação em série destas duas molas também será estudada e você precisará decidir qual das duas equações é mais adequada para descrever a constante elástica resultante: $k_s = k_1 + k_2$ ou $(1/k_s) = (1/k_1) + (1/k_2)$.

Materiais e métodos

Material disponível: suporte vertical com régua metálica, molas de passos sortidos, barbante, copinhos de plástico, clips de papel, chumbadas de pesca diversas, balança digital.

Procedimento: A montagem básica do experimento está mostrada na Fig. 1. Uma mola (ou combinação de molas) é fixada a uma haste por uma de suas extremidades, enquanto um objeto de massa conhecida é pendurado na outra extremidade. Como a força aplicada à mola pode ser variada?

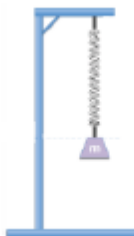


Figura 1. Esquema da montagem experimental para o estudo das molas.

¹ Versão adaptada da apostila “Aplicando o Método dos Mínimos Quadrados a um experimento com molas”, de autoria do Prof. Luís E. E. de Araújo.

² <https://learnmechanical.com/different-types-of-spring/>, consultado em 01/10/2019

³ Oliveira, L.F.C. 2001. Espectroscopia Molecular. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, Nº 4 (Disponível no Moodle).

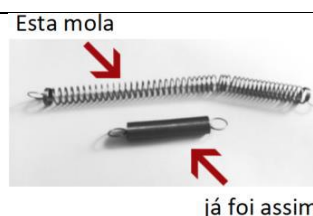
Atenção: Você deve investigar duas molas helicoidais de passos (distância entre espiras consecutivas) distintos. Uma primeira mola com espiras em contato uma com a outra e uma segunda mola com espiras consecutivas separada. Deverá também investigar a associação em série destas duas molas.

Questões

Através dos dados que coletará no experimento, você deverá responder às seguintes perguntas:

- De que modo a resposta da mola ao peso pendurado nela depende do passo da mola? Essa resposta é sempre linear?
- Qual é a equação matemática que relaciona a distensão de uma mola ao peso pendurado nela? O quão geral é essa relação?
- De que maneira os números na equação determinada experimentalmente se relacionam às propriedades físicas da mola?
- Qual dos dois modelos teóricos apresentados que melhor se aplica à combinação em série de molas?

Atenção: Não estique a mola além do seu limite elástico. Pendurar uma massa muito grande na mola ou puxá-la com muita força pode arruinar a mola. Além disso, tome cuidado para não forçar os ganchos nas extremidades da mola, deformando-os.



Execução

Execute o seu experimento. Durante a execução:

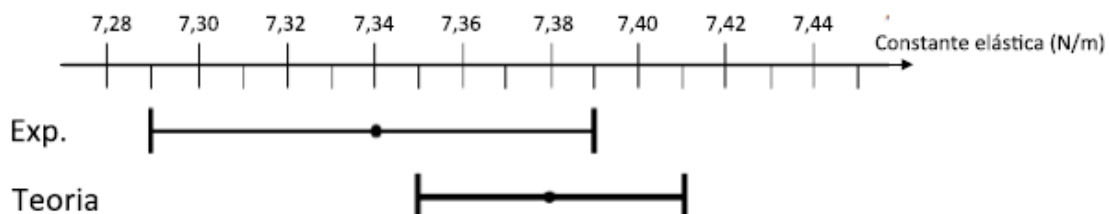
- Faça anotações detalhadas no seu caderno de laboratório e não em folhas avulsas! As suas anotações devem ser detalhadas o suficiente para que você ou qualquer outra pessoa possa reproduzir os seus dados baseando-se apenas nas suas anotações. Inclua um diagrama do aparato experimental.
- Faça um gráfico dos seus dados à medida que executa o experimento. Para isso use o “Online Data Plotter” (disponibilizado no Moodle) ou outro programa como o SciDAVis (<http://scidavis.sourceforge.net/>) no seu computador pessoal. No celular, você pode também utilizar um aplicativo gráfico, como por exemplo, “Vernier Graphical Analysis”. Visualizar o gráfico pode ajudá-lo a decidir quais pontos medir. Não se preocupe se acabar coletando mais pontos (ou pontos diferentes) do que havia planejado. Lembre-se que a utilização do programa de confecção de gráficos é apenas um auxílio visual, o gráfico final deve ser feito à mão.

Análise

1. Faça gráficos em papel milimetrado de força peso aplicada à mola vs. distensão da mola com os dados coletados para os 3 casos estudados: as duas molas individuais e a sua combinação em série.

2. Com auxílio dos gráficos, considere o seguinte: Os seus dados cobrem um largo intervalo de forças aplicadas às molas? Os dados mostram algum padrão? Existem dados experimentais que não se ajustam ao padrão?
3. A partir dos dados experimentais, determine a equação que relaciona a distensão da mola com a força aplicada à mola. Qual o tipo de equação que você deve utilizar para ajustar (usando o MMQ) os dados? Todo o conjunto de dados deve ser incluído no ajuste?
4. Interprete os parâmetros da sua equação. A que grandezas físicas estes parâmetros correspondem? (Dica: Se não tiver certeza do que os parâmetros da equação significam, determine a unidade destes parâmetros)
5. A partir dos resultados experimentais, determine as constantes elásticas das molas individuais e sua combinação em série.
6. Baseado nos modelos teóricos de combinações em séries de molas qual deveria ser a constante elástica equivalente da combinação de molas $k_s \pm u_s$, onde u_s é a incerteza da constante elástica equivalente. Utilize os valores obtidos experimentalmente para as constantes elásticas das molas.
7. Compare com o valor obtido experimentalmente e discuta qual o modelo mais apropriado.

Comparando resultados diferentes: Digamos que um grupo de alunos mediu a constante elástica de duas molas combinadas em série e encontrou $(7,34 \pm 0,05)$ N/m. Baseado nas constantes elásticas das molas individuais, os alunos haviam previsto que a constante equivalente da combinação seria $(7,38 \pm 0,03)$ N/m. Os dois resultados concordam um com o outro? Se os dois intervalos definidos pelos dois resultados se superpõem, então os dois resultados estão em concordância dentro das incertezas declaradas. Graficamente, temos:



Dizemos que os resultados experimental e teórico concordam dentro das incertezas experimentais dadas por um sigma.

Relatório

O relatório deve ser elaborado seguindo o padrão adotado até aqui na disciplina e descrito em “Formato do relatório”. Antes de começar a escrever, organizem os dados em tabelas, incluindo aquelas listando as várias fontes de incerteza de cada medição e as tabelas de cálculo de MMQ. Os gráficos devem ser confeccionados à mão em papel milimetrado. Façam as análises pedidas no roteiro e identifiquem os principais resultados. **Anexem uma cópia dos dados utilizados ao relatório.** Quaisquer dúvidas devem ser tiradas com os professores e monitores da disciplina antes da entrega do relatório.

Bibliografia

Halliday, Resnick e Walker. Fundamentos da Física, Volume 1, editora LTC.

Kirkup e Frenkel. An Introduction to Uncertainty in Measurement, editora Cambridge.