



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
Prof. Dr. Heurison S. Silva

Física Experimental 2

*Mecânica 2 –
Dinâmica Rotacional, Ondas, Acústica, Termodinâmica*



Dezembro/2009

Apresentação

Esta apostila foi elaborada pelos professores Heurison S. Silva e Maria Letícia Vega, do Departamento de Física da UFPI, para servir de guia durante as aulas de Laboratório de Física 2 para os cursos de Física (Bacharelado ou Licenciatura), Engenharia (Elétrica, Mecânica, Civil, Produção etc.) da Universidade Federal do Piauí.

Ela foi elaborada com base nos textos de várias empresas especializadas na produção de equipamentos para laboratórios de ensino, como o *Vernier Software & Technology* (<http://www.vernier.com/>)[†] (Práticas 1 a 6), o *PHYWE* (<http://www.phywe-systeme.com/>)[†], e também foi reeditado o material já elaborado pelos professores Franklin Crúzio e Jeremias Araújo, ambos do DF/UFPI, utilizados nas disciplinas de Física Experimental para os cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física (<http://www.df.ufpi.br/d/index.php>)[†]. A motivação para este trabalho foi a constante reclamação por parte dos alunos a respeito do uso da língua inglesa, que confundia o entendimento dos objetivos e procedimentos durante a realização dos experimentos, gerando incontáveis erros na confecção dos relatórios pertinentes a cada prática.

Além disso, houve uma tentativa de acompanhar a metodologia de outras universidades que produzem seu material didático num só volume permitindo o acompanhamento completo das disciplinas de Física Experimental a serem ministradas durante o semestre.

A apostila é composta de 10 práticas referentes ao conteúdo de curso teórico de Física 2, envolvendo experimentos de Dinâmica rotacional, Oscilações, Hidrostática, e Calorimetria. Obviamente, o ritmo e o número de experimentos realizados no semestre dependerão do acompanhamento da turma e da proposta da disciplina e/ou do curso.

Cada roteiro é constituído de uma breve introdução, seguida pela descrição dos **Objetivos** da prática. A seção **Questões preliminares** destaca os conceitos fundamentais que serão necessários ao longo da execução da experiência. O **Procedimento experimental** descreve a maneira e os passos que devem ser seguidos a fim de se ter uma boa execução do experimento. A seção **Resultados** resume os valores e conceitos obtidos. A seção **Análise** auxilia na discussão dos resultados. Por fim, uma seção denominada **Extensões** reforça a discussão e extrapola os conceitos a serem alcançados.

[†] Acessado em 16 de Dezembro de 2009.

Física Experimental 2

Desejamos que este apostila consiga atender as expectativas dos alunos, e contribua para a melhoria da qualidade geral dos cursos da Universidade Federal do Piauí.

Estimamos também a colaboração daqueles que queiram enviar sugestões que possam contribuir para a melhoria desta obra.

Cordialmente,

Prof. Ms. Heurison Sousa Silva (heurison@ufpi.edu.br)

Profa. Dra. Maria Leticia Vega (marialeticia.vega@gmail.com)

Física Experimental 2

Conteúdo

Apresentação	2
Conteúdo	4
Modelo de relatório.....	8
PRÁTICA 1: MOMENTO DE INÉRCIA DE UMA BARRA OSCILANTE.....	11
1. Objetivos.....	11
2. Material.....	11
3. Questões preliminares.....	12
4. Procedimento experimental	12
5. Resultados.....	13
6. Análises	14
PRÁTICA 2: PERÍODO DO PÊNDULO SIMPLES.....	15
1. Objetivos.....	15
2. Material.....	16
3. Questões preliminares.....	16
4. Procedimento experimental	16
Parte I: Amplitude	17
Parte II: Massa	17
Parte III: Comprimento.....	17
5. Resultados.....	18
Parte I: Amplitude.....	18
Parte II: Massa	18
Parte III: Comprimento.....	18
6. Análises	18
7. Extensões.....	19
PRÁTICA 3: MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES	20
1. Objetivos.....	20
• Material.....	21
2. Questões preliminares.....	21
4. Procedimento experimental	21
5. Resultados.....	23
6. Análise.....	23
7. Extensões.....	24

Física Experimental 2

PRÁTICA 4: ENERGIA NO MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES	25
1. Objetivos.....	25
2. Material.....	25
3. Questões preliminares	26
4. Procedimento experimental	26
5. Resultados.....	28
6. Análise.....	28
7. Extensões.....	28
PRÁTICA 5: CORDAS VIBRANTES	29
1. Objetivos.....	30
2. Material.....	30
3. Procedimento experimental	30
4. Resultados.....	31
5. Análises	31
PRÁTICA 6: VELOCIDADE DO SOM.....	32
1. Objetivos.....	32
2. Material.....	32
3. Questões preliminares	33
4. Procedimento experimental	33
5. Resultados.....	34
6. Análise.....	34
7. Extensões.....	35
PRÁTICA 7: DENSIDADE DE SÓLIDOS E LÍQUIDOS	36
Parte I: Princípio do aerômetro/densidade dos corpos	36
1. Objetivos.....	36
2. Material.....	36
3. Procedimento experimental	36
4. Resultados.....	36
Parte II: Determinação da densidade dos líquidos através de um tubo em U.....	37
1. Objetivo	37
2. Material.....	37
3. Procedimento experimental	37
4. Resultados.....	38
Parte III: Relação entre o peso e o volume	38

Física Experimental 2

1. Objetivo	38
2. Material.....	38
3. Procedimento experimental	38
4. Resultados.....	38
Parte IV: Peso de corpos de mesmo volume	39
1. Objetivos.....	39
2. Material.....	39
3. Procedimento experimental	39
4. Resultados.....	40
PRÁTICA 8: VISCOSIDADE DE LÍQUIDOS	41
1. Objetivos.....	41
2. Material	42
3. Procedimento experimental	42
4. Resultados.....	42
Parte I: água	42
Parte II: óleo de cozinha	43
Parte III: óleo de motor SAE 20W-40.....	44
5. Análise.....	44
PRÁTICA 9: EXPERIÊNCIAS COM O CALORÍMETRO	45
Parte I: CAPACIDADE CALORÍFICA DE UM CALORÍMETRO	46
1. Objetivos.....	46
2. Material	46
3. Procedimento experimental	46
Parte II: CALOR ESPECÍFICO E CAPACIDADE CALORÍFICA DE UM SÓLIDO.....	46
1. Objetivos.....	46
2. Material	47
3. Procedimento experimental	47
Parte III: CALOR LATENTE DE FUSÃO DO GELO	47
1. Objetivos.....	47
2. Material:	47
3. Procedimento experimental	48
PRÁTICA 10: EQUIVALENTE MECÂNICO (ELÉTRICO) DO CALOR.....	49
1. Objetivos.....	50
2. Material.....	50

Física Experimental 2

3. Procedimento experimental	50
Apêndices	52
Apêndice A: Expressando valores de amostragem	53
Apêndice B: Cálculo do erro percentual	55
Apêndice C: Calibração do sensor-força (Vernier Logger <i>pro</i>)	56
Referências	57

Modelo de relatório

O que segue é um modelo de relatório que deve ser usado como guia para a confecção dos relatórios das práticas. Obviamente, variações são aceitáveis, desde que não fujam essencialmente da estrutura apresentada neste modelo.

Todo relatório deve constar das seguintes partes:

1. **Título:** o título da prática que se refere o relatório.
2. **Autores:** Deve conter o nome completo de cada integrante do grupo.
3. **Resumo:** Deve ser objetivo, coerente e curto. Quem lê o resumo tem que ser capaz de compreender o trabalho realizado e saber quais são as principais conclusões.

4. **Introdução**

Aqui deve constar todo o conteúdo teórico necessário para dar suporte às conclusões e análises de dados, além de situar o leitor no assunto que está sendo estudado. Aqui se coloca um histórico do que já foi gerado sobre o objeto em estudo, os resultados mais importantes existentes na literatura.

Você deve colocar toda a teoria do assunto que está sendo estudado, ou seja, você deve explicar a Física envolvida para analisar os seus resultados experimentais. Deduza equações e relações matemáticas que serão usadas no relatório.

5. **Objetivos**

Deve ser curto e breve; pode ser apenas um parágrafo.

6. **Procedimento experimental**

Aqui, devem se enumerados primeiramente os materiais utilizados. Faça um esquema de montagem experimental.

Explique os métodos utilizados para obtenção dos dados experimentais, critérios de avaliação de erros (este ponto é muito importante, deve ser explicado qual foi o critério experimental para atribuição de erros). Apresente o método e os cuidados usados para a obtenção dos dados. Lembre-se que seu leitor deve ser capaz de reproduzir o experimento a partir da leitura desta seção.

Na descrição do procedimento experimental, você deve *relatar como a montagem foi realizada*. Por isso, os verbos devem estar no passado!

7. Resultados e discussão

Nesta parte, devem ser apresentados os dados coletados, discutir o comportamento deles, resultados das análises (linearização, ajustes, etc.).

Não podem ser apresentadas apenas tabelas com números ou gráficos sem comentários nem erro. O resultado dos ajustes deve ser discutido e comparado com o resultado de outras fontes (constantes em livros-textos, handbooks etc.).

Mostre a qualidade e confiabilidade de seus resultados através, por exemplo, do erro percentual entre o valor experimental e o valor teórico (ver Apêndice B: Cálculo do erro percentual). Tente justificar eventuais discrepâncias que forem observadas. Aponte sugestões para melhorar a qualidade dos dados etc. Coloque as conclusões resultantes do experimento. Você deve discernir claramente quais foram essas conclusões. Não coloque como conclusões afirmações (mesmo que corretas) que não decorram diretamente da experiência realizada. Se possível, relacione essas conclusões com as de outras experiências. Verifique até que ponto os objetivos da experiência foram alcançados (teste de um modelo, aplicações etc.).

8. Conclusões

Assim como o resumo, a conclusão deve ser um texto independente do resto do relatório. Ou seja, o leitor deve ser capaz de entender, de maneira geral, quais os principais resultados obtidos com o experimento. Aqui pode estar definido se um relatório está aprovado ou não.

Na conclusão, deve ser discutido o objetivo proposto, se foi alcançado ou não. Devem ser enunciados os valores encontrados e comparados novamente com a literatura etc. Se forem utilizados diferentes métodos experimentais para achar a mesma constante, os valores achados devem ser comparados e concluir qual a metodologia experimental mais apropriada ou que proporciona menor erro. Se os dados experimentais não se comportam como esperado, **você de justificar isso**.

9. Bibliografia

Não será exigida a formatação das referências bibliográficas com as normas ABNT. Porém, a bibliografia deve ser apresentada de uma forma clara, que outros leitores potenciais

Física Experimental 2

consigam entender. Enumere os livros, apostilas, revistas científicas, sites na internet etc. consultados para a elaboração do relatório (cite-os no texto do relatório).

>Importante: Se algum texto foi extraído de algum livro, deve ser colocado na bibliografia. Não é incorreto. Porém, não mencionar as fontes caracteriza plágio.

>>>Importantíssimo: um relatório é um relato das observações feitas no laboratório. **Um relatório nunca manda fazer.**

Toda figura e tabela devem ser numeradas, ter uma legenda explicativa e ser citada no texto. Nas figuras, a legenda é colocada embaixo e nas tabelas deve usar algarismos romanos e a legenda deve ser posta acima da mesma.

Toda quantidade determinada a partir das medidas experimentais deve ser enunciadas com as respectivas unidades. **Quantidades sem unidades serão consideradas erradas!**

PRÁTICA 1: MOMENTO DE INÉRCIA DE UMA BARRA OSCILANTE[‡]

Um corpo rígido que pode girar livremente em torno de um eixo horizontal que não passa pelo seu centro de massa irá oscilar quando deslocado de sua posição de equilíbrio, conforme mostra a Figura 1. Esse sistema é chamado de *pêndulo físico*.¹

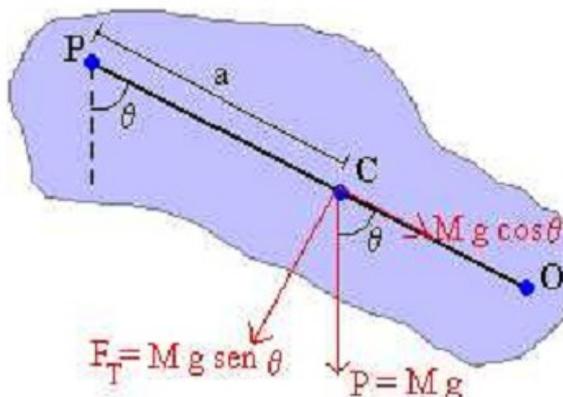


Figura 1: Pêndulo físico.

O período de oscilação do pêndulo físico é função da sua massa M , da aceleração da gravidade g , da distância do eixo de oscilação a partir do centro de massa a , e ainda do momento de inércia do pêndulo relativo àquele eixo de rotação I , conforme a equação abaixo:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{Mga}}$$

1. Objetivos

- Medir o período de oscilação de uma barra metálica homogênea.
- Determinar o momento de inércia de uma barra metálica homogênea para vários eixos de rotação.

2. Material

- | | |
|---------------------------|----------------------------------|
| • Computador | • Dois tripés |
| • Interface Universal Lab | • Uma barra de 1m de comprimento |
| • Logger pro | • Duas hastes finas de 75 cm |

[‡] As Práticas de 1 a 6 foram preparadas para o uso da instrumentação do Logger pro da Vernier Software & Technology (<http://www.vernier.com/>)

- Foto-sensor Vernier
- Três castanhas

3. Questões preliminares

1. Calcule o momento de inércia para uma barra fina e homogênea em relação a um eixo perpendicular à barra, passando pelo centro de massa.
2. Calcule o período para um pêndulo físico constituído a partir de uma barra oscilante. A expressão obtida dependerá do comprimento L da barra, do deslocamento a do eixo de oscilação em relação ao centro de massa da barra, além da aceleração da gravidade g .
3. Da expressão obtida acima, calcule T para $a \rightarrow 0$.
4. Faça o mesmo para $a \gg L$.
5. Esboce o gráfico de T contra a . *Dica:* é interessante calcular a primeira e segunda derivadas de T contra a , a fim de encontrar os pontos de máximo, de mínimo e de inflexão do gráfico.

4. Procedimento experimental



Figura 2: Aparato experimental para o pêndulo físico.

Física Experimental 2

1. Inicialmente, monta-se o sistema ilustrado na Figura 2 acoplando as duas hastes de 100 cm nos dois tripés, na vertical.
2. Colocam-se duas castanhas nas extremidades das hastes e acrescentamos as duas de 0,25m. No meio destas, coloca-se a haste de 100 cm, apoiada num determinado ponto, de modo a deixá-la oscilar
3. Monta-se outro pequeno sistema, no qual ficará o foto-sensor, e pelo qual passará, no momento da oscilação, a haste de 100 cm. Está constituído o que chamamos aqui de *pêndulo físico*.
4. Prepare o computador para o levantamento de dados abrindo o arquivo “Exp 14” pasta *Physics with Computers* a partir do *Logger pro*. Um gráfico do período contra o número de medidas será indicado.
5. Mova temporariamente a barra para fora do centro do foto-sensor. Observe a leitura na barra de *status* do *Logger pro* na parte inferior da tela, que mostra quando o foto-sensor é obstruído. Obstrua o foto-sensor com sua mão; anote que o foto-sensor está mostrado como “obstruído.” Remova sua mão, e a exposição deve mudar para “desbloqueado.” Clique  e mova sua mão no foto-sensor repetidamente. Após a primeira obstrução, *Logger pro* mostrará o intervalo de tempo entre cada bloqueio alternado como o período. Verifique isto.
6. Agora você pode executar uma medida experimental do período de seu pêndulo. Puxe a massa para o lado sobre 10° do vertical e libere-a. Clique  e meça o período para cinco ciclos completos. Clique . Clique no botão *Statistics*  para calcular o período médio. Você usará esta técnica para medir o período sob uma variedade de circunstâncias.
7. Para dar início às medições, afasta-se da posição inicial e solta. As diversas medições de período para uma série de posições fixas (eixos de rotação), medidas pela interface tem como objetivo traçar o gráfico do período em função do tempo (para pequenas oscilações), e com isso torna-se possível determinar a gravidade terrestre através de cálculos.

5. Resultados

Deslocamento a partir do centro de massa, a (cm)	Período médio, T (s)	Momento de inércia, I (kg.m ²)
50		
45		
40		
35		
30		

25		
20		
15		
10		
5		
0		

6. Análises

1. Por que o Logger *pro* está ajustado para indicar o tempo entre obstruções alternadas do foto-sensor? Por que não o tempo entre cada bloqueio?
2. Usando um papel milimetrado, trace um gráfico do período T do pêndulo contra o comprimento a . Escale cada linha central a partir da origem (0.0). O período parece depender desse parâmetro?
3. Faça o mesmo para T^2 contra a .
4. Usando um papel milimetrado, trace um gráfico do período T do pêndulo contra o momento de inércia I calculado a partir da equação (1). Escale cada linha central a partir da origem (0.0). O período parece depender desse parâmetro?
5. Faça o mesmo para T^2 contra I .
6. É possível deduzir a relação de dependência de T em função de a e I ? Em caso afirmativo, encontre a relação.
7. Dos gráficos de T contra a e de T contra I , qual é o mais próximo a uma proporção direta, isto é, qual gráfico mais se aproxima de uma linha reta que passa pela origem?
8. Usando as leis de Newton, nós poderíamos mostrar que o período T está relacionado ao momento de inércia I e à aceleração g da queda livre por

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{Mga}}, \text{ ou } T^2 = \left(\frac{4\pi}{Mga} \right) I$$

Um de seus gráficos suporta esta relação? Explique. (Sugestão: Pode o termo entre parênteses ser tratado como uma constante da proporcionalidade?)

9. Compare os valores de I calculados a partir da definição de momento de inércia para corpos contínuos.[§]
10. A partir de seu gráfico de T^2 contra I , determine um valor para o g .

[§] Preste atenção no fato de que a comparação deve ser expressa em termos do erro percentual. Veja o **Apêndice B: Cálculo do erro percentual**

PRÁTICA 2: PERÍODO DO PÊNDULO SIMPLES

Um pêndulo mantém um ritmo muito regular. É tão regular, de fato, que por muitos anos o pêndulo foi o coração de relógios utilizados em medições astronômicas no Observatório de Greenwich.

Há pelo menos três coisas que você poderia mudar em um pêndulo que pode afetar o período (o tempo para um ciclo completo):

- A amplitude do balanço do pêndulo;
- O comprimento do pêndulo, medido do centro do prumo do pêndulo ao ponto da sustentação;
- A massa do prumo do pêndulo

Para investigar o pêndulo, você precisa fazer uma experiência controlada; isto é, você precisa fazer as medidas, mudando somente uma variável de cada vez. Conduzir experiências controladas é um princípio básico de investigação científica.

Nesta experiência, você usará um foto-sensor capaz da precisão do microssegundo para medir o período de um balanço completo de um pêndulo. Conduzindo uma série de experiências controladas com o pêndulo, você pode determinar como cada uma destas quantidades afeta o período.

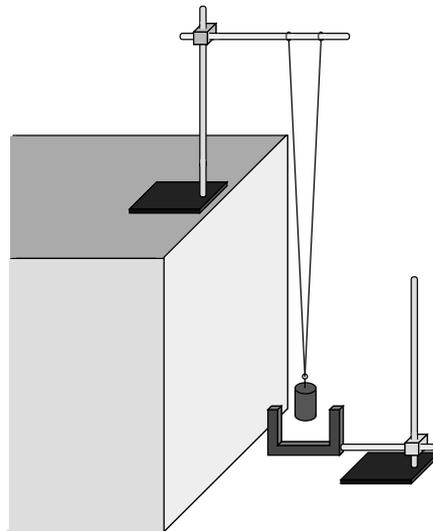


Figura 3: Pêndulo simples.

1. Objetivos

- Medir o período de um pêndulo em função da amplitude.
- Medir o período de um pêndulo em função do comprimento.

- Medir o período de um pêndulo em função da massa do prumo.

2. Material

- Computador
- Interface Universal Lab
- Logger *pro*
- Foto-sensor Vernier
- Prolongador
- Barbante
- 2 carrinhos do anel e braçadeiras do pêndulo
- Massas de 100 g, 200 g, 300 g
- Papel milimetrado
- Vara do medidor

3. Questões preliminares

1. Faça um pêndulo amarrando uma corda de 1 m a uma massa. Segure a corda com sua mão e libere o pêndulo. Observando somente com seus olhos, o período depende do comprimento da corda? O período depende da amplitude do balanço?
2. Tente com uma massa diferente na corda. O período parece depender da massa?

4. Procedimento experimental

3. Use o carrinho do anel para pendurar a massa de 200 g em duas cordas. Ate as cordas a uma haste horizontal aproximadamente 10 cm distante, segundo as indicações de figura 1. Este arranjo deixará o balanço firme ao longo somente de uma linha, e impedirá que a massa golpeie o foto-sensor. O comprimento do pêndulo está a uma distância do ponto na haste incompletamente entre as cordas ao centro da massa. O comprimento do pêndulo deve ser pelo menos 1 m.
4. Prenda o foto-sensor ao segundo carrinho do anel. Posicione-o de modo que a massa bloqueie o foto-sensor ao pendular. Conecte o foto-sensor a porta DG 1 na Interface Universal Lab.
5. Prepare o computador para o levantamento de dados abrindo o arquivo “Exp 14” pasta *Physics with Computers* a partir do Logger *pro*. Um gráfico do período contra o número da medida é indicado.

6. Mova temporariamente a massa para fora do centro do foto-sensor. Observe a leitura na barra de status do Logger *pro* na parte inferior da tela, que mostra quando o foto-sensor é obstruído. Obstrua o foto-sensor com sua mão; anote que o foto-sensor está mostrado como “obstruído.” Remova sua mão, e a exposição deve mudar para “desbloqueado.” Clique  e mova sua mão com o foto-sensor repetidamente. Após a primeira obstrução, Logger *pro* mostrará o intervalo de tempo entre cada bloqueio alternado como o período. Verifique isto.
7. Agora você pode executar uma medida experimental do período de seu pêndulo. Puxe a massa para o lado sobre 10° do vertical e libere-a. Clique  e meça o período para cinco ciclos completos. Clique . Clique no botão Statistics  para calcular o período médio. Você usará esta técnica para medir o período sob uma variedade de circunstâncias.

Parte I: Amplitude

8. Determine como o período depende da amplitude. Meça o período para cinco amplitudes diferentes. Use uma escala de amplitudes, de apenas o suficiente para desbloquear o foto-sensor, a 30° . A cada vez, meça a amplitude usando o prolongador de modo que a massa com a corda seja liberada em um ângulo conhecido. Repita a etapa 5 para cada amplitude diferente. Anote os dados em sua tabela dos dados.

Parte II: Massa

9. Use as três massas para determinar se o período é afetado mudando-se a massa. Meça o período do pêndulo construído com cada massa, atentando para manter a cada vez a distância da haste do carrinho do anel ao centro da massa, assim como a amplitude dos mesmos. Repita a etapa 5 para cada massa, usando uma amplitude aproximadamente de 15° . Anote os resultados em sua tabela dos dados.

Parte III: Comprimento

10. Use o método que você aprendeu acima para investigar o efeito de alterar o comprimento do pêndulo sobre o período. Use a massa de 200 g e uma amplitude de 15° para cada experimentação. Varie o comprimento do pêndulo de 100 cm até 10 cm. Repita a etapa 5 para cada comprimento. Anote os dados na segunda tabela dos dados abaixo. Meça o comprimento do pêndulo da haste ao meio da massa.

5. Resultados

Parte I: Amplitude

Amplitude (°)	Período médio (s)
3	
5	
10	
15	
30	

Parte II: Massa

Massa (g)	Período médio (s)
100	
200	
300	

Parte III: Comprimento

Comprimento (cm)	Período médio (s)
100	
70	
50	
30	
20	
10	

6. Análises

1. Por que é Logger *pro* ajusta o tempo entre cada outra obstrução alternada do foto-sensor? Por que não o tempo entre cada bloqueio?
2. Usando um papel milimetrado, trace um gráfico do período do pêndulo contra a amplitude em graus. Escale cada linha central a partir da origem (0.0). O período depende da amplitude? Explique.
3. Usando um papel milimetrado, trace um gráfico do período T do pêndulo contra o comprimento do pêndulo l . Escale cada linha central a partir da origem (0.0). O período parece depender do comprimento?

Física Experimental 2

4. Usando um papel milimetrado, trace o período do pêndulo contra a massa. Escale cada linha central a partir da origem (0.0). O período parece depender da massa? Você tem dados suficientes para uma resposta conclusiva?

5. Para examinar com mais cuidado como o período T depende do comprimento l do pêndulo, crie os seguintes dois gráficos adicionais dos mesmos dados: T^2 contra l ; e T contra l^2 . Dos três gráficos do período-comprimento, qual é o mais próximo a uma proporção direta, isto é, qual gráfico mais se aproxima de uma linha reta que passe pela origem?

6. Usando as leis de Newton, nós poderíamos mostrar que para alguns pêndulos, o período T está relacionado ao comprimento l e à aceleração g da queda livre por

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \text{ ou } T^2 = \left(\frac{4\pi}{g} \right) l$$

Um de seus gráficos suporta esta relação? Explique. (Sugestão: Pode o termo entre parênteses ser tratado como uma constante da proporcionalidade?)

7. Extensões

1. A partir de seu gráfico de T^2 contra l , determine um valor para o g .

2. Tente uma escala maior das amplitudes do que você se usou na Parte I. Se você não viu nenhuma mudança no período com amplitude antes, você deve agora. Consulte um livro de texto da física da faculdade para ver se há uma expressão para o período de um pêndulo em grandes amplitudes e compare-o a seus próprios dados.

3. Tente um método diferente para estudar como o período de um pêndulo depende da amplitude. Libere o pêndulo com uma amplitude razoavelmente grande ($\sim 60^\circ$). Comece o levantamento de dados e permita que ele continue por vários minutos. A amplitude do pêndulo diminuirá gradualmente e você pode ver quanto o período mudou.

PRÁTICA 3: MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES

A maioria das coisas vibra ou oscila. Uma corda vibrando, uma criança brincando num balanço, um auto-falante de uma caixa de som são exemplos de vibrações físicas. Há também vibrações elétricas e acústicas, tais como sinais de rádio e o som que você faz quando sopra uma corneta.

Um sistema simples que vibra é uma massa suspensa por uma mola. A força aplicada por uma mola ideal é proporcional ao seu estiramento ou compressão. Dado este comportamento da força, o movimento da massa para cima e para baixo é chamado *harmônico simples* e a posição é modelada como

$$y = A \cos(2\pi f t + \phi)$$

Nesta equação, y é o deslocamento vertical a partir da posição de equilíbrio, A é a amplitude do movimento, f é a frequência de oscilação, t é o tempo, e ϕ é a constante de fase. Este experimento esclarecerá cada um destes termos.

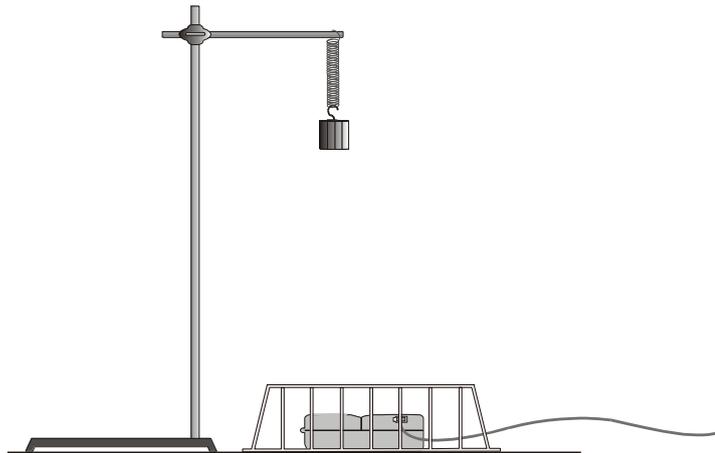


Figura 4: Sistema massa-mola em MHS.

1. Objetivos

- Medir a posição e a velocidade como função do tempo para um sistema massa-mola oscilante.
- Comparar o movimento de um sistema massa-mola observado com um modelo matemático de um movimento harmônico simples.
- Determinar a amplitude, período, e a constante de fase do movimento harmônico simples.

• **Material**

- Computador Windows
- Interface Universal Lab
- Detector de movimento Vernier
- Massas de 200 g e 300 g
- Logger *pro*
- Mola, constante elástica de aprox. 10 N/m
- Tripé
- Barras de aço
- Castanha
- Cesta para proteção

2. **Questões preliminares**

1. Prenda uma massa de 200 g à mola e mantenha a extremidade livre da mola na sua mão de modo que a massa e a mola relaxe para baixo até o repouso. Mova então a massa cerca de 10 cm e então a libere. Observe o movimento. Esboce um gráfico da posição contra o tempo para o movimento da massa.
2. Imediatamente abaixo do gráfico da posição contra o tempo, e usando a mesma escala, esboce um gráfico da velocidade contra o tempo para essa massa.

4. **Procedimento experimental**

1. Prenda a mola a uma barra horizontal conectada a um anel e segure a massa a partir da mola como mostrado na Figura 4. Esteja certo de que a mola e a massa pode se movimentar presa à barra sem se desprender.
2. Conecte o detector de movimento à PORT 2 da Interface Universal Lab.
3. Coloque o detector de movimento a uma distancia de aproximadamente 75 cm abaixo da massa. Esteja seguro de que nenhum objeto esteja próximo do caminho entre o detector e a massa, tal como a lateral da mesa. Ponha a cesta de proteção (se houver) sobre o detector de movimento a fim de protegê-lo.
4. Abra o arquivo “Exp 15” a partir da pasta *Physics with Computers* do Logger *pro*. Gráficos da distância contra o tempo e da velocidade contra o tempo serão mostrados.

Física Experimental 2

5. Realize uma medida preliminar para ter certeza de que as coisas estão montadas de maneira correta. Erga a massa uns poucos centímetros e então a libere. A massa deve oscilar ao longo da linha vertical apenas. Clique  para começar a tomada de dados.
6. Após 10 s, a coleta de dados cessará. O gráfico da posição deve mostrar uma curva senoidal clara. Se ocorrerem regiões de irregularidades, reposicione o detector de movimento e repita o procedimento.
7. Compare o gráfico da posição com aquele esboçado nas Questões Preliminares. Em que os gráficos são similares? Em que eles são diferentes? Ainda, compare o gráfico da velocidade com aquele da sua previsão.
8. Meça a posição de equilíbrio da massa de 200 g. Para fazer isso, permita que a massa repouse no equilíbrio suspensa somente pela mola. Clique  para começar a coleta de dados. Após a coleta cessar, clique no botão *Statistics*, , para determinar a distância média a parti do detector. Anote esta posição (y_0) na tabela de dados.
9. Agora, erga a massa cerca de 5 cm e libere-a. A massa deve oscilar ao longo da linha vertical somente. Clique  para coletar os dados. Examine os gráficos. O padrão que você está observando é característico do movimento harmônico simples.
10. Usando o gráfico da distância, meça o intervalo de tempo entre duas posições máximas. Isto é o *período*, T , do movimento. A frequência, f , é o recíproco do período, $f = 1/T$. Baseado em sua medida do período, calcule a frequência. Anote o período e a frequência deste movimento na tabela de dados.
11. A amplitude, A , do movimento harmônico simples é a distância máxima a partir da posição de equilíbrio. Estime valores para a amplitude a partir de seu gráfico da posição. Anote os valores na tabela de dados. Clique no botão *Examine*, , uma vez novamente para sair do modo *Examinar*.
12. Repita os passos 8 – 11 com a mesma massa de 200 g, movendo com uma amplitude maior que na primeira medida.
13. Mude a massa para 300 g e repita os passos 7 – 11. Use uma amplitude de cerca de 5 cm. Realize uma boa medida com esta massa de 300 g massa na tela. Você usará isso para responder algumas questões da Análise.

5. Resultados

Medida	Massa (g)	y_0 (cm)	A (cm)	T (s)	f (Hz)
1					
2					
3					

6. Análise

1. Observe os gráficos da última medida. Compare os gráficos da posição contra o tempo e da velocidade contra o tempo. Em que eles são semelhantes? Em que eles são diferentes?
2. Acione a função *examinar* clicando no botão *Examine*, . Mova o cursor do *mouse* para frente e para trás sobre o gráfico para ver os valores numéricos da última medida na tela. Onde está a massa quando a velocidade é zero? Onde está a massa quando a velocidade é máxima?
3. A frequência, f , parece depender da amplitude do movimento? Você tem dados suficientes para chegar a uma conclusão definitiva?
4. A frequência, f , parece depender da massa usada? Ela mudou muito em seus testes?
5. Você pode comparar seus dados experimentais com o modelo da função senoidal usando a propriedade *Curve Fitting* do *Logger pro*. Tente com seus dados da massa de 300 g. A equação modelo na introdução, que é similar àquela em muitos livros-textos, dá o deslocamento a partir do equilíbrio. Seu detector de movimento relata a distância a partir do detector. Para comparar o modelo a seus dados, adicione a distância ao modelo; isto é, use

$$y = y_0 + A \cos(2\pi f t + \phi)$$

onde y_0 representa a distância de equilíbrio. Escolha *Modify Column* ▶ *Model* a partir do menu *Data*. No campo *Equation*, edite a expressão para refletir seus valores para y_0 , A , e f . O parâmetro ϕ é chamado *constante de fase* e é usado para ajustar o valor de y relatado pelo modelo em $t = 0$ tal que ele case ou combine com os seus dados. Uma vez que a coleta de dados na comece necessariamente quando a massa está na distancia máxima a partir do detector, ϕ é necessário. Inicialmente, ponha o valor de ϕ como ele é, e clique  para ver o modelo *plotado* com os dados. Você pode controlar quais colunas são

plotadas clicando no eixo y e então selecionando o modelo e/ou dados da distância que você quer. Clique para redesenhar o gráfico.

6. O valor ótimo para ϕ estará entre 0 e 2π . Repetindo o processo de modificação da coluna no passo 5, encontre o valor de ϕ que faz o modelo se aproximar tanto quanto possível dos dados de seu experimento com a massa de 300 g. Você pode também querer ajustar y_0 , A , e f para aperfeiçoar o ajuste. Escreva a equação que melhor combina com seus dados.
7. Preveja o que deve acontecer ao gráfico do modelo se você dobrar o parâmetro A esboçando ambos o modelo atual quanto o modelo com o novo A dobrado. Agora, vá para *Modify Column* ▶ *Model* e dobre o valor do parâmetro A para comparar com a sua previsão.
8. Similarmente, preveja como o gráfico do modelo deve mudar se você dobrar a frequência f , e então verifique modificando a definição do modelo.

7. Extensões

1. Investigue como a mudança da amplitude muda o período do movimento. Certifique-se de não usar amplitudes maiores que 40 cm a partir do detector e de não deformar a mola.
2. Como um *amortecimento* mudará os dados? Prenda um cartão na parte de baixo da massa e colete dados adicionais. Você pode querer tomar dados por um tempo maior que 10 segundos. O modelo ainda funciona bem neste caso?
3. Realize experimentos adicionais para descobrir a relação entre a massa e o período deste movimento.

PRÁTICA 4: ENERGIA NO MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES

Nós podemos descrever uma massa oscilando em termos de sua posição, velocidade e aceleração com função do tempo. Nós também descrevemos o sistema a partir de uma perspectiva em termos de energia. Neste experimento, você medirá a posição e velocidade como uma função do tempo para um sistema massa-mola, e a partir desses dados, você fará gráficos da energia cinética e potencial do sistema.

A energia está presente em três formas para o sistema massa-mola. A massa m , com velocidade v , pode ter a energia cinética KE

$$KE = \frac{1}{2}mv^2.$$

A mola pode manter uma energia potencial elástica, ou $PE_{\text{elástica}}$. Nós calculamos $PE_{\text{elástica}}$ através de

$$PE_{\text{elástico}} = \frac{1}{2}ky^2.$$

onde k é a constante elástica da mola e y é a extensão ou compressão da mola medida a partir de sua posição de equilíbrio.

O sistema massa-mola também tem energia potencial gravitacional ($PE_{\text{gravitacional}} = mgy$), mas nós não precisamos incluir este termo se nós medirmos o comprimento da mola a partir da posição de equilíbrio. Nós podemos então nos concentrar na troca de energia entre as modalidades energia cinética e energia potencial elástica.

Se não há outras forças agindo sobre o sistema, então o princípio da conservação da energia nos diz que a soma $\Delta KE + \Delta PE_{\text{elástica}} = 0$, que nós podemos testar experimentalmente.

1. Objetivos

- Examinar as energias envolvidas no movimento harmônico simples.
- Testar o princípio da conservação da energia.

2. Material

- Computador Windows
- Interface Universal Lab
- Massas de 50 g até 300 g
- Tripé

- Detector de movimento Vernier
- Mola de constante elástica entre 1 e 10 N/m
- Logger *pro*
- Castanha
- Cesta de proteção
- Barras de aço

3. Questões preliminares

1. Esboce um gráfico da altura contra o tempo para a massa presa à mola à medida que ela oscila para cima e para baixo durante um ciclo. Marque no gráfico os instantes em que a massa se move mais rápido e por isso tem maior energia cinética. Marque também os instantes em que ela se move mais lentamente e tem menor energia cinética.
2. No seu esboço, marque os instantes em que a mola tem maior energia potencial elástica. Marque então os instantes em que a energia potencial elástica é menor.
3. A partir de seu gráfico da altura contra o tempo, esboce um gráfico da velocidade contra o tempo.
4. Esboce gráficos da energia cinética e da energia potencial elástica contra o tempo.

4. Procedimento experimental

1. Monte o sistema massa-mola com uma massa de 200 g tal como mostrado na Figura 5. Conecte o detector de movimento à PORT 2 da Interface Universal Lab. Posicione o detector de movimento diretamente abaixo da massa suspensa, tomando cuidado para que nenhum objeto estranho produza eco para o detector. Proteja o detector de movimento com a cesta de proteção. A massa deve estar posicionada a uma 60 cm acima do detector quando em repouso. Usando amplitudes de 10 cm ou menos, a massa manterá uma distância mínima de 40 cm a partir do detector de movimento.

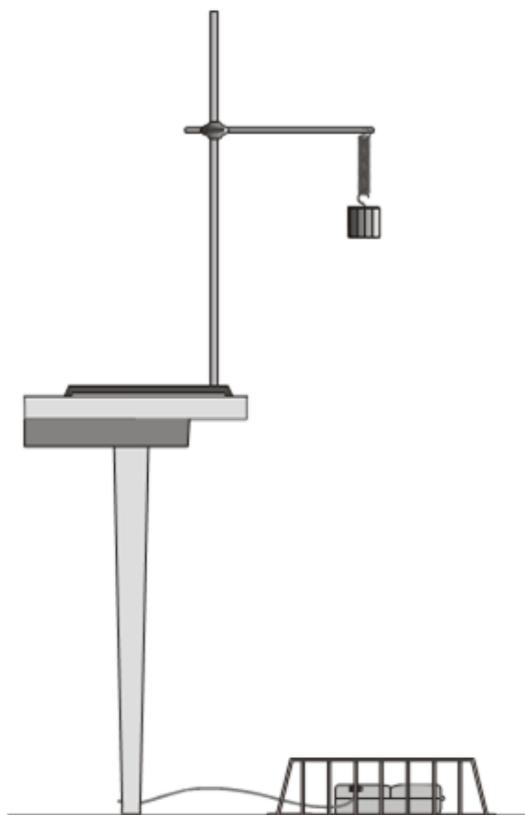


Figura 5: Sistema massa-mola em MHS.

Física Experimental 2

2. Prepare o computador para a coleta de dados abrindo o arquivo “Exp 17A” a partir da pasta *Physics with Computers* do *Logger pro*. Dois gráficos devem aparecer na tela. O gráfico superior é da distância contra o tempo, com o eixo vertical escalado de 0 a +2 m. O gráfico inferior é da velocidade pelo tempo com eixo vertical escalado de -2 a +2 m/s. Os eixos horizontais de ambos os gráficos estão escalados de 0 a 5 s. A taxa de coleta de dados é de 50 aquisições/s.
3. Comece movendo a massa para cima e para baixo por uns 10 cm e então a libere. Tenha cuidado para garantir que a massa não está se movendo lateralmente. Clique  para gravar dados da posição e velocidade. Imprima seus gráficos, se possível, e compare com suas previsões. Comente quaisquer diferenças.
4. Para calcular a energia potencial da mola, é necessário medir a constante elástica da mola k . A lei de Hooke diz que a força da mola é proporcional ao seu estiramento a partir do equilíbrio, ou $F = -kx$. Você pode aplicar na mola uma força conhecida para que ela seja equilibrada em magnitude à força exercida pela mola, por exemplo, variando a massa suspensa pela mola. O detector de movimento pode ser usado para medir a posição de equilíbrio. Prepare o computador para a coleta de dados abrindo o arquivo “Exp 17B” a partir da pasta *Physics with Computers* do *Logger pro*. *Logger pro* está agora ajustado para *plotar* o peso aplicado contra a distância.
5. Clique  para iniciar a coleta de dados. Suspensa uma massa de 50 g pela mola e permita que ela repouse sem movimento. Clique  e entre o valor **0.49**, o peso da massa em newtons (N). Pressione ENTER para completar a entrada. Agora, prenda 100, 150, 200, 250, e 300 g na mola, anotando a posição e pondo o valor dos pesos em newtons. Quando você finalizar isto, clique  pra finalizar a coleta de dados.
6. Clique no botão *Regression Line*, , para ajustar uma linha reta a seus dados. A magnitude da inclinação é a constante k da mola em N/m. Anote o valor na tabela de dados abaixo.
7. Remova a massa de 300 g e recoloque a massa de 200 g para os experimentos seguintes.
8. Prepare o computador para a coleta de dados abrindo o arquivo “Exp 17C” a partir da pasta *Physics with Computers* do *Logger pro*. Além do gráfico d posição e da velocidade, três novas colunas aparecerão neste experimento (energia cinética, energia potencial elástica, e a soma destas duas energias). Você pode precisar modificar os cálculos para as energias. Se necessários, escolha *Modify Column* ▶ *kinetic energy* a partir do menu *Data* e substitua a massa pendurada em kilogramas para o valor 0,20 na definição, então clique .

Física Experimental 2

Semelhantemente, mude a constante elástica da mola que você determinou acima para o valor 5,0 na coluna energia potencial.

9. Com a massa presa à mola e em repouso, clique para zerar o detector de movimento. De agora em diante, todas as distancias serão medidas com relação a esta posição. Quando a massa se mover próximo do detector, a distância registrada será negativa.

10. Comece com a massa oscilando na direção vertical somente, com uma amplitude de cerca de 10 cm. Clique para iniciar a coleta de dados da posição, velocidade, e energia.

5. Resultados

Constante elástica da mola	N/m
----------------------------	-----

6. Análise

1. Clique no eixo y do gráfico da velocidade e escolha outra coluna para fazer o gráfico. Desmarque a coluna da velocidade de selecione as colunas da energia cinética e potencial. Clique para fazer um novo gráfico.

2. Compare seus dois gráficos ao esboço que você fez anteriormente. Esteja certo de que você está comparando um único ciclo que começa no mesmo ponto do movimento como em suas previsões. Comente quaisquer diferenças.

3. Se a energia mecânica é conservada neste sistema, como a soma da energia cinética e potencial deve variar com o tempo? Esboce suas previsões desta soma como uma função do tempo.

4. Verifique suas previsões. Clique no eixo y do gráfico da energia para escolher outra coluna para formar o gráfico. Selecione a coluna da energia total além das outras colunas de energia. Clique para fazer um novo gráfico.

5. A partir da forma do gráfico da energia total contra o tempo, o que você pode concluir a respeito da conservação da energia mecânica total do sistema massa-mola?

7. Extensões

1. Se uma força não-conservativa tal como a resistência do ar torna-se importante, o gráfico da energia total contra o tempo mudará. Preveja como o gráfico deve parecer.

PRÁTICA 5: CORDAS VIBRANTES

Ondas estacionárias são ondas resultantes da superposição de duas ondas de mesma frequência, mesma amplitude, mesmo comprimento de onda, mesma direção e sentidos opostos. Pode-se obter uma onda estacionária através de uma corda fixa numa das extremidades. Com uma fonte faz-se a outra extremidade vibrar com movimentos verticais periódicos, produzindo-se perturbações regulares que se propagam pela corda.

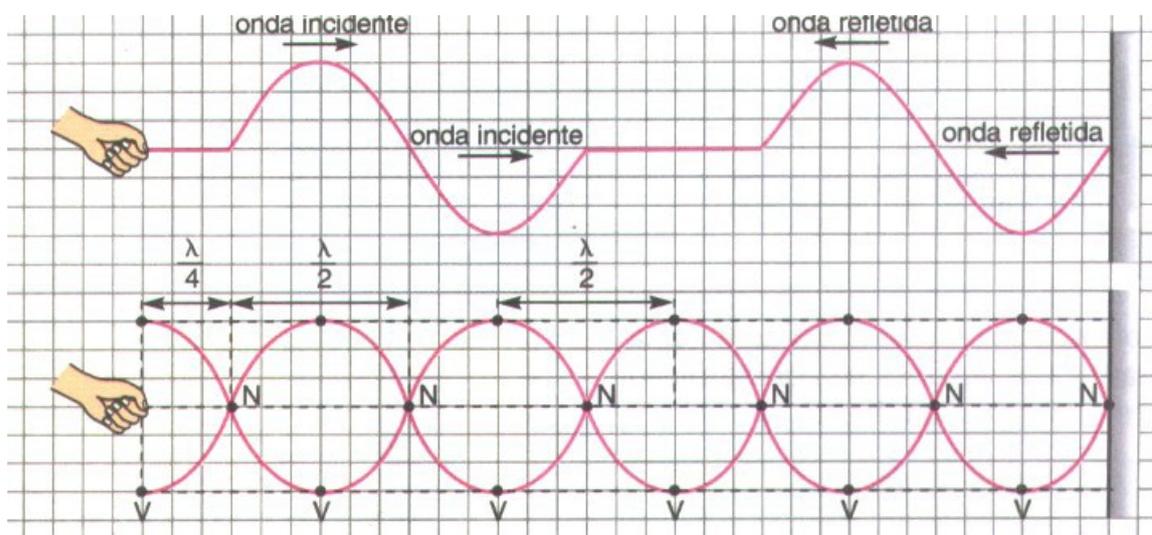


Figura 6: Ondas estacionárias numa corda. (N = nós; V= ventres)

Ao atingirem a extremidade fixa, elas se refletem, retornando com sentido de deslocamento contrário ao anterior. Dessa forma, as perturbações se superpõem às outras que estão chegando à parede, originando o fenômeno das ondas estacionárias. Uma onda estacionária se caracteriza pela amplitude variável de ponto para ponto, isto é, há pontos da corda que não se movimentam (amplitude nula), chamados nós (ou nodos), e pontos que vibram com amplitude máxima, chamados ventres. É evidente que, entre nós, os pontos da corda vibram com a mesma frequência, mas com amplitudes diferentes.

A velocidade da onda pode ser calculada através da expressão:

$$v = \frac{T}{\mu}$$

Na equação acima, T é a tração na extremidade da corda, e μ é a densidade linear da corda.

Além disso, o comprimento de onda λ e a frequência ν de vibração da onda podem ser determinados por

1. Objetivos

- Medir o comprimento de onda de uma onda estacionária que se propaga numa corda como função da tensão na corda.
- Medir a velocidade da onda estacionária que se propaga numa corda como função da tensão na corda.
- Determinar a densidade linear da corda vibrante.

2. Material

- Roda excêntrica
- Estroboscópio digital
- Sensor força
- Interface Universal Lab
- PC Windows
- Logger *pro*
- Fio de nylon (4.0m)
- Suporte de mesa
- Massas de 50, 100, 150, 200, 250 e 300 gramas
- Roldana
- Duplo nó
- Régua
- Interface Universal Lab

3. Procedimento experimental

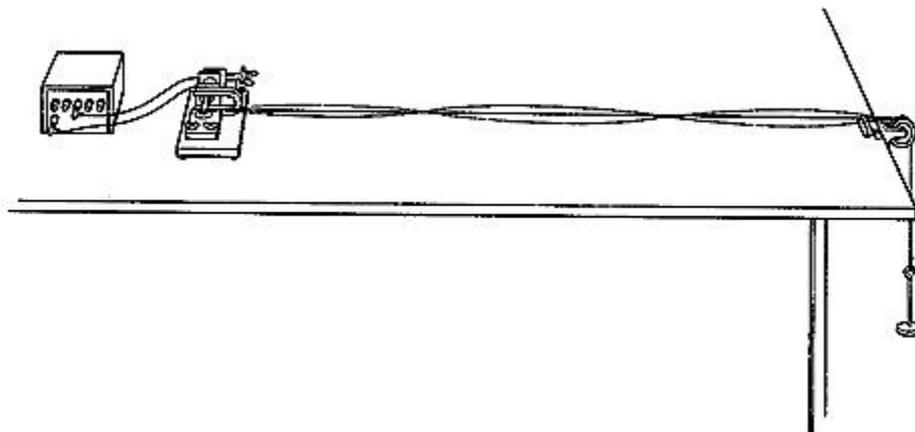


Figura 7: Aparato experimental para ondas estacionárias.

Física Experimental 2

1. Inicialmente, montamos o aparato ilustrado na Figura 7, onde vemos a roda excêntrica que produz a onda na corda de nylon, o dispositivo de roldana preso à mesa com o suporte adequado. E por fim, vemos os modos normais de vibração na corda.
2. No suporte pendurado, colocamos massas de 50 g e iniciamos a geração das ondas estacionárias.
3. Com a utilização do estroboscópio, medimos as frequências naturais de vibração da corda ajustando a frequência do estrobo para que se possam observar as ondas estacionárias.
4. Medimos o comprimento de onda λ .
5. Acrescentamos 50 g ao suporte e repetimos a medida até a quantidade de 300 g.
6. Anotamos seus valores na tabela abaixo.

4. Resultados

Massa no suporte (g)	Tração, T (N)	Comprimento de onda, λ (m)	Frequência, ν (Hz)
50			
100			
150			
200			
250			
300			

5. Análises

7. Após completar a tabela de resultados, construa os gráficos de ν contra $1/\lambda$ para as medidas realizadas (faça o ajuste de retas para obtenção das velocidades de fase).
8. Construa o gráfico de ν^2 contra T para as medidas acima. Faça o ajuste de retas e obtenha o valor de μ da corda.
9. Relate o que você pôde observar. Dê detalhes que sirvam para esclarecer: onda transversal, onda longitudinal, frequência, amplitude.

PRÁTICA 6: VELOCIDADE DO SOM

Comparado à maioria dos objetos, o som viaja muito mais rápido. Ele é tão rápido que a medida da velocidade do som pode ser usada com um desafio técnico. Um método que você pode usar é o tempo do eco. Por exemplo, se você estiver num campo aberto com um grande edifício a aproximadamente 250 m de distância, você disparar um cronômetro quando um grito for dado e pará-lo quando você ouvir o eco. Você pode então calcular a velocidade do som.

Para usar a mesma técnica para curtas distâncias, você precisa de um sistema de contagem de tempo rápida, como um computador. Neste experimento você usará esta técnica com um microfone conectado ao computador para determinar a velocidade do som à temperatura ambiente, como mostra a Figura 8. O microfone será colocado próximo à abertura de um tubo semi-aberto. Quando você faz um som estalando os dedos próximos da extremidade aberta, o computador iniciará a coleta de dados. Após o som refletir na direção oposta dentro do tubo, um gráfico aparecerá mostrando o som inicial e o eco. Você então estará hábil pra determinar ao tempo de ida e volta e calcular a velocidade do som.

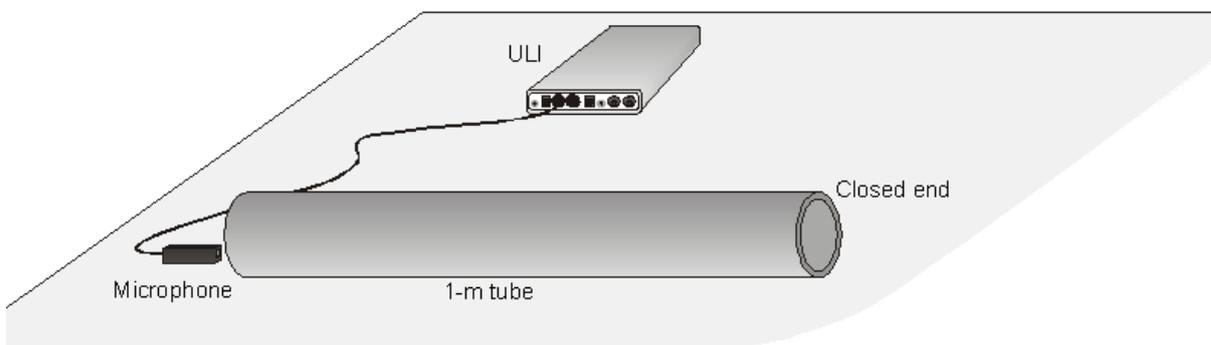


Figura 8: Medindo a velocidade do som.

1. Objetivos

- Medir o tempo que o som leva para viajar dentro de um tubo acústico.
- Determinar a velocidade do som.
- Comparar a velocidade do som no ar com o valor tabelado.

2. Material

- | | |
|---------------------------|---|
| • Computador Windows | • Tubo, 1 a 2 m de comprimento |
| • Interface Universal Lab | • Livro ou obstáculo para cobrir o tubo |
| • Logger Pro | • Termômetro |

- Microfone Vernier ULI
- Fita métrica

3. Questões preliminares

1. Uma maneira comum de medir distâncias à noite é iniciar contando, a cada segundo, o *flash* que você vê. Para-se a contagem quando você vir o centésimo *flash* e divida por cinco para dar a distância em milhas.^{1,2} Use esta informação para estimar a velocidade do som em m/s.

4. Procedimento experimental

1. Conecte o microfone Vernier Microfone ao DIN 1 da Interface Universal Lab.
2. Prepare o computador para a coleta de dados abrindo o arquivo “Exp 24” a partir da pasta *Physics with Computers* do *Logger Pro*. Um gráfico de nível de som pelo tempo será mostrado. O tempo de coleta de dados será de 0,030 s.
3. Feche uma extremidade do tubo. Isto pode ser feito colocando um livro na extremidade a ser vedada. Meça e anote o comprimento do tubo.
4. Use um termômetro para medir a temperatura do ar da sala de aula ou laboratório e anote o valor na tabela de dados na seção Resultados.
5. Coloque o microfone o mais próximo possível da extremidade aberta do tubo, como mostra a Figura 9. Posicione de maneira que ele possa detectar o som inicial e o eco que volta após percorrer toda a extensão do tubo.

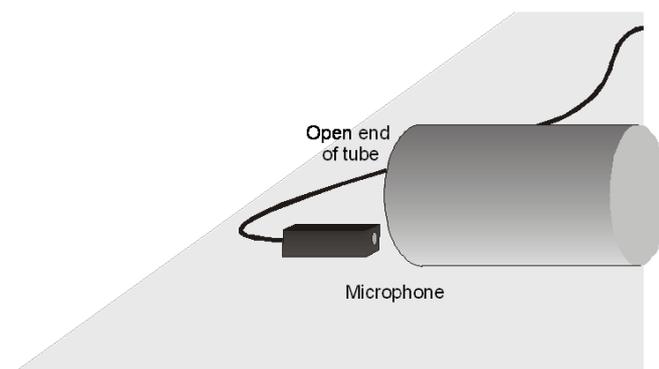


Figura 9: Detalhe da montagem.

6. Clique  para iniciar a coleta de dados. Estale seus dedos próximos da abertura do tubo. Você pode ou estalar seus dedos ou bater dois pedaços de madeira um no outro. Este som irá disparar a interface, iniciando assim a coleta de dados.
7. Se você teve sucesso, o gráfico parecerá como o da Figura 10 abaixo. Repita de necessário. O segundo conjunto de vibrações com amplitudes consideráveis indicam eco.

Física Experimental 2

Clique no botão *Examine*,  Mova o *mouse* e determine o intervalo de tempo entre a partida da primeira vibração e partida da vibração do eco. Anote este intervalo de tempo na tabela de resultados.

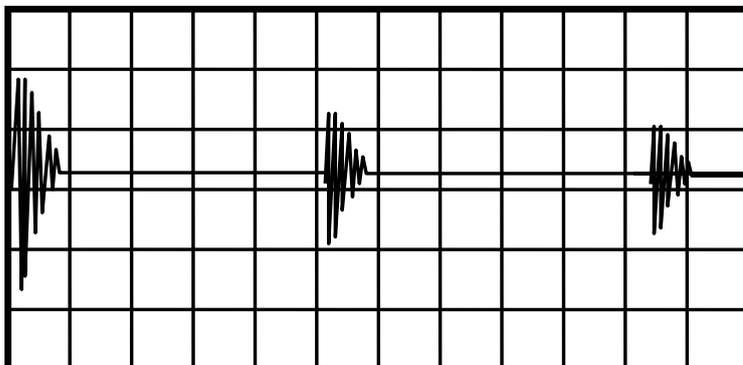


Figura 10: Forma do espectro a ser observado.

8. Repita a medida para um total de 5 tentativas e determine o intervalo de tempo médio.

5. Resultados

Comprimento do tubo	m
Temperatura da sala	°C

Tentativa	Tempo total da viagem (s)
1	
2	
3	
4	
5	
Média	
Velocidade	m/s

6. Análise

1. Calcule a velocidade do som. Lembre-se que seu intervalo de tempo representa o tempo que o som leva para ir até o final do tubo e voltar.
2. A velocidade do som aceita à pressão atmosférica e 0 °C é 331,5 m/s. A velocidade do som aumenta 0,607 m/s para cada °C. Calcule a velocidade do som à temperatura de sua sala de aula e compare sua medida com o valor aceito.

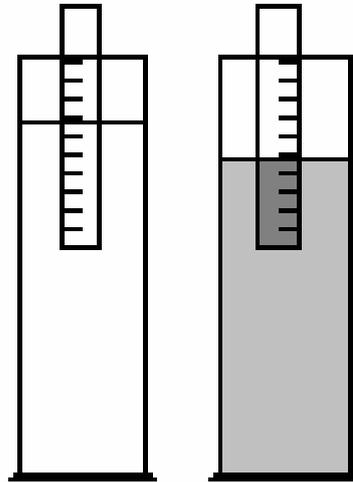
7. Extensões

1. Repita o experimento, mas colete os dados com o tubo aberto na extremidade. Como se compara as ondas refletidas num tubo de extremidade aberta com aquelas de um tubo fechado? Explique quaisquer diferenças. Calcule a velocidade do som e compare com os resultados obtidos com um tubo de extremidade fechada.
2. Este experimento pode ser realizado sem o tubo. Você precisa de uma área com uma superfície inclinada. Múltiplas reflexões podem ocorrer como resultado da interferência do chão, janelas, obstáculos diversos etc., aumentando a complexidade dos dados obtidos.

PRÁTICA 7: DENSIDADE DE SÓLIDOS E LÍQUIDOS

Parte I: Princípio do aerômetro/densidade dos corpos

1. Objetivos



- Determinar a densidade de sólidos e líquidos através de seus pesos e volumes;

Figura 11: Montagem para a determinação da densidade de líquidos.

2. Material

- Bolinhas de vidro ou areia
- 1 tubo de ensaio
- 2 provetas graduadas
- Água
- Óleo
- Papel
- Balança

3. Procedimento experimental

1. Pegue uma proveta e encha-a de água.
2. Em seguida, pegue um tubo de ensaio e coloque dentro da proveta, colocando várias bolinhas de vidro até o tubo de ensaio ficar em equilíbrio dentro da proveta.
3. Depois, retire a proveta *com* as bolinhas de vidro (aerômetro) e pese-as na balança.
4. Repita esses mesmos procedimentos utilizando uma proveta com óleo.

4. Resultados

$$m_a = \text{_____ g}; V_a = \text{_____ cm}^3; d_a = \text{_____ g/cm}^3; V_o = \text{_____ cm}^3; d_o = \text{_____ g/cm}^3$$

Observamos no experimento que o valor de massa necessário para equilibrar o tubo de ensaio é maior na proveta com água do que na proveta com óleo. Isso ocorre devido à densidade da água ser maior do que a densidade do óleo.

A densidade do líquido é tão menor quanto mais se submerge no aerômetro.

Os aerômetros são instrumentos adequados para medir a densidade da concentração dos líquidos.

Parte II: Determinação da densidade dos líquidos através de um tubo em U

1. Objetivo

- Determinar densidade de líquidos que não se misturam.

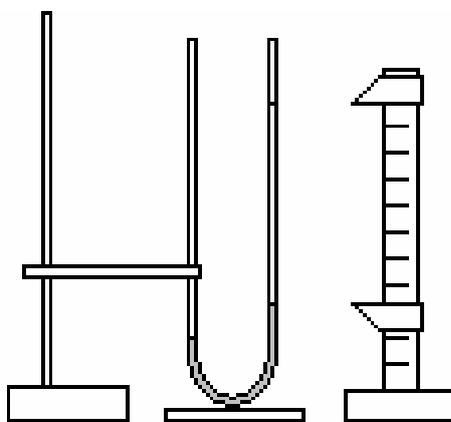


Figura 12: Tubo em U para a determinação da densidade de líquidos

2. Material

- 1 vareta de suporte de 75 cm
- 1 bomba com agulha
- 1 pinça pequena
- 1 régua graduada
- 1 duplo-nó
- 1 tubo em U
- 1 tripé
- 2 líquidos que não se misturam

3. Procedimento experimental

1. Pega-se uma garra de mesa e anexa-se a um prendedor de bomba.
2. Coloca-se o tubo em U no prendedor, utilizando-se uma bomba com agulha.
3. Coloca-se água dentro do tubo em U e, em seguida coloca-se óleo.
4. Mede-se a altura dos dois líquidos e utilizamos a fórmula: _____ para calcularmos a densidade.

4. Resultados

$h_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ cm; $h_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ cm; $d_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ g/cm³ já que $d_1 = 1$ g/cm³ para a água;

Podemos observar que o resultado encontrado condiz com o que foi analisado visualmente, ou seja, vimos que a água ficou na parte mais baixa do tubo em U, o que prova que a sua densidade é maior que a do óleo.

Os tubos em U são adequados para a medida comparativa das densidades de líquidos não miscíveis. Suas densidades estão em razão inversa das alturas.

Parte III: Relação entre o peso e o volume

1. Objetivo

- Comparar pesos de corpos de igual volume.

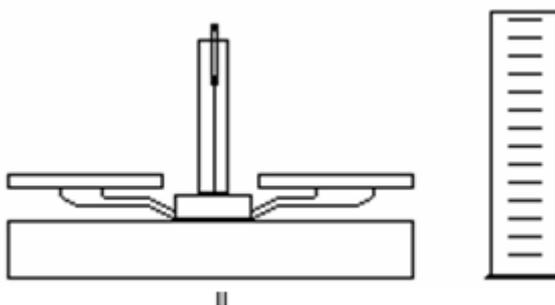


Figura 13: Balança de dois pratos.

2. Material

- 1 proveta graduada
- 1 jogo de pesos
- Água
- 1 balança

3. Procedimento experimental

Enche-se a proveta graduada com diferentes quantidades de água, equilibrando-se sempre o peso para cada quantidade de água em questão; e dessa forma saber o peso correspondente ao volume na proveta.

4. Resultados

Observamos que ao se medir o volume de um corpo e sua massa, e dividindo a massa pelo volume do mesmo, o resultado é constante. Realize o experimento com água e preencha a tabela com os resultados obtidos:

Física Experimental 2

Volume (cm ³)	Massa (g)	m/V

Em corpos de igual matéria, o coeficiente do peso pelo volume é uma constante que se denomina “peso específico” do corpo, sendo uma característica deste corpo. O peso específico da água, a 4°C, é 1g/cm³.

Parte IV: Peso de corpos de mesmo volume

1. Objetivos

- Determinar a densidade de sólidos de volume conhecidos.

2. Material

- 1 dinamômetro de 10 g
- 1 vareta de suporte de 50 cm
- 1 prato pequeno de balança
- 1 nó com gancho
- 1 tripé
- 1 jogo de 8 cubos de 1 cm

3. Procedimento experimental

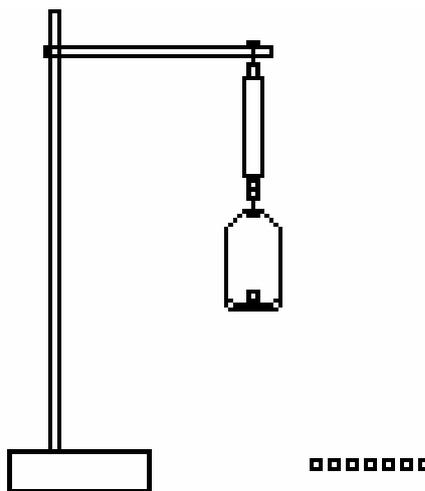


Figura 14: Balança de um prato.

Física Experimental 2

1. Colocam-se os diferentes cubos no prato da balança. Uma vez que seu volume é um centímetro cúbico, o peso acusado pelo dinamômetro, a menos do peso do pratinho, proporciona o peso específico, diretamente.

4. Resultados

	Massa (g)	Densidade (g/cm ³)
Alumínio		
Zinco		
Ferro		
Cobre		
Chumbo		
Plástico		
Madeira		

O peso específico determina o número de vezes que um corpo é mais pesado que um corpo de referência de igual volume (a água, a 4°C de temperatura, no lugar da referência).

PRÁTICA 8: VISCOSIDADE DE LÍQUIDOS

Veja-se agora, o que acontece quando um corpo esférico cai no interior de um fluido. As forças que lhe estão aplicadas são: o seu peso, P , a impulsão, I , e a resistência do fluido ao movimento, R . Facilmente se verifica que, enquanto a primeira e a segunda são constantes ao longo do movimento, a terceira vai aumentando com a velocidade, de modo que existe um ponto no qual as três se anulam. A partir daí o movimento da esfera passa a ser uniforme, sendo a sua velocidade designada por velocidade limite. Para calcular essa velocidade considere-se, então, atendendo à direção das forças, que:

$$P = I + R.$$

Ou seja, se ρ_c for a densidade absoluta da esfera e ρ_f , a densidade absoluta do fluido, pode-se, portanto:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_c g = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_f g + 6\pi\eta r v \left(1 + 2.4 \frac{r}{R}\right)$$

Na equação acima, R é o diâmetro do tubo, E , portanto:

$$v = \frac{2r^2 R g (\rho_c - \rho_f)}{9\eta (R + 2.4r)}$$

É, pois, nesta expressão que se fundamenta a determinação experimental da viscosidade, através da medição da velocidade limite. Com efeito, se se medir o tempo de queda, t , em regime de Stokes, de um corpo esférico, no interior de um tubo, entre dois pontos distanciados de L , a viscosidade virá dada por:

$$\eta = \frac{2r^2 R g t (\rho_c - \rho_f)}{9L (R + 2.4r)}$$

É ainda de referir que, para o caso particular da experiência sugerida, uma vez que o tubo não é perfeitamente vertical, existe uma correção adicional que deveria ter em atenção, caso se pretendesse calcular valores absolutos de viscosidade.

1. Objetivos

- Medir a viscosidade dos seguintes líquidos: água (Newtoniano), óleo de cozinha, óleo SAE 20W-40.

2. Material

- Tubo de vidro de aproximadamente 50 cm
- Esfera de plástico
- Cronômetro
- Régua e/ou paquímetro
- Água
- Óleo de cozinha
- Óleo de motor SAE 20W-40

3. Procedimento experimental

1. Inicialmente, meça o diâmetro e a massa da esfera a ser usada no experimento. Anote o resultado na sua tabela de resultados.
2. Encha o tubo do viscosímetro inicialmente com água, segundo a Figura 15.
3. Marque um comprimento L de 20 cm no tubo de vidro ao longo de seu comprimento. A linha inicial deve estar um pouco abaixo da superfície livre do líquido. Isso deve ser feito para que a queda da esfera alcance o regime estacionário.
4. Libere a esfera em queda e do repouso a partir do menisco da superfície do líquido, medindo-se, com um cronômetro, o tempo de queda desde que a parte inferior da esfera passa pela primeira linha superior até que ela passa pela linha inferior. Estas duas linhas estão separadas de 20 cm.
5. Repita o procedimento anterior pelo menos 10 vezes, anotando os tempos na sua tabela de dados.
6. Esvazie o tubo e retire as esferas do fundo.
7. Repita os passos 4 – 5 para os outros líquidos. Anote os resultados na tabela de dados.



Figura 15: Aparato para a medida da viscosidade de líquidos.

4. Resultados

Parte I: água

Tabela de dados

Física Experimental 2

Medida	Massa da esfera (g)	Diâmetro da esfera, $D = 2r$ (cm)	Tempo, t (s)	Velocidade (m/s)	Viscosidade, η (Pa·s)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Parte II: óleo de cozinha

Tabela de dados

Medida	Massa da esfera (g)	Diâmetro da esfera, $D = 2r$ (cm)	Tempo, t (s)	Velocidade (m/s)	Viscosidade, η (Pa·s)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Parte III: óleo de motor SAE 20W-40

Tabela de dados

Medida	Massa da esfera (g)	Diâmetro da esfera, $D = 2r$ (cm)	Tempo, t (s)	Velocidade (m/s)	Viscosidade, η (Pa·s)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

5. Análise

8. A partir dos dados obtidos, calcule a viscosidade dos três líquidos analisados.
9. Calcule o a média dos valores obtidos para cada líquido e expresse de maneira adequada em termos do valor médio e do desvio médio.**
10. Compare seu resultado final ao valor tabelado que aparecem nos livros-textos de Física Básica, explicando a razão da discrepância entre os valores, se houver.††

** Veja o Apêndice A: Expressando valores de amostragem.

†† Veja o Apêndice B: Cálculo do erro percentual.

PRÁTICA 9: EXPERIÊNCIAS COM O CALORÍMETRO

Calor é energia transferida unicamente por diferença de temperatura. Nas trocas de calor pelo método das misturas, uma parte transfere energia para a outra havendo, em princípio, conservação da energia. Essas misturas são feitas no interior de um **calorímetro** que é um dispositivo destinado a reduzir as perdas de energia para o meio externo e o recipiente. Contudo, mesmo um calorímetro constituído de material termicamente isolante apresenta perdas de energia.

Um calorímetro que absorve calor (Q) e experimenta um aumento de temperatura (ΔT) possui uma capacidade térmica (C) dada por:

—

O calor é, então, uma forma de energia. Por esse motivo, no sistema internacional (SI), a unidade de calor e a de energia é a mesma, ou seja, o **Joule (J)**.

Calor Sensível – É aquele que provoca variação na temperatura de um corpo.

$$\Delta Q = c.m.\Delta T$$

Capacidade calorífica (C) – é dada pela razão entre a quantidade de calor fornecida ou retirada do corpo e a correspondente variação de temperatura. Sua unidade é a **cal/°C**.

—

Calor Específico (c) – é a quantidade de calor necessária para fazer a temperatura de 1g da substância variar 1°C. Sua unidade é **cal/g °C**.

Calor Latente (L) de mudança de estado – é a quantidade de calor necessária para que 1g de certa substância mude de estado. Sua unidade é **(cal/g)**.

Vamos considerar um sistema termicamente isolado, onde não há troca de calor com o meio ambiente. Se N corpos, com temperaturas diferentes, forem colocados no interior desse sistema isolado, haverá uma troca de calor entre eles de tal forma que a soma algébrica das quantidades de calor, ΔQ_i , trocadas por eles, até o estabelecimento do equilíbrio térmico, será nula, ou seja:

Parte I: CAPACIDADE CALORÍFICA DE UM CALORÍMETRO

1. Objetivos

- Determinar a capacidade térmica de um calorímetro.
- Compreender a influência térmica dos meios.

2. Material

- Um calorímetro
- Água e gelo
- Termômetro
- Placa de aquecimento

3. Procedimento experimental

1. Coloque no interior do calorímetro aproximadamente 60g de água (m_1), inicialmente a uma temperatura cerca de 10°C abaixo da temperatura ambiente.

$$m_1 = \underline{\hspace{2cm}}$$

2. Espere este sistema entrar em equilíbrio térmico e meça a temperatura no interior do calorímetro.

$$T_1 = \underline{\hspace{2cm}}$$

3. Coloque agora no interior do calorímetro mais cerca de 60g de água (m_2), a uma temperatura da ordem de 20°C acima da temperatura ambiente.

$$m_2 = \underline{\hspace{2cm}} \quad T_2 = \underline{\hspace{2cm}}$$

4. Espere o sistema entrar em equilíbrio e meça sua temperatura final.

$$T_f = \underline{\hspace{2cm}}$$

5. Determine a capacidade térmica do calorímetro.

$$C_{\text{calorímetro}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Parte II: CALOR ESPECÍFICO E CAPACIDADE CALORÍFICA DE UM SÓLIDO

1. Objetivos

- Distinguir calor específico de capacidade calorífica.
- Determinar o calor específico e a capacidade calorífica de um metal.

2. Material

- Calorímetro
- Água e gelo
- Placa de aquecimento
- Termômetro
- Um pedaço pequeno de metal

3. Procedimento experimental

1. Coloque no interior do calorímetro aproximadamente 60g de água (m_1), inicialmente a uma temperatura cerca de 5°C abaixo da temperatura ambiente.

$$m_1 = \underline{\hspace{2cm}}$$

2. Espere este sistema entrar em equilíbrio térmico e meça a temperatura no interior do calorímetro.

$$T_1 = \underline{\hspace{2cm}}$$

3. Coloque agora no interior do calorímetro uma peça de metal com massa (m_2) e temperatura (T_2), igual à temperatura de ebulição da água.

$$m_2 = \underline{\hspace{2cm}} \quad T_2 = \underline{\hspace{2cm}}$$

4. Espere o sistema entrar em equilíbrio e meça sua temperatura final.

$$T_f = \underline{\hspace{2cm}}$$

5. Determine o calor específico do metal e compare com o valor tabelado. Houve alguma diferença? Justifique.

$$c_{\text{metal}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Parte III: CALOR LATENTE DE FUSÃO DO GELO

1. Objetivos

- Determinar o calor latente de fusão do gelo.

2. Material:

- Calorímetro
- Proveta de 500 ml
- Termômetro
- Cubeta plana ou prato
- Papel de filtro

- Gelo em pedaços
- Água

3. Procedimento experimental

1. Verifique se os blocos de gelo estão a 0°C . Para isso, coloque em um recipiente de papel de filtro dobrado e coloque sobre ele os blocos de gelo picado. Se o papel ficar bem molhado, é sinal de fusão, o que assegura a temperatura de 0°C .

2. Prepare o calorímetro com 150 ml ($\rightarrow m_1$) de água, ligeiramente morna (40 a 45°C). Observe e anote a temperatura do calorímetro em equilíbrio.

$$T_1 = \underline{\hspace{2cm}}$$

3. Coloque no calorímetro alguns pedaços de gelo fundido, aproximadamente 150g. Feche o calorímetro, deixando dentro dele o agitador e o termômetro.

4. Agite a água suavemente, até que todo o gelo se tenha fundido.

5. Observe e anote a temperatura final de equilíbrio.

$$T_f = \underline{\hspace{2cm}}$$

6. Meça o volume total de água do calorímetro, para se obter a massa do gelo fundido.

$$m_2 = \underline{\hspace{2cm}}$$

7. Finalmente, calcule o calor latente de fusão.

$$L_f = \underline{\hspace{2cm}}$$

8. Repita o experimento mais duas vezes e calcule o valor médio de L_f .

Tentativa 1	Tentativa 2	Tentativa 3	Valor médio de L_f
9.	10.	11.	12.

13. Sabendo que $L_{f,\text{água}} = 80$ cal, determine o erro percentual de sua medida, se houver. ^{††}

^{††} Confira o Apêndice B: Cálculo do erro percentual.

PRÁTICA 1: EQUIVALENTE MECÂNICO (ELÉTRICO) DO CALOR

Conectando os terminais do resistor existente no interior do calorímetro, de valor “R”, aos bornes da fonte de alimentação de uma fonte de corrente, o submetemos à ação de uma d.d.p. constante “V”, durante um intervalo de tempo de “t” segundos. Nestas condições, a energia Q dissipada pelo resistor, devido ao efeito Joule, será:

—, expreso em joules.

Com base em nossos conhecimentos em calorimetria, sabemos que a energia absorvida pelo sistema (calorímetro mais água) é dada pela expressão:

, expreso em calorias.

Na equação, m_a é a massa de água destilada (em gramas), contida no calorímetro; m_e é o equivalente em água do calorímetro (massa de água que, recebendo a mesma quantidade de calor recebida pelo corpo, apresenta variações de temperatura igual a do mesmo); T_f é a temperatura final de equilíbrio térmico (expreso em °C); e T_i é a temperatura inicial do sistema (expreso em °C).

Observe que, para determinar a energia absorvida pelo sistema (Q_a), se faz necessário conhecer (m_e), equivalente em água do calorímetro. Lembramos que o equivalente em água do calorímetro é, numericamente, igual á sua capacidade térmica (E) expressa em gramas, o que já foi calculado em experiências anteriores.

Determinadas as energias dissipadas pelo resistor e absorvida pelo sistema, em diferentes unidades, devemos introduzir um operador que permita manter a igualdade da expressão $Q \leftrightarrow Q_a$. $Q = E_M \cdot Q_a$. Logo,

$$E_M = \frac{Q}{Q_a}$$

Portanto, E_M , nosso objetivo, permitirá a troca da unidade usual em calorimetria (a caloria), pela unidade de energia elétrica (ou mecânica: o Joule), ou vice-versa.

$$E_M = \frac{V^2 \cdot t}{R \cdot c(m_a + m_e) \cdot (T_f - T_i)}$$

1. Objetivos

- Identificar e/ou descrever quantidade de calor, capacidade calorífica, calor específico e o princípio do equilíbrio térmico.
- Concluir que os corpos, em diferentes temperaturas, quando postos em contato, trocam calor até atingirem o equilíbrio térmico.
- Concluir que a energia transformada nos geradores e receptores não é criada nem destruída, mas sim, transformada de uma modalidade a outra.
- Utilizar conhecimentos na construção de um circuito simples.

2. Material

- Um calorímetro
- Uma fonte CC regulável
- Um amperímetro CC que permite leitura em torno de 3 A.
- Uma chave liga-desliga auxiliar
- Um cronômetro

3. Procedimento experimental

1. Execute a montagem conforme o esquema abaixo, observando a associação em série do amperímetro e a polaridade.
2. Utilize a fonte com tensão de saída ajustável em torno de 17 volts ($\pm 0,5$) para evitar grande agitação do líquido próximo ao eletrodo resistivo. **ATENÇÃO:** Não ligue o calorímetro sem água e evite acelerar a experiência elevando a potência de dissipação, isto iria injetar erros desagradáveis aos resultados. A água deve ter sua temperatura elevada devagar, permitindo a uniformização térmica com o uso do agitador.
3. Caso o calorímetro ainda não possua a capacidade térmica etiquetada, determine o equivalente em água e registre o resultado encontrado.
 $m_e = \underline{\hspace{2cm}}$ ou $E = \underline{\hspace{2cm}}$
4. Meça a temperatura ambiente (T_o) e registre o valor.
 $T_o = \underline{\hspace{2cm}}$
5. Coloque, no calorímetro, 150g de água destilada (gelada), que tenha aproximadamente 10 °C a menos que a temperatura ambiente (T_o).
6. Feche o calorímetro, coloque o termômetro e torne a fazer a ligação elétrica.

Física Experimental 2

7. Agite a água do calorímetro. Aguarde o equilíbrio térmico e anote a temperatura inicial.

$$T_i = \underline{\hspace{2cm}}$$

8. Determine a diferença: $(T_o - T_i) = \underline{\hspace{2cm}}$

9. Com a chave auxiliar desligada, ajuste a tensão para 17 volts e, ao longo da atividade, observe para qual valor da tensão no voltímetro se mantém constante. Ligue a chave auxiliar e inicie, simultaneamente, a contagem de tempo durante o qual o resistor ficará ligado. Agite a água do calorímetro, com cuidado, a cada intervalo de 30 segundos, mantendo a tensão constante.

10. Observe, no amperímetro, o valor da intensidade de corrente que circula pelo resistor e anote-a.

$$i = \underline{\hspace{2cm}}$$

11. Meça o valor da resistência elétrica oferecida pelo resistor (do calorímetro) através do método voltímetro/amperímetro.

$$R = V/i = \underline{\hspace{2cm}}$$

12. Como $(T_f - T_o)$ deve ser igual (experimentalmente o mais próximo possível) a $(T_o - T_i)$, deveremos desligar o sistema a uma temperatura $T_f = (2T_o - T_i)$. Determine a temperatura (T_f) , na qual o sistema deverá ser desligado.

$$T_f = \underline{\hspace{2cm}}$$

13. Quando a temperatura do calorímetro for T_f , desligue o sistema elétrico e encerre a contagem do tempo.

14. Continue a observar o termômetro e anote o valor máximo da temperatura que foi atingido e o tempo, em segundos, no qual o resistor ficou ligado.

$$T_{\max} = t_{\text{ligado}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

15. Com os valores tabelados e fornecidos (calor específico e equivalente em água do calorímetro), determine o valor de E_M com o respectivo desvio. Seja cuidadoso com as unidades.

16. Indique, caso tenha ocorrido, uma causa do provável erro desta experiência e como eliminá-la.

Apêndices

Apêndice A: Expressando valores de amostragem

Em situações nas quais vários valores são tomados numa medida, é conveniente expressar o valor final como a média aritmética dos vários valores medidos. Assim, se são medidos os valores $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, então o valor medido deve ser

$$\frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

Além disso, se várias medidas são realizadas, deve-se ainda expressar o desvio de cada valor medido x_i em relação ao valor médio \bar{x} . Esse desvio é calculado como segue. Toma-se o desvio δx_i para cada valor medido x_i em relação ao valor médio \bar{x} , ou seja, $\delta x_i = x_i - \bar{x}$, e em seguida calcula-se a média aritmética dos desvios:

$$\frac{\delta x_1 + \delta x_2 + \delta x_3 + \dots + \delta x_n}{n}$$

Por fim, o valor a ser apresentado como resultado da medida é

.

Exemplo: Por exemplo, os seguintes valores são obtidos para a velocidade máxima em km/h alcançada por um carro de corrida numa volta completa do circuito de competição:

v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6
235	254	236	248	235	243

Assim, o valor médio é:

$$\frac{235 + 254 + 236 + 248 + 235 + 243}{6} \text{ km/h}$$

E o desvio para cada medida é:

$$\delta v_1 = 235,00 - 241,83 = - 6,83$$

$$\delta v_2 = 254,00 - 241,83 = 12,17$$

$$\delta v_3 = 236,00 - 241,83 = - 5,83$$

$$\delta v_4 = 248,00 - 241,83 = 6,17$$

$$\delta v_5 = 235,00 - 241,83 = - 6,83$$

$$\delta v_6 = 243,00 - 241,83 = 1,17$$

Portanto,

$$\frac{-6,83 + 12,17 - 5,83 + 6,17 - 6,83 + 1,17}{6} \text{ km/h.}$$

Enfim, o valor da velocidade média alcançada é

Física Experimental 2

$$v_{\max} = (241,830 \pm 0,003) \text{ km/h}$$

O valor expresso indica que o valor da velocidade média está entre 241,833 km/h e 241,827 km/h.

Apêndice B: Cálculo do erro percentual

O erro percentual $Er\%$ dá uma precisão do resultado da medida através da diferença entre o valor esperado, também chamado valor teórico, $X_{\text{teórico}}$, e o valor medido, também chamado valor experimental, X_{exp} . Ele é definido como segue:

$$\text{Er}\% = \frac{|X_{\text{teórico}} - X_{\text{exp}}|}{X_{\text{teórico}}} \cdot 100$$

O valor encontrado dá então a proximidade ou discrepância entre o valor esperado ou previsto pela teoria e o valor encontrado a partir do experimento.

Valores aceitáveis são aqueles até 10%. Além disso, considera-se que o experimento foi realizado de maneira mal sucedida ou com pouco zelo.

Exemplo: Como exemplo suponha que a velocidade máxima fornecida pela equipe do piloto do exemplo anterior fosse de 248,00 km/h. Portanto, a discrepância entre o valor nominal e o valor verificado é:

$$\text{Er}\% = \frac{|248,00 - 248,00|}{248,00} \cdot 100 = 0\%$$

Assim, o valor verificado é perfeitamente aceitável.

Vale lembrar que as informações contidas neste texto são apenas orientações simplificadas, sem o rigor que concerne à completa Teoria Estatística. O objetivo é auxiliar na confecção dos relatórios. Textos mais rigorosos podem ser encontrados na literatura.³

Apêndice C: Calibração do sensor-força (Vernier Logger *pro*)

O procedimento de calibração do sensor-força deve ser realizado sempre que for solicitado durante a prática. O procedimento de calibração é o que segue:

1. Escolha *Calibrate* a partir do menu *Experiment*. Clique no ícone PORT 1 (DIN 1 para sensor-força) tal que o ícone pareça em destaque. Clique .
2. Remova toda e qualquer força do sensor-força. Digite **0** (zero) no campo *Value 1*. Mantenha o sensor verticalmente com o gancho orientado para baixo e aguarde que a leitura mostrada no Input 1 estabilize-se. Clique . Isto define a condição de força zero.
3. Pendure no gancho do sensor-força uma massa de 500 g. Isto aplica uma força de 4,9 N. Digite **4.9** no campo *Value 2*, e após a leitura no Input 1 esteja estabilizada, clique . Clique para fechar a janela de calibração.

Referências

-
- ¹ Paul A. Tipler, Gene Mosca, FÍSICA PARA CIENTISTAS E ENGENHEIROS, *Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica*, Vol. 1, 6ª edição, LTC, Rio de Janeiro, 2009.
 - ² R. Resnick, D. Halliday, K. Krane, FÍSICA 1, 5ª edição, LTC, Rio de Janeiro, 2002.
 - ³ Otaviano A. M. Helene; Vito R. Vanin; TRATAMENTO ESTATÍSTICO DE DADOS, Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 1981.