

FÍSICA EXPERIMENTAL 2 – ONDAS, FLUIDOS E TERMODINÂMICA  
 EXPERIÊNCIA – MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES (MHS)

**Objetivos**

Estudar o movimento harmônico simples, determinando as constantes elásticas de molas individuais, suas associações em série e em paralelo e os limites de validade deste tipo de movimento em um sistema massa-mola. Introduzir o conceito de oscilações amortecidas.

**Introdução**

Considere um objeto de massa **M** pendurado por uma mola de constante de mola **K** e massa **m** (vide figura). Desprezando a influência da massa **m** da mola, o deslocamento **d** sofrido pelo conjunto devido à massa **M** produz uma força restauradora **K.d** que, no equilíbrio, se iguala à força gravitacional **M.g** (equação 1).

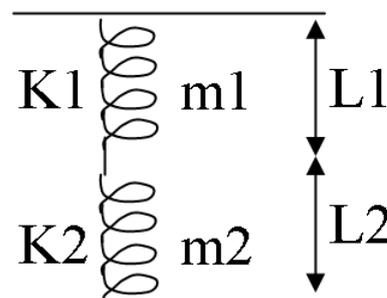
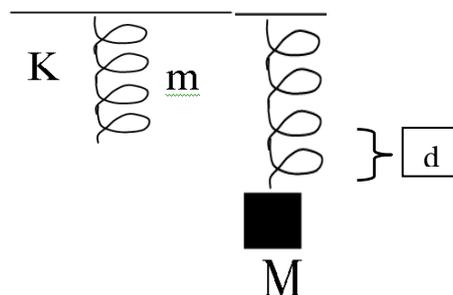
$$K \cdot d = M \cdot g \tag{1}$$

Quando um movimento se repete em intervalos de tempo iguais ele é chamado de periódico. O movimento de uma massa **M** presa à extremidade de uma mola é um exemplo típico. Se uma força atua sobre a mola, dentro de seu limite elástico, a força restauradora é proporcional ao deslocamento, resultando em um movimento harmônico simples (MHS) de período:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K}} \tag{2}$$

sendo **K** a constante elástica da mola. Neste caso, a massa da mola foi considerada como desprezível. Caso contrário, a massa do sistema equivalente é dada pela soma de **M** do corpo suspenso e a terça parte da massa **m** da mola. Agora, o período de oscilação do sistema será:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M + m/3}{K}} \tag{3}$$



A associação de molas também dá origem ao MHS. Quando em série, a força aplicada se transmite integralmente às duas molas e, por terem constantes elásticas **K1** e **K2** diferentes, sofrem deformações diferentes. Nesta associação, a constante elástica **K** equivalente está relacionada à constante elástica das molas por\*:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K1} + \frac{1}{K2} \quad (4)$$

Ainda nesse caso, o período será dado por:

$$T = 2\pi \sqrt{\left(M + \frac{m}{3}\right) \left(\frac{1}{K1} + \frac{1}{K2}\right)} \quad (5)$$

Por sua vez, na associação de molas em paralelo, a constante elástica **K** equivalente será relacionada à constante elástica das molas por  $K = K1 + K2$ \*, levando a um período igual a\*:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M + m/3}{K1 + K2}} \quad (6)$$

Nesta experiência, estudaremos o movimento harmônico simples determinando as constantes elásticas de molas individuais e de suas associações por dois métodos distintos: estático e dinâmico.

### **Lista de Material**

Haste de suspensão, 3 molas de constantes **K** distintas, régua ou trena, balança, cronômetro.

### **Procedimento Experimental**

#### **I) Parte estática:**

**a)** prender a mola 1 à haste, colocar uma massa **M** na sua extremidade livre e medir a distensão **d** da mola. Fazer isso para dez valores de massa diferentes, anotando os resultados em uma tabela. Sugestão: procure utilizar o maior número de valores de massa entre 47 g e 350 g de acordo com cada alongamento apresentado pelas molas.

**b)** repetir o item anterior para as molas 2 e 3.

#### **II) Parte dinâmica e associação de molas:**

**a)** Prender a mola 1 à haste, colocar uma massa **M** na sua extremidade e medir o tempo de 10 oscilações. Repetir a medição do tempo 4 (quatro) vezes, calcular o valor médio e determinar o período médio de uma oscilação **T**, anotando os resultados em uma tabela. Fazer isso para cinco valores de massa diferentes, anotando os resultados em uma tabela.

\* Faça a dedução dessas equações

**b)** repetir o item anterior para as molas 2 e 3. **c)** repetir o item a) realizando a associação em série de duas molas quaisquer. **d)** repetir o item a) realizando a associação em paralelo de duas molas quaisquer. **e)** meça as massas das molas.

### **III) Parte dinâmica e limites de validade:**

---

**a)** Repetir o item a) da parte II com a mola 1 e para 3 valores diferentes de amplitude inicial e uma única massa.

**b)** Para uma única amplitude inicial, determine a amplitude das oscilações de uma mola acoplada a uma massa durante o início do movimento até o seu total amortecimento. Sugere-se medir a amplitude e o tempo a cada 5 oscilações e repetir este passo três vezes para estimar o valor médio das amplitudes. Registre também o tempo total para o completo amortecimento do movimento.

**c)** Para uma única amplitude inicial, determine o período para o mesmo sistema montado no item b) anterior. Sugere-se tomar o tempo gasto ao longo de 5 oscilações e obter o período médio para estas cinco oscilações; repetir isto para cada 5 oscilações subseqüentes. Sugere-se fortemente que a medida deste item seja realizada ao longo de uma mesma série de oscilações, desde o início até o seu total amortecimento. Ou seja, solte a mola somente uma vez. Repetir este passo três vezes para estimar o valor médio dos períodos.

#### **Análise dos dados**

**a)** Faça os gráficos de **M** versus **d** e a partir deles determine o **K** das três molas pelo método estático.

**b)** Elabore um gráfico da força restauradora da mola *versus* o deslocamento **d** produzido pelas massas. Ajuste e avalie a dependência linear entre a força restauradora e o deslocamento da mola.

**c)** Faça os gráficos de **T<sup>2</sup>** *versus* **M** para cada mola e determine a partir deles o **K** das três molas pelo método dinâmico.

**d)** Compare os resultados obtidos em a) e c).

**e)** Faça os gráficos de **T<sup>2</sup>** *versus* **M** para os casos da associação em série e da associação em paralelo, e determine a partir deles o **K** equivalente dos sistemas.

**f)** Compare o resultado anterior com os valores teóricos esperados para as associações das molas usando os resultados de a) e c).

**g)** Elabore um gráfico de **T** *versus* deslocamento inicial da amplitude, a partir dos dados adquiridos no item a) da parte III do procedimento experimental.

**h)** Elabore e discuta o gráfico da amplitude *versus* tempo, a partir dos dados adquiridos no item b) da parte III do procedimento experimental, em função do tempo. E determine a constante de amortecimento **b**, sabendo que o decaimento exponencial da amplitude é dado por

$$A = A_0 e^{-\left(\frac{b}{2m}\right)t}$$

sendo **m** a massa do sistema ( $m/3 + M$ ).

**i)** Elabore e discuta o gráfico do período, a partir dos dados adquiridos no item c) da parte III do procedimento experimental, em função do número de oscilações.

**Observações importantes:** (a) Pré-requisitos para o experimento: estudar o movimento harmônico simples, propagação de desvios, confecção de gráficos e regressão linear. (b) Procure anotar todas as informações relevantes para a futura análise. (c) Procure questionar-se sobre todos os tópicos possíveis do experimento incluindo possíveis causas de erro e de discrepância entre prática e teoria. (d) procure não utilizar massas que distendam as molas demasiadamente de modo a danificá-las. (e) a coleta de dados pode ocorrer de forma mais rápida caso as medidas, estática e dinâmica, sejam feitas em seqüência para uma mesma massa.