

## Roteiro do experimento “Modos Normais” – Parte I

### A) Introdução ao experimento

Neste experimento, analisaremos um sistema formado por dois carrinhos presos a três molas, de uma maneira que acopla seus movimentos – observe os vídeos das situações 1 e 2 na aba Vídeos da página do experimento. Veremos que qualquer movimento desse sistema pode ser descrito pela *soma* dos *modos normais* de vibração do sistema, que correspondem aos vídeos Modo Normal 1 e Modo Normal 2. O fenômeno é surpreendente, mas as medições e cálculos sugeridos neste roteiro e no próximo permitirão explicar os movimentos observados.

Como em outros experimentos virtuais, este também será analisado em duas etapas. O material deste roteiro corresponde à primeira parte da análise, e não vamos mais mencionar que há outro roteiro depois deste, ou seja, você não terá um resultado final quando completar este roteiro.

Começaremos medindo as duas frequências naturais de oscilação do sistema e, depois, as posições dos carrinhos em função do tempo em um movimento aparentemente desordenado. Assim, observaremos os possíveis movimentos desse sistema, tanto as oscilações harmônicas quanto as que são aparentemente desordenadas, e tomaremos os dados necessários à sua análise.

### B) Procedimento de medida das frequências naturais dos modos normais

Esse sistema de dois carrinhos com 3 molas apresenta infinitas maneiras de se mover, mas tem dois (e apenas dois) jeitos de oscilar harmonicamente: um, em que ambos os carrinhos fazem exatamente o mesmo movimento, e outro, em que fazem movimentos exatamente opostos. As frequências dessas oscilações são chave na explicação do fenômeno que vamos observar, de maneira que precisamos medi-las. Os vídeos marcados Modo Normal 1 e Modo Normal 2 foram filmados a 120 quadros por segundo e os programas que exibem o vídeo mostram 60 quadros por segundo – estão sendo exibidos em *câmara lenta*. Assim, dois segundos na tela correspondem a 1 s de movimento dos carrinhos. Por isso, o tempo que você cronometrar vendo o vídeo não representará o tempo real do movimento, de modo que se deve dividir o tempo encontrado por dois para achar o tempo real,

$$t_{\text{real}} = \frac{1}{2} t_{\text{câmara lenta}}$$

Note que a barra de tempo que aparece na parte de baixo do vídeo também tem esse fator de escala, de maneira que, se você usar essa informação, também precisará dividir por 2 sua leitura.

B1. Assista ao vídeo “Modo Normal 1 (frequência baixa)”, prestando atenção nos movimentos dos dois carrinhos. Escolha um dos instantes em que um deles inverte o movimento e dispare um cronômetro (o do seu celular está perfeito) e comece a contar as oscilações. Não se esqueça de contar a primeira oscilação *somente* quando o carrinho voltar na mesma posição em que disparou o cronômetro. Cronometre 10 oscilações e divida o tempo por 10, assim você terá um resultado mais preciso. Repita essa medição várias vezes (5 ou 6 são suficientes) e tire a média, o que melhora a qualidade da sua observação.

B2. Determine as médias dos dados tomados e seu desvio-padrão; as fórmulas do guia de incertezas foram transcritas a seguir. Se  $N$  é o número de repetições e  $T_i$  é um dos dados (se você observou o tempo de 10 oscilações, lembre-se de determinar o período dividindo o intervalo cronometrado por 10), a média é

$$\langle T \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i \quad (1)$$

com desvio-padrão

$$\sigma_T = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (2)$$

em que

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{10} (T_i - \langle T \rangle)^2 \quad (3)$$

B3. Repita os procedimentos **B1** e **B2** para o vídeo “Modo Normal 2 (frequência alta)”, sempre lembrando que o vídeo está sendo exibido em câmara lenta.

B4. Calcule as duas frequências naturais de oscilação e suas respectivas incertezas a partir das expressões abaixo,

$$\omega = \frac{2\pi}{\langle T \rangle} \quad (4)$$

$$\sigma_\omega = \omega \frac{\sigma_T}{\langle T \rangle} \quad (5)$$

Essas expressões valem para cada uma delas; como você tem duas frequências, você precisará distinguir os dois resultados, seja por um subscrito ( $\omega_a$  e  $\omega_b$ ), seja com letras diferentes ( $\omega$ ,  $\nu$ ) ou mesmo maiúscula e minúscula ( $\omega$ ,  $\Omega$ ).

### C) Procedimento de análise das posições dos carrinhos

C1. Assista atentamente ao vídeo da situação que lhe foi atribuída pelo seu professor. Perceba o movimento desordenado dos dois carrinhos.

C2. Monte uma tabela com as posições dos dois carrinhos em função do tempo que aparece em cada quadro.

C3. Faça um gráfico das posições em função do tempo. Responda: *Esse gráfico corresponde a alguma função matemática que você conheça?*

#### **D) Procedimento de elaboração do relatório**

Entregue um relatório com os seguintes itens:

D1. *Introdução*: apresente uma introdução resumida contendo aspectos teóricos, formulações usadas e informações que achar relevante, assim como os objetivos do experimento.

D2. *Descrição do experimento*: descreva o arranjo experimental de forma sucinta, não deixando de mencionar os principais dispositivos e componentes usados assim como suas características.

D3. *Análise de dados e resultados obtidos*: apresente, em forma de tabela, os dados obtidos nos itens **B2**, **B3** e **B4**. Apresente, também, os dados da tabela construída no item **C2** e o gráfico do item **C4** e responda à pergunta contida no mesmo item.

D4. *Conclusão*: volte para a introdução e atente para o objetivo desta etapa do experimento. Escreva a conclusão se perguntando: “A experiência conseguiu atendê-lo? Por quê?”.