

PÊNDULO SIMPLES E CALORIMETRIA

META

Analisar o movimento periódico de um pêndulo simples e realizar um experimento para determinação da capacidade térmica de um calorímetro e do calor específico de uma peça metálica.

OBJETIVOS

Ao final desta aula, o estudante deverá ser capaz de:

1. Calcular o período de um pêndulo simples;
2. Determinar a dependência entre o período do movimento e o comprimento do pêndulo simples;
3. Determinar a aceleração da gravidade a partir dos dados do experimento;
4. Identificar a relação entre quantidade de calor e variação de temperatura;
5. Calcular a capacidade térmica de um calorímetro, a partir de medidas de variação de temperatura;
6. Calcular o calor específico de uma peça metálica, a partir de medidas de variação de temperatura;
7. Identificar as dificuldades do experimento e suas conseqüências.

PRÉ-REQUISITO

Ter estudado todo o conteúdo da primeira aula deste livro e estar no laboratório didático com as experiências de “Pêndulo Simples” e “Capacidade Térmica e Calor Específico”.

INTRODUÇÃO

Olá! Tudo bem?

Chegamos a nossa última aula e aos nossos últimos dois experimentos. Nesta aula, você vai estudar o movimento oscilatório de um pêndulo simples e vai entender como ocorre a troca de calor em um calorímetro adiabático. Mais uma vez, você vai perceber que a partir de experimentos simples é possível determinar valores importantes. Pela experiência do pêndulo, será possível estimar o valor da aceleração da gravidade. Pela experiência de calorimetria, você poderá determinar que o calor específico da peça metálica utilizada e, a partir dele, determinar o elemento que a compõe. Então, mãos à obra: vamos começar a nossa última aula!

5.1 Pêndulo Simples

Nesta experiência, você estudará o movimento periódico executado por uma esfera de aço suspensa por um fio de massa desprezível. O esquema de um pêndulo simples está ilustrado na figura 5.1.

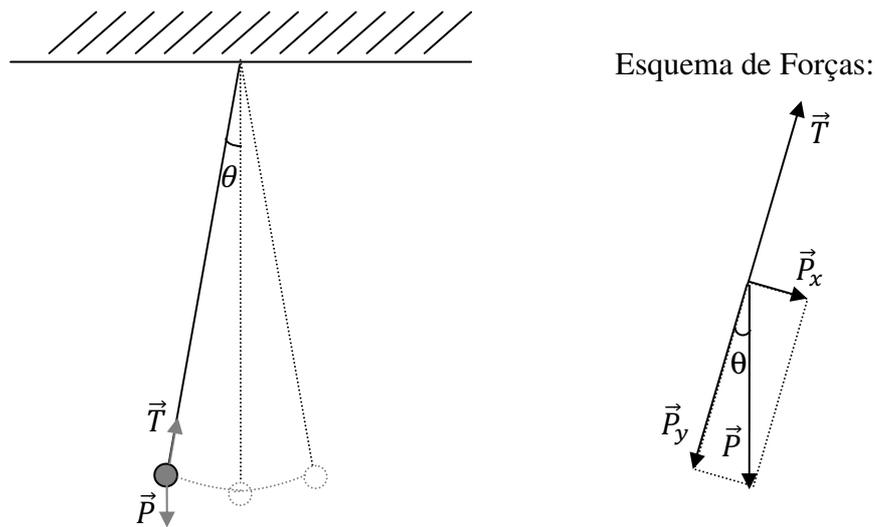


Figura 5.1: Esquema do pêndulo simples. L é o comprimento do fio, m a massa da esfera e θ o ângulo de deflexão do pêndulo em relação à vertical.

O movimento oscilatório ocorre devido à ação da componente \vec{P}_x da força \vec{P} . Portanto:

$$\vec{F}_x = -\vec{P}_x \quad (5.1)$$

O sinal negativo indica que a força atuando no sistema é restauradora. Observe que a componente \vec{P}_x muda de módulo e de sentido durante o movimento, atuando sempre no sentido de fazer a esfera retornar a posição central. Desenvolvendo a equação 5.1, têm-se:

$$ma_x = -mg \operatorname{sen} \theta \quad (5.2)$$

Mas,

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2} \quad (5.3)$$

e,

$$x = L \cdot \theta \quad (5.4)$$

$$\therefore \frac{d^2(L \cdot \theta)}{dt^2} = -g \operatorname{sen} \theta$$

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{L} \sin \theta = 0 \quad (5.5)$$

Esta é a equação de movimento do Pêndulo Simples, que pode ser simplificada quando o deslocamento angular θ do pêndulo em relação à vertical for pequeno. Para $\theta < 15^\circ$, temos que $\sin \theta \approx \theta$, e a equação 5.5 se reduz a:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{L} \theta = 0 \quad (5.6)$$

Esta equação é típica dos movimentos harmônicos simples, cuja solução geral é:

$$\theta(t) = \theta_0 \cos(\omega t + \phi) \quad (5.7)$$

ATIVIDADE

Confira que $\theta(t)$ é solução de 5.6 desde que: $\omega^2 = \frac{g}{L}$.

Portanto,

$$\omega^2 = \frac{g}{L} \quad (5.8)$$

e como,

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (5.9)$$

$$\therefore T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (5.10)$$

O SÉTIMO EXPERIMENTO: PÊNDULO SIMPLES

OBJETIVOS

O objetivo desta experiência é estudar o movimento de um pêndulo simples, determinando a dependência entre o período de oscilação e o seu comprimento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais necessários para realização deste experimento são:

- ✓ Esfera presa a um fio
- ✓ Eletroímã
- ✓ Fonte de tensão
- ✓ Sensor ótico
- ✓ Cronômetro digital
- ✓ Tripé e haste de sustentação
- ✓ Chave 2 pólos/2 posições
- ✓ Trena
- ✓ Micrômetro
- ✓ Transferidor

O arranjo experimental está ilustrado na figura 5.2. O eletroímã (2) retém a esfera metálica enquanto a chave (7) estiver na posição ligada. Quando a chave é desligada, a esfera (1) é abandonada do repouso ao mesmo tempo em que o cronômetro (5) é disparado. A passagem da esfera pelo sensor ótico (4) para o cronômetro (5). É registrado o tempo gasto pela esfera para percorrer $1/4$ do período do seu movimento oscilatório.

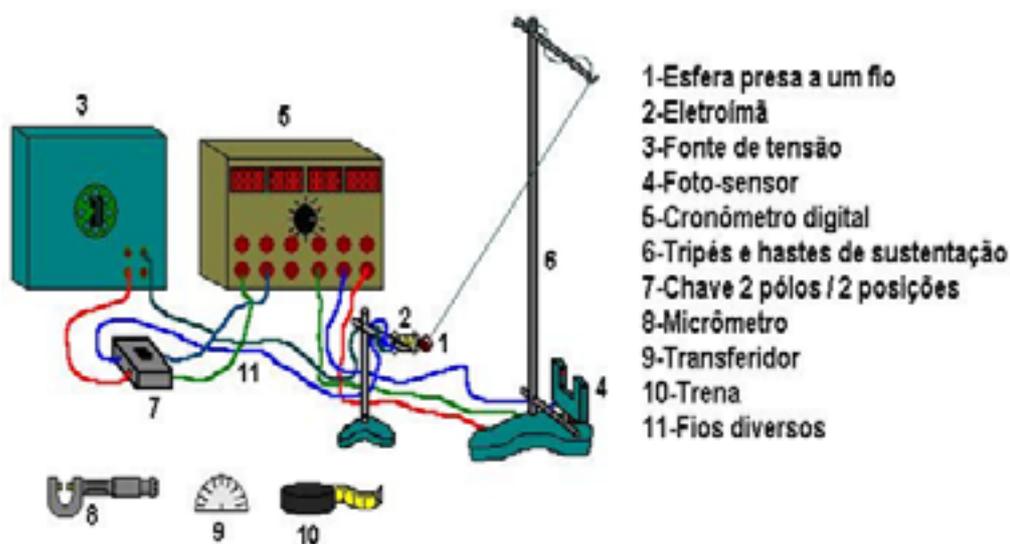


Figura 5.2: Esquema do aparato experimental (ilustração – Flávio C.T. Maia).

ROTEIRO EXPERIMENTAL

- i. Meça o comprimento L do pêndulo (leve em conta o raio da esfera);
- ii. Escolha um valor de θ , tal que o limite $\sin \theta \approx \theta$ ainda seja válido. Ou seja, θ não deve superar 15° ;
- iii. Posicione o eletroímã no ponto escolhido;

Laboratório de Física A

- iv. Faça um teste prévio para garantir que a esfera passará corretamente pelo sensor ótico. Para tanto, observe o movimento do pêndulo. Se necessário, faça ajustes de forma que a esfera passe pela parte central do sensor ótico;
- v. Ligue os cronômetros digitais e libere a esfera desligando a chave;
- vi. Meça 5 vezes o tempo gasto pela esfera para percorrer $1/4$ do período;
- vii. Repita os procedimentos de i a vi para outros 9 valores de L , procurando manter o ângulo inicial constante.

A tabela 5.1 é uma sugestão para a coleta de dados desta experiência.

DISCUSSÃO

1. Utilizando os dados da tabela 5.1, construa em papel milimetrado o gráfico de $L \times T^2$.
2. Comente o que você espera obter e compare sua expectativa com o resultado obtido.
3. Determine graficamente o valor do coeficiente angular e sua incerteza.
4. Determine, a partir deste coeficiente angular, o valor da aceleração da gravidade com sua respectiva incerteza, e compare-a com o valor teórico de $g = 9,78 \text{ m/s}^2$
5. O que você pode concluir em relação à dependência funcional de T com L ?



Mais uma vez, entre as experiências, sugiro que você pare um pouco, descanse e aproveite para fazer o relatório.

5.2 Capacidade Térmica e Calor Específico

Calorimetria é a parte da física que estuda as trocas de energia que ocorrem na forma de calor. Nesta experiência, serão estudados os efeitos do calor sobre os corpos, e a relação entre quantidade de calor, variação de temperatura e capacidade térmica ou calor específico.

Se tivermos m gramas de uma substância cujo calor específico é c , a quantidade de calor (Q) necessária para variar sua temperatura de ΔT é:

$$Q = mc\Delta T = C\Delta T \quad (5.11)$$

$C = mc$ é a capacidade térmica da amostra considerada e é dada em $\text{cal}/^\circ\text{C}$.

Imagine que uma amostra A, de massa m_A , de uma substância de calor específico c_A , aquecida a uma temperatura T_A , seja mergulhada em uma massa m de água contida num calorímetro, de capacidade térmica C , cujas paredes sejam adiabáticas. A água e o calorímetro estão inicialmente à temperatura $T_i < T_A$. Após estabelecer-se o equilíbrio térmico, o sistema atinge a temperatura T_f . Como as paredes adiabáticas não permitem trocas de calor com o exterior, a quantidade de calor perdida pela amostra será cedida à água e ao calorímetro, de modo que:

$$Q_A + Q_{\text{água}} + Q_{\text{cal}} = 0 \quad (5.12)$$

O OITAVO EXPERIMENTO: CAPACIDADE TÉRMICA E CALOR ESPECÍFICO

OBJETIVOS

Os objetivos desta experiência serão determinar a capacidade térmica de um calorímetro e o calor específico de uma peça metálica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais necessários para realização deste experimento são:

- ✓ Calorímetro
- ✓ Béquers diversos
- ✓ Aquecedor
- ✓ Termômetro
- ✓ Balança
- ✓ Água
- ✓ Peça metálica

ROTEIRO EXPERIMENTAL

1ª parte: Determinação da capacidade térmica do calorímetro

- i. Meça 50 g de água, em temperatura ambiente, e coloque no calorímetro, anotando a temperatura do sistema após o equilíbrio térmico;
- ii. Meça a massa do sistema completo, calorímetro + água fria;
- iii. Meça 100g de água e coloque para aquecer;
- iv. Retire a água do aquecedor após a temperatura ultrapassar 80°C;
- v. Com o auxílio do termômetro, meça a água para haja maior homogeneidade e meça a temperatura de equilíbrio da água quente; (Obs: não demore muito fazendo isso, para que a temperatura da água não baixe muito)
- vi. Rapidamente, abra o calorímetro, coloque a água quente e feche o calorímetro;
- vii. Meça a temperatura final de equilíbrio térmico;
- viii. Meça a massa do sistema completo, calorímetro + água fria + água quente, e confira se houve evaporação da massa de água quente, durante o aquecimento;
- ix. Repita os procedimentos i a viii outras 2 vezes.

2ª parte: Determinação do calor específico de uma peça metálica

- i. Coloque dentro do calorímetro uma peça metálica, cuja massa deve ser aferida;
- ii. Repita os procedimentos i a ix da 1ª. Parte do experimento, mantendo a peça sempre dentro do calorímetro.

A tabela 5.2 é uma sugestão para a coleta de dados desta experiência.

Tabela 5.2: Dados coletados na experiência de capacidade térmica e calor específico.

Primeira Parte: Capacidade Térmica do Calorímetro												
	$m_{\text{água fria}}$ (g)	σ_3 em m (g)	$T_{\text{água fria}}$ (°C)	σ_3 em T (°C)	$m_{\text{água quente}}$ (g)	σ_3 em m (g)	$T_{\text{água quente}}$ (°C)	σ_3 em T (°C)	T_{final} (°C)	σ_3 em T (°C)	Capacidade Térmica (cal/°C)	σ_{CT} (cal/°C)
Medida 1												
Medida 2												
Medida 3												
Segunda Parte: Calor específico												
	$m_{\text{água fria}}$ (g)	σ_3 em m (g)	$T_{\text{água fria}}$ (°C)	σ_3 em T (°C)	$m_{\text{água quente}}$ (g)	σ_3 em m (g)	$T_{\text{água quente}}$ (°C)	σ_3 em T (°C)	T_{final} (°C)	σ_3 em T (°C)	Calor Específico (cal/g.°C)	σ_{CE} (cal/g.°C)
Medida 1												
Medida 2												
Medida 3												

DISCUSSÃO

1ª Parte: Determinação da capacidade térmica do calorímetro

Nesta parte da experiência, haverá trocas de calor entre duas porções de água e o calorímetro, de modo que têm-se:

$$Q_{AF} + Q_{AQ} + Q_{cal} = 0 \quad (5.13)$$

Q_{AF} é a quantidade de calor da água fria, Q_{AQ} é a quantidade de calor da água quente e Q_{cal} é a quantidade de calor do calorímetro.

Substituindo a equação 5.11 na equação 5.13, têm-se:

$$[mc(T_f - T_i)]_{AF} + [mc(T_f - T_i)]_{AQ} + [C(T_f - T_i)]_{cal} = 0 \quad (5.14)$$

1. Com os dados obtidos, e usando calor específico da água = 1,0 cal/g°C, determine a capacidade térmica do calorímetro para cada um dos experimentos realizados na 1ª parte;
2. Considerando as incertezas instrumentais, determine, por propagação de incertezas, a incerteza associada a cada valor de capacidade térmica obtido;
3. Considerando os três valores de capacidade térmica obtidos, calcule o valor médio desta grandeza. E, considerando os valores de incertezas estimados para cada valor de capacidade térmica encontrado, calcule também a incerteza associada ao valor médio da capacidade térmica, por propagação de incertezas;
4. Como esta experiência está sujeita a muitos fatores externos que podem prejudicar seus resultados, avalie a confiabilidade dos dados antes de calcular a média, descartando valores que estejam muito destoantes.

2ª parte: Determinação do calor específico de uma peça metálica

Aqui o procedimento é semelhante ao da primeira parte, com a diferença de que agora temos duas porções de água, o objeto metálico e o calorímetro participando das trocas de calor, de modo que a equação das trocas de calor fica:

$$Q_{AF} + Q_{AQ} + Q_{cal} + Q_{LM} = 0 \quad (5.15)$$

onde Q_{AF} é a quantidade de calor da água fria, Q_{AQ} é a quantidade de calor da água quente, Q_{cal} é a quantidade de calor do calorímetro e Q_{LM} é a quantidade de calor da peça metálica.

Substituindo a equação 12.1 na equação 5.15, têm-se:

$$\begin{aligned} [mc(T_f - T_i)]_{AF} + [mc(T_f - T_i)]_{AQ} + [C(T_f - T_i)]_{cal} \\ + [mc(T_f - T_i)]_{LM} = 0 \end{aligned} \quad (5.16)$$

1. Com os dados obtidos na 2ª parte do experimento, usando calor específico da água = 1,0 cal/g°C e a capacidade térmica do calorímetro encontrada na 1ª parte do experimento, determine o calor específico da peça metálica para cada um dos experimentos realizados nesta 2ª parte;
2. Para os valores de calor específico obtidos, calcule o valor médio e a sua incerteza associada;
3. Procure valores típicos de calor específicos de metais e analise se o valor obtido está dentro do intervalo esperado;
4. Como já foi dito antes, este é um experimento muito delicado, cujos resultados nem sempre estão dentro do esperado. Discuta quais as principais fontes de erros do experimento e como elas interferem nos resultados obtidos.

CONCLUSÃO

Os experimentos do curso de Laboratório de Física A terminam por aqui, depois de cinco aulas, 8 experimentos, muitos cálculos e 8 relatórios... Mesmo com todo este trabalho, espero que você tenha se divertido com as práticas e que elas tenham ajudado a entender um pouco mais da teoria que você está estudando em Física A. Recarregue as energias porque os outros laboratórios de física ainda estão por vir, cheios de novidades!

RESUMO

Nesta aula, você realizou mais dois experimentos. O primeiro foi sobre o movimento oscilatório do pêndulo simples. Neste experimento, você pode comprovar a relação entre o período de oscilação e o comprimento do pêndulo. A partir de um experimento simples, foi possível mais uma vez estimar o valor da aceleração da gravidade. O segundo experimento foi sobre calorimetria, e foi possível determinar a capacidade térmica de um calorímetro e o calor específico de uma peça metálica.

AUTO-AVALIAÇÃO

- Eu sei qual a força que é responsável pelo movimento oscilatório do pêndulo simples?
- Eu sei determinar a relação entre comprimento e período para um pêndulo simples com ângulo de oscilação menor do que 15° ?
- Eu sei relacionar o tempo medido pelo cronômetro com o período de oscilação do pêndulo?
- Eu sei o que é um sistema adiabático?
- Eu sei o que é capacidade térmica e calor específico?
- Eu sei o que é equilíbrio térmico?

REFERÊNCIAS

1. Hugh D. Young e Roger A. Freedman: “Física I – Mecânica”; Tradução de Adir Moysés Luiz. Editora Addison Wesley, São Paulo. 10ª Edição, 2003.
2. Frederick J. Keller, W. Edward Gettys e Malcolm J. Skove: “Física”, Volume 1; Tradução de Alfredo Alves de Farias. Editora Makron Books, São Paulo. 1ª Edição, 1997.
3. Robert Resnick, David Halliday e Kenneth S. Krane: “Física 1”; Tradução de Pedro M. C. L. Pacheco, Marcelo A. Savi, Leydervan S. Xavier, Fernando R. Silva. LTC Editora, Rio de Janeiro. 5ª Edição, 2003.