



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

Laboratório de Física Experimental I – EE

*Mecânica 1 –
Dinâmica, Momento, Trabalho, Energia, Calor*



Agosto-2011

Apresentação

Esta apostila foi elaborada para servir de guia durante as aulas de Laboratório de Física Experimental I - EP para os cursos de Engenharia de Produção, da Universidade Federal do Piauí. Ela foi elaborada com base nos textos de empresas especializadas na produção de equipamentos para laboratórios de ensino, como o *Vernier Software & Technology* (<http://www.vernier.com/>)*, 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.ufpi.br/df/index/pagina/id/1620>)*. 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 11 práticas referentes ao conteúdo de curso teórico de Física Geral I, envolvendo experimentos de Dinâmica, Momento, Trabalho e Energia. Obviamente, o ritmo e o número de experimentos realizados no semestre dependerão do acompanhamento da turma e da proposta particular 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 e prepara o estudante para 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. Na **Análise** ocorre a discussão dos resultados. Por fim, uma seção denominada **Extensões** reforça a discussão e extrapola os conceitos a serem alcançados.

Desejamos que esta apostila consiga atender às expectativas dos alunos e da comunidade acadêmica da UFPI como um todo, 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,
Profa. Maria Letícia Vega (marialeticia.vega@gmail.com)
Prof. Heurison S. Silva (heurison@ufpi.edu.br)
(Departamento de Física, CCN, UFPI)

* Acessado em 16 de Dezembro de 2009.

Conteúdo

Apresentação.....	2
Modelo de relatório	6
PRÁTICA 1. COMBINANDO GRÁFICOS.....	8
1.1. Objetivos	8
1.2. Materiais.....	8
1.3. Questões Preliminares.....	9
1.4. Procedimento Experimental	9
1.4.1. Parte I: Experimentos preliminares	9
1.4.2. Parte II: Combinação do gráfico Distância vs. Tempo	10
1.4.2.1. Análise da Parte II:.....	10
1.4.3. Parte III: Combinação do gráfico da Velocidade vs. Tempo	11
1.4.3.1. Análise da Parte Parte III:	11
1.5. Extensões	12
Prática 2. DETERMINANDO A ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE g	13
2.1. Parte 1: DETERMINANDO g COM UM PLANO INCLINADO	13
2.1.1. Objetivos	14
2.1.2. Materiais.....	14
2.1.3. Questões preliminares	14
2.1.4. Procedimento experimental.....	15
2.1.5. Análise da Parte 2.1.....	16
2.2. Parte 2 CORPO EM QUEDA LIVRE	16
2.2.1. Objetivos	17
2.2.2. Materiais.....	18
2.2.3. Questões preliminares	18
2.2.4. Procedimento experimental.....	18
2.2.4.1. Análise da Parte 2	19
2.2.5. Extensões	20
PRÁTICA 3. SEGUNDA LEI DE NEWTON	21
3.1 Objetivos.....	21
3.2 Materiais.....	21
3.3 Questões preliminares.....	21
3.4 Procedimento experimental.....	22
3.4.1 Parte I	23
3.4. 2 Parte II.....	23
3.5 Análise.....	24
3.6 Extensões.....	24
PRÁTICA 4. MÁQUINA DE ATWOOD	25
4.1 Objetivos	25
4.2 Materiais.....	25
4.3 Questões preliminares.....	25
4.4 Procedimento experimental.....	26

Física Experimental I - EE

Profa. Maria Letícia Vega, Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

4.4.1	Parte I: Mantendo a massa total constante	26
4.4.2	Parte II: Mantendo a diferença de massa constante	27
4.5	Análise.....	27
4.6	Extensões.....	28
PRÁTICA 5. TERCEIRA LEI DE NEWTON		29
5.1.	Objetivos	29
5.2.	Materiais.....	29
5.3.	Questões preliminares	29
5.4.	Procedimento experimental.....	30
5.5.	Análise	31
5.6.	Extensões	31
PRÁTICA 6. TRABALHO E ENERGIA		32
6.1.	Objetivos	32
6.2.	Materiais.....	33
6.3.	Questões preliminares	33
6.4.	Procedimento experimental.....	33
6.4.1.	Parte I: Trabalho quando a força é constante	33
6.4.2.	Parte II: Trabalho realizado por uma mola	35
6.4.3.	Parte III: Trabalho realizado para acelerar um carrinho	37
6.5.	Análise	38
6.6.	Extensões	39
PRÁTICA 7. MOMENTO, ENERGIA E COLISÕES.....		40
7.1.	Objetivos	40
7.2.	Materiais.....	40
7.3.	Questões preliminares	40
7.4.	Procedimento	40
7.4.1.	Parte I: Amortecedores magnéticos	41
7.4.2.	Parte II: Amortecedores de Velcro	41
7.4.3.	Parte III: Do Velcro aos amortecedores magnéticos	42
7.5.	Análise	43
PRÁTICA 8. MOMENTO DE INÉRCIA DE UMA BARRA OSCILANTE... 44		44
8.1.	Objetivos	44
8.2.	Material	44
8.3.	Questões preliminares	45
8.4.	Procedimento experimental.....	45
8.5.	Análises.....	47
PRÁTICA 9. MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES		48
9.1.	Objetivos	49
9.2.	Material	49
9.3.	Questões preliminares	49
9.4.	Procedimento experimental.....	50
9.5.	Análise	53
9.6.	Extensões	54
PRÁTICA 10. EXPERIÊNCIAS COM O CALORÍMETRO		55

Física Experimental I - EE

Profa. Maria Letícia Vega, Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

10.1.	Parte I: CAPACIDADE CALORÍFICA DE UM CALORÍMETRO	55
10.1.1.	Objetivos	55
10.1.2.	Materiais.....	56
10.1.3.	Procedimento experimental.....	56
10.2.	Parte II: CALOR ESPECÍFICO E CAPACIDADE CALORÍFICA DE UM SÓLIDO.....	56
10.2.1.	Objetivos	56
10.2.2.	Material	56
10.2.3.	Procedimento experimental.....	57
10.3.	Parte III: CALOR LATENTE DE FUSÃO DO GELO.....	57
10.3.1.	Objetivos	57
10.3.2.	Material:	57
10.3.3.	Procedimento experimental.....	57
10.4.	Análise	58
PRÁTICA 11.	EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR	59
11.1.	Objetivos	59
11.2.	Material	60
11.3.	Procedimento experimental.....	60
Apêndices		62
Apêndice A: Expressando valores de amostragem		63
Apêndice B: Cálculo do erro percentual.....		64
Apêndice C: Calibração do dinamômetro.....		65
Apêndice D: Calibração do acelerômetro.....		66
Referências.....		67

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 produzido 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 comparados 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 deve 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 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 algoritmos 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. COMBINANDO GRÁFICOS[†]

Um dos métodos os mais eficazes de descrever o movimento é traçar gráficos da distância, da velocidade, e da aceleração contra o tempo. De uma representação tão gráfica, é possível determinar em que sentido um objeto está indo, como rapidamente se está movendo, como distante viajou, e se é de aceleração ou retardando. Nesta experiência, você usará um detector de movimento para determinar esta informação traçando um gráfico tempo real de seu movimento enquanto você se move através da sala de aula.

O detector de movimento mede o tempo onde toma para um pulso sadio de alta freqüência ao curso do detector a um objeto e para trás. Usando este tempo de ida-e-volta e a velocidade de som, você pode determinar a distância ao objeto; isto é, sua posição. O registrador pro executará este cálculo para você. Pode então usar a mudança em posição para calcular a velocidade e a aceleração do objeto. Toda esta informação pode ser indicada como uma tabela ou um gráfico. Uma análise qualitativa dos gráficos de seu movimento ajudá-lo-á a desenvolver uma compreensão dos conceitos da cinemática.

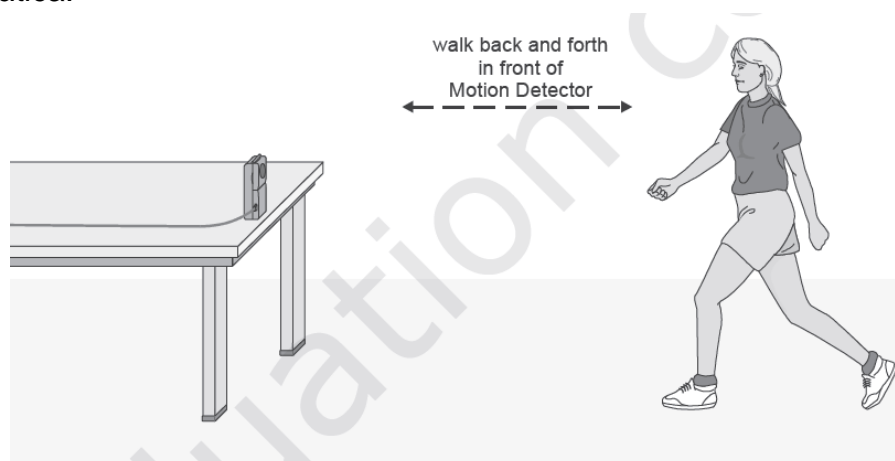


Figura 1: Esquema da montagem para o casamento de gráficos.

1.1. Objetivos

- Analisar o movimento de um estudante caminhando pela sala de aula.
- Prever, esboçar e testar gráficos cinemáticos da posição vs. tempo.
- Prever, esboçar e testar gráficos cinemáticos da velocidade vs. tempo.

1.2. Materiais

- Computador

[†] As Práticas desta Apostila foram preparadas para o uso da instrumentação do Logger *pro* da Vernier Software & Technology (<http://www.vernier.com/>). Entretanto, adaptações à realidade dos recursos disponíveis podem ser feitas pelo professor.


- Detector de movimento Vernier
- Interface de computador Vernier
- Fita métrica
- Logger *Pro*
- Marcadores
- Fita

1.3. Questões Preliminares

- Use um sistema de coordenadas com a origem no extremo esquerdo e com as distâncias positivas aumentando para a direita. Esboce um gráfico da posição vs. tempo para cada uma das seguintes situações:
 - Um objeto em repouso.
 - Um objeto que se move no sentido positivo com uma velocidade constante.
 - Um objeto que se move no sentido negativo com uma velocidade constante.
 - Um objeto que esteja acelerando no sentido positivo, partindo do descansoEm cada um dos casos faça uma discussão do movimento
- Esboce um gráfico da velocidade contra o tempo para cada um das situações descritas acima e faça a devida discussão em base ao observado.

1.4. Procedimento Experimental

1.4.1. Parte I: Experimentos preliminares

- Conecte o Detector de Movimento na PORT 2 da Interface Universal de Laboratório (*Universal Lab Interface*).
- Coloque o Detector de Movimento apontando para um espaço aberto de aproximadamente 4 m de comprimento. Use tiras pequenas de fita adesiva para marcar o chão em posições de 1 m, 2 m, 3 m, e 4 m a partir do Detector de Movimento.
- Prepare o computador para a coleta de dados abrindo o arquivo "Exp 01A" da pasta *Physics with Computers* do programa Logger *Pro*. Um gráfico aparecerá na tela. O eixo vertical é a posição de 0 a 5 metros. O eixo horizontal é o tempo escalado de 0 a 10 segundos.
- Usando Logger *Pro*, produza um gráfico de seu movimento quando você caminha se distanciando do detector com velocidade constante. Para fazer isso, comece da posição 1 m a partir do Detector de Movimento e peça a seu parceiro de laboratório que clique em . Caminhe lentamente a partir do Detector de Movimento quando você ouvir iniciar o clicar.

- Esboce qual gráfico da posição vs. distância você verá se você caminhar mais rápido. Verifique sua previsão com o Detector de Movimento.
- Tente combinar a forma do gráfico da distância contra o tempo que você esboçou na seção Questões Preliminares andando na frente do Detector de Movimento.

1.4.2. Parte II: Combinação do gráfico Distância vs. Tempo

- Prepare o computador para a coleta de dados abrindo o arquivo “Exp 01B” a partir da pasta *Physics with Computers* do *Logger Pro*. Um gráfico da distância vs. tempo aparecerá.

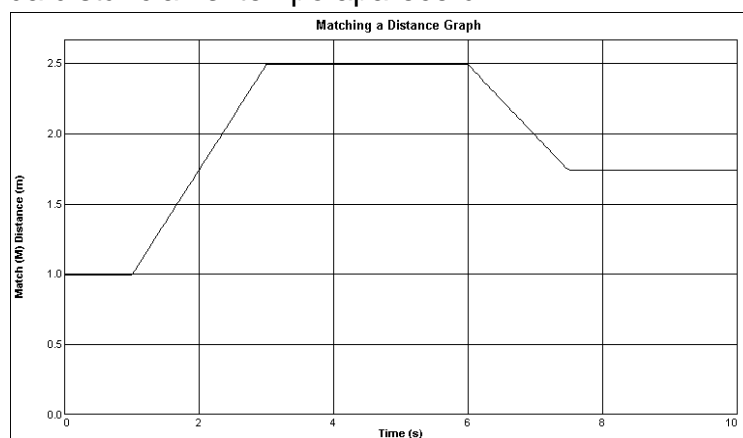


Figura 2: Gráfico referente ao arquivo “Exp 01B” do *Logger pro*.

- Descreva como você deve caminhar para produzir o gráfico alvo.
- Para testar sua previsão, escolha um ponto de partida e se posicione nele. Comece o levantamento de dados clicando . Quando você ouvir o Detector de Movimento começar a estalar, caminhe de tal maneira que o gráfico de seu movimento combine com o gráfico alvo na tela do computador.
- Se você não for bem sucedido, repita o processo até que seu movimento combine o mais próximo possível do gráfico na tela. Se uma impressora está conectada ao computador, imprima o gráfico de sua melhor tentativa.
- Prepare o computador para a coleta de dados abrindo o arquivo “Exp 01C” da pasta *Physics with Computers* do *Logger Pro* e repita as etapas 8 - 10, usando um novo gráfico do alvo.

1.4.2.1. Análise da Parte II:

Combinação do gráfico da Distância vs. Tempo

- Descreva como você andou para cada um dos gráficos que você combinou.

- Explique o significado da inclinação de um gráfico da distância contra o tempo. Inclua um exame da inclinação positiva e negativa.
- Que tipo de movimento está ocorrendo quando a inclinação de um gráfico da distância contra o tempo é zero?
- Que tipo de movimento está ocorrendo quando a inclinação de um gráfico da distância contra o tempo é constante?
- Que tipo de movimento está ocorrendo quando a inclinação de um gráfico da distância contra o tempo está mudando? Teste sua resposta a esta pergunta usando o Detector de Movimento.
- Retorne ao procedimento e termine a parte III.

1.4.3. Parte III: Combinação do gráfico da Velocidade vs. Tempo

12. Prepare o computador para a coleta de dados abrindo o arquivo “Exp 01D” da pasta *Physics with Computers* do programa *Logger Pro*. Você verá o seguinte gráfico da velocidade vs. tempo.

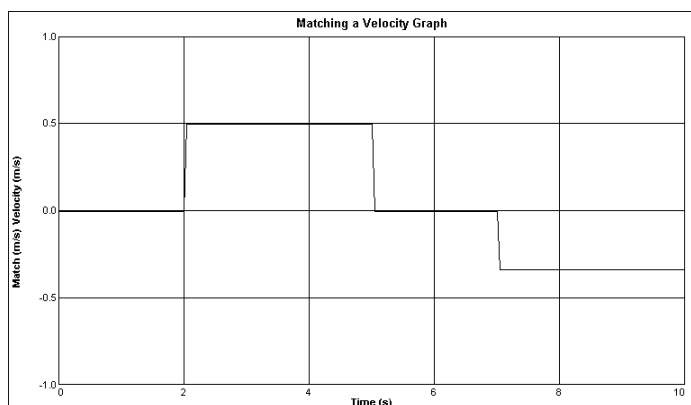


Figura 3: Gráfico referente ao arquivo “Exp 01D” do *Logger pro*.

- Descreva como você deve caminhar para produzir o gráfico alvo.
- Para testar sua predição, escolha um ponto de partida e se posicione nele. Comece o levantamento de dados clicando . Quando você ouvir o Detector de Movimento começar a estalar, caminhe de tal maneira que o gráfico de seu movimento combine com o gráfico alvo na tela do computador. Será mais difícil combinar o gráfico da velocidade que o da posição.
- Prepare o computador para a coleta de dados abrindo o arquivo “Exp 01E” da pasta *Physics with Computers* do programa *Logger Pro*. Repita os passos 14 – 15 para combinar esse gráfico.
- Remova as tiras de fita do chão.

1.4.3.1. Análise da Parte Parte III:

Combinação do gráfico da Velocidade vs. Tempo

Física Experimental I - EE

Profa. Maria Letícia Vega, Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

- a. Descreva como você andou para cada um dos gráficos que você combinou.
- b. Usando o gráfico da velocidade contra o tempo, esboce um gráfico da distância contra o tempo para cada um dos gráficos que você combinou. No Logger *pro*, comute um gráfico da distância contra o tempo para verificar sua resposta. Faça isto clicando na escala do eixo y e escolhendo a velocidade; verifique então a distância. Clique para ver o gráfico da distância.
- c. O que representa a área sob um gráfico da velocidade contra o tempo? Teste sua resposta a esta pergunta usando o Detector de Movimento.
- d. Que tipo de movimento está ocorrendo quando a inclinação de um gráfico da velocidade contra o tempo é zero?
- e. Que tipo de movimento está ocorrendo quando a inclinação de um gráfico da velocidade contra o tempo é não-nula? Teste sua resposta usando o Detector de Movimento.

1.5. Extensões

- I. Desafie seus colegas. Esboce um gráfico da distância contra o tempo em um pedaço de papel e desafie outro estudante na classe a combinar seu gráfico. Permita que outro estudante desafie você da mesma maneira.
- II. Crie um gráfico desafio da velocidade contra o tempo de maneira similar.

Prática 2. DETERMINANDO A ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE

g

Nesta Prática nós iremos utilizar dois métodos diferentes para calcular a aceleração da gravidade g : primeiro, utilizando um plano inclinado tal como o fez Galileu Galilei; segundo, medindo a aceleração de um corpo que cai em queda livre.

2.1. Parte 1: DETERMINANDO g COM UM PLANO INCLINADO

Durante a primeira metade do século XVII, Galileu analisou experimentalmente o conceito de aceleração. Um de seus objetivos era aprender mais sobre os objetos em queda livre. Infelizmente, os dispositivos de seu tempo não eram precisos o suficiente para lhe permitir estudar a queda livre diretamente. Portanto, ele decidiu limitar a aceleração usando fluidos, planos inclinados e pêndulos. Neste exercício de laboratório, você vai ver como a aceleração de um carrinho ou de uma bola rolando depende do ângulo de rampa, como mostra a Figura 4. Então, você vai usar seus dados para extrapolar para a aceleração em uma rampa “vertical”, isto é, a aceleração de uma bola em queda livre.

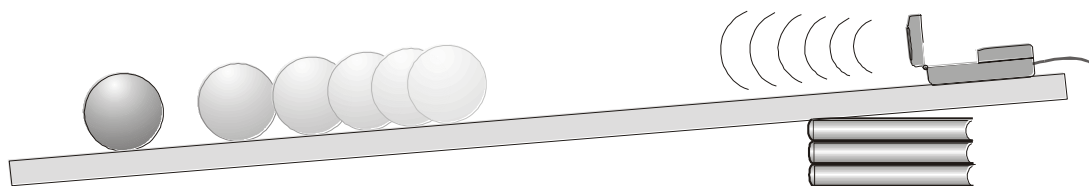


Figura 4: Plano inclinado.

Se o ângulo de inclinação com a horizontal é pequeno, uma bola rolando rampa abaixo se move lentamente e pode ser facilmente cronometrado. Usando dados de hora e distância, é possível calcular a aceleração da bola. Quando o ângulo de inclinação é maior, a aceleração também aumenta. A aceleração é diretamente proporcional ao seno do ângulo de inclinação, θ . Um gráfico da aceleração versus $\sin(\theta)$ pode ser extrapolada para um ponto onde o valor do $\sin(\theta)$ é 1. Quando o $\sin(\theta)$ é 1, o ângulo de inclinação é de 90° . Isto é equivalente à queda livre. A aceleração durante a queda livre pode ser determinada a partir do gráfico.

Galileu foi capaz de medir a aceleração apenas para pequenos ângulos. Você irá coletar dados semelhantes. Esses dados podem ser utilizados na extrapolação para determinar um valor útil de g , a aceleração de queda livre. Vamos ver quão válida essa extrapolação pode ser. Ao invés de medir o tempo, como Galileu fez, você irá utilizar um Detector de Movimento para determinar a aceleração. Você vai fazer medições quantitativas do movimento

Física Experimental I - EE

Profa. Maria Letícia Vega, Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

de uma bola rolando um plano inclinado com vários ângulos pequenos. A partir dessas medidas, você deve ser capaz de decidir por si mesmo se uma extrapolação para grandes ângulos é válida.

2.1.1. Objetivos

- Usar um Detector de Movimento para medir a velocidade e a aceleração de uma bola e um carrinho rolando para baixo numa rampa.
- Determinar a relação matemática entre o ângulo de inclinação e a aceleração da bola em queda no plano inclinado.
- Determinar o valor da aceleração de queda livre, g , extrapolando o gráfico da aceleração versus seno do ângulo de inclinação.
- Comparar os resultados de uma bola com os resultados de um carrinho sem atrito.
- Determinar se uma extrapolação da aceleração versus seno do ângulo de inclinação é válida.



2.1.2. Materiais

- Computador
- Logger pro
- Detector de movimento Vernier
- Interface Universal Lab
- Plano inclinado (1 a 3 m)
- Bola rígida
- Carrinho

2.1.3. Questões preliminares

- I. Um dos dispositivos de tempo que foi utilizado por Galileu era seu pulso. Solte uma bola de borracha de uma altura de cerca de 2 m e tente determinar quantos batimentos do pulso decorreram antes dela atingir o solo. Qual foi o problema neste experimento que Galileu encontrou?
- II. Agora, meça o tempo que leva para a bola de borracha para queda de 2 m, utilizando um relógio de pulso ou um relógio de parede. Será que os resultados melhoram substancialmente?
- III. Rolar a bola difícil encontrar uma rampa que faz um ângulo de aproximadamente 10° com a horizontal. Primeiro use seu pulso e, em seguida o seu relógio de pulso para medir o tempo de descida.
- IV. Você acha que durante o dia de Galileu foi possível obter dados úteis para qualquer uma dessas experiências? Por quê

2.1.4. Procedimento experimental

1. Conecte o detector de movimento Vernier a PORT 2 da Interface Universal Lab.
2. Coloque um único livro sob uma extremidade da rampa de 1 - 3 m de comprimento ou de um trilho de modo que dê forma a um ângulo pequeno com o horizontal. Ajuste os pontos do contato das duas extremidades do plano inclinado, de modo que a distância, x , na Figura 4 esteja entre 1 e 3 m.
3. Coloque o detector de movimento na parte superior de um plano inclinado. Coloque assim de modo que a esfera nunca esteja mais próxima do que 0,4 m do detector.
4. Prepare o computador para o levantamento de dados abrindo o arquivo "Exp 04" da pasta *Physics with Computers* do Logger pro. Dois gráficos serão indicados: distância contra o tempo e a velocidade contra o tempo. A linha central vertical no gráfico da distância é escalada de 0 a 3 m. A linha central vertical no gráfico da velocidade é escalada 0 a 2 m/s. A linha central horizontal de ambos os gráficos é tempo escalados de 0 a 5 s.
5. Prenda a esfera rígida no plano inclinado aproximadamente 0,5 m do detector de movimento.
6. Clique  para começar a coletar dados; libere a esfera depois que o detector de movimento começar a estalar. Você pode ter que ajustar a posição e o alvo do detector de movimento diversas vezes antes que você obtenha uma medida satisfatória. Ajuste e repita esta etapa até que você obtenha uma boa medida que mostre a inclinação aproximadamente constante no gráfico da velocidade contra o tempo durante o rolamento da esfera.
7. O Logger pro pode ajustar a uma linha reta a uma parte de seu gráfico. Selecione primeiramente que parcela deve ser usada arrastando com o *mouse* através do gráfico para indicar os tempos de início e de término. Clique então sobre a linha de regressão, *Regression Line*, , para executar uma regressão linear dos dados selecionados. Use esta ferramenta para determinar a inclinação do gráfico da velocidade contra o tempo, usando somente a parcela dos dados no intervalo de tempo em que a esfera estava rolando livremente. Da linha obtida, encontre a aceleração da esfera. Anote o valor em sua tabela dos dados.
8. Repita as etapas 5 – 7 mais duas vezes.
9. Meça o comprimento do plano inclinado, x , que está a uma distância entre os dois pontos de contacto da rampa. Veja Figura 4.
10. Meça a altura, h , a altura dos livros. Estas últimas duas medidas serão usadas para determinar o ângulo do plano inclinado.
11. Levante o plano inclinado colocando um segundo livro sob a extremidade. Ajuste os livros de modo que a distância, x , seja a mesma que a leitura precedente.
12. Repita as etapas 5 - 10 para o novo plano inclinado.

Física Experimental I - EE

Profa. Maria Letícia Vega, Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

13. Repita as etapas 5 - 11 para 3, 4, e 5 livros.

Tabela de resultados

Dados usando a esfera							
Número de livros	Altura dos livros, h (m)	Comprimento do plano inclinado, x (m)	$\sin \theta$	Aceleração			Aceleração média (m/s^2)
				Tentativa 1 (m/s^2)	Tentativa 2 (m/s^2)	Tentativa 3 (m/s^2)	
1							
2							
3							
4							
5							

2.1.5. Análise da Parte 2.1

- Calcule a aceleração média para cada altura.
- Usando a trigonometria e os seus valores de x e de h na Tabela de resultados, calcule o seno do ângulo de declive para cada altura. Observe que x é a hipotenusa de um triângulo retângulo.
- Trace um gráfico da aceleração média (linha central de y) contra o $\sin(\theta)$. Use a análise gráfica ou o papel milimetrado. Extrapole a linha central do $\sin(\theta)$ para 1 (um) a fim de sair do quadrante para a extrapolação.
- Trace uma linha reta à mão ou use a regressão linear do *Graphical Analysis* para obter a inclinação. A inclinação pode ser usada para determinar a aceleração da esfera em um declive de todos os ângulos.
- No gráfico, extrapole a linha selecionada até $\sin(90) = 1$ na linha central horizontal para ler o valor da aceleração.
- Quão bem o valor extrapolado concorda com o valor aceito da aceleração da queda livre ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$)?
- Repita a análise, incluindo a extrapolação, para o carrinho sem atrito.
- Por quais motivos você explica o fato de os dados para o carrinho levarem a um valor extrapolado de g que é mais próximo do valor aceito do que os dados da esfera?
- Discuta a validade de extrapolar o valor da aceleração até um ângulo do 90° .

2.2. Parte 2 CORPO EM QUEDA LIVRE

Física Experimental I - EE

Profa. Maria Letícia Vega, Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

Nós dizemos que um objeto realiza movimento de queda livre quando a única força que atua nela é a força gravitacional da Terra. Nenhuma outra força pode atuar; em particular, a resistência de ar deve ser ou ausente ou tão pequena que pode ser ignorada. Quando o objeto em queda livre está perto da superfície da terra, a força gravitacional que atua sobre ele é quase constante. Em consequência, um objeto em queda livre acelera para baixo a uma taxa constante. Esta aceleração é representada geralmente com o símbolo g .

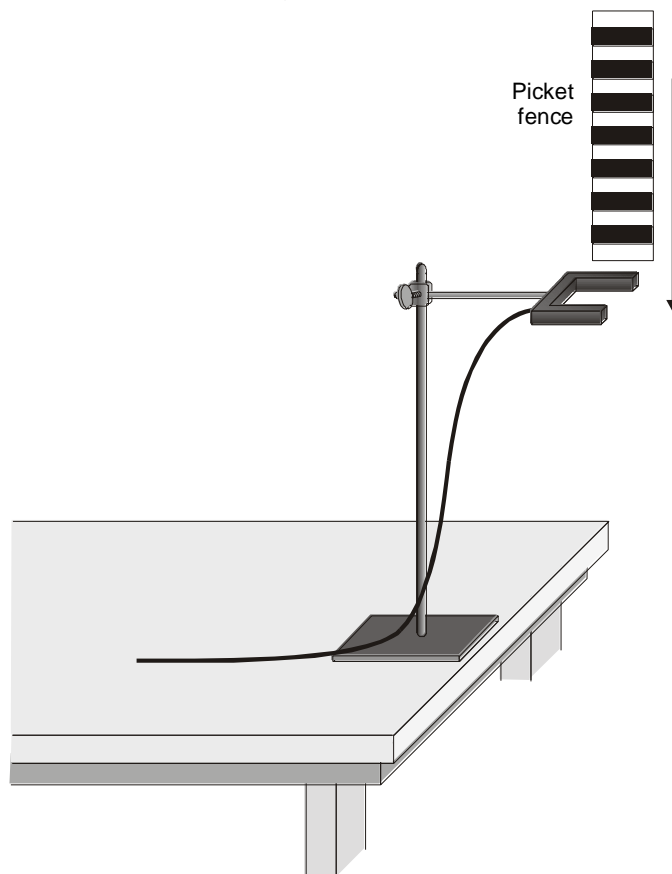


Figura 5: Aparato experimental para o estudo da queda livre.

Os estudantes da física medem a aceleração devido à gravidade usando uma grande variedade de métodos do sincronismo. Nesta experiência, você terá a vantagem de usar um temporizador muito preciso conectado ao computador e a um fotodetector. O fotodetector tem um feixe de luz infravermelha que viaja de um lado ao outro. Ele pode detectar sempre que o feixe é obstruído. Você deixará cair uma vareta de plástico com barras claras e escuras uniformemente espaçadas nela, conforme a Figura 5. À medida que a vareta passa pelo fotodetector, o computador mede o tempo entre as obstruções atuais e as seguintes. Este sincronismo continua enquanto todas as oito barras passam pelo fotodetector. Destes tempos medidos, o programa calculará as velocidades e as acelerações para este movimento e os gráficos serão traçados.

2.2.1. Objetivos

- Medir a aceleração de um corpo em queda livre (g) com precisão melhor que 0,5% usando uma cerca de piquete e um Fotodetector.

2.2.2. Materiais

- PC com Windows XP
- Interface Universal Lab
- Logger *Pro*
- Fotodetector Vernier
- Vareta de barras
- Grampo ou tripé para segurar o fotodetector

2.2.3. Questões preliminares

- a. Inspeccione sua vareta de barras. Você estará deixando-a cair diante de um fotodetector para medir o g . A distância, medida de uma borda de uma tira preta à mesma borda da tira seguinte, são 5,0 cm. Que informações adicionais você precisará para determinar a velocidade média da vareta enquanto se move na frente do fotodetector?
- b. Se um objeto se está movendo com aceleração constante, que é a forma de sua velocidade contra o gráfico do tempo?
- c. A velocidade inicial de um objeto tem qualquer coisa a ver com sua aceleração? Por exemplo, comparado a um objeto que você deixar cair, se você o joga para baixo a aceleração seria diferente após você tê-lo liberado?

2.2.4. Procedimento experimental

1. Prenda o fotodetector de maneira que ele se posicione horizontalmente, segundo as indicações da Figura 5. Observe que todo o comprimento da vareta deve poder cair livremente entre os terminais do fotodetector. Para evitar danificar a vareta, certifique-se de que tem ela cairá sobre uma superfície macia (tal como um tapete).
2. Conecte o fotodetector à entrada DG I no ULI.
3. Prepare o computador para o levantamento de dados abrindo “Exp 05” da pasta *Physics with Computers* do *Logger pro*. Dois gráficos aparecerão na tela. O gráfico superior indica a distância contra o tempo, e o gráfico inferior, da velocidade contra o tempo.
4. Observe a leitura na barra de status do *Logger pro* na parte inferior da tela. Obstrua o fotodetector com sua mão; observe que o fotodetector está mostrado como obstruído. Remova sua mão e a exposição deve mudar para desbloqueado.

Física Experimental I - EE

Profa. Maria Letícia Vega, Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI


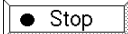

5. Clique  para preparar o fotodetector. Prenda a parte superior da vareta e deixe-a cair entre o fotodetector, liberando-a completamente antes que entre no Fotodetector. Seja cuidadoso ao liberar a vareta. Ela não deve tocar nos lados do fotodetector enquanto cai e precisa permanecer na vertical. Clique  para cessar o levantamento de dados.
6. Examine seus gráficos. A inclinação de um gráfico da velocidade contra o tempo é uma medida da aceleração. Se o gráfico da velocidade é aproximadamente uma linha reta de inclinação constante, a aceleração é constante. Se a aceleração de vareta parece constante, então selecione a parte linear de seus dados. Para fazer isto, clique em  uma vez sobre o gráfico da velocidade ajustar a linha $y = mx + b$ aos dados. Anote a inclinação na tabela dos dados.
7. Para estabelecer a confiabilidade de sua medida da inclinação, repita as etapas 5 e 6 cinco vezes mais. Não use as medidas em que a vareta bate ou sai do fotodetector. Anote os valores da inclinação na tabela 1 dos dados.

Tabela 1 Tabela de resultados

Tentativa	1	2	3	4	5	6
Inclinação (m/s^2)						


	Mínimo	Máximo	Média
Aceleração (m/s^2)			

Aceleração devida à gravidade, g		\pm	m/s^2
Precisão			%

2.2.4.1. Análise da Parte 2

- a. De suas seis experimentações, determine o mínimo, o máximo, e o valor médio para a aceleração de queda da vareta. Anote-os na tabela dos dados.
- b. Descreva em palavras a forma do gráfico da distância contra o tempo para a queda livre.
- c. Descreva com palavras a forma do gráfico da velocidade contra o tempo. Como este gráfico está relacionado com aquele da distância contra o tempo?
- d. A aceleração média que você determinou representa um valor único melhor, derivado de todas suas medidas. Os valores mínimo e máximo dão uma

afirmação de quanto as medidas podem variar de experimentação à experimentação; isto é, indicam a precisão de sua medida. Uma maneira de indicar a precisão é tomar a metade da diferença entre os valores mínimos e máximos e usar o resultado como a incerteza da medida. Expresse seu resultado experimental final como o valor médio, \pm a incerteza. Fique atento para o fato de que a incerteza e o valor médio devem ser ajustados para o mesmo número de casas decimais.[‡] Por exemplo, se seus valores do mínimo, os médios e os máximos são 9,12; 9,93 e 10,84 m/s² expresse seu resultado como $g = 9,9 \pm 0,9$ m/s². Anote seus valores na tabela dos dados.

- e. Expresse a incerteza como uma porcentagem da aceleração. Esta é a precisão do seu experimento.[§] Incorpore o valor a sua tabela de resultados. Usando o exemplo numérico da última etapa, a precisão seria $\frac{0,9}{9,9} \times 100\% = 9\%$.
- f. Compare sua medida ao valor geralmente aceito de g (de um livro de texto ou de outra fonte qualquer). O valor aceito cabe dentro da escala de seus valores? Em caso afirmativo, sua experiência concorda com o valor aceito.
- g. Usando o gráfico da aceleração contra o tempo na tela, clique sobre  para determinar a aceleração média. Como isto pode ser comparado com o valor da aceleração que você obteve, determinado a partir da inclinação do gráfico da velocidade?

2.2.5. Extensões

- I. Use o gráfico da distância contra o tempo e um ajuste parabólico para determinar g .
- II. Deixando cair a vareta de uma altura maior acima do fotodetector, você esperaria alguma mudança nos parâmetros que você mediu? Tente-o.
- III. Jogando a vareta para baixo, mas abandonando-a antes que entre no fotodetector, você acredita que isso mude algumas de suas medidas? E jogando a vareta para cima? Realize uma tentativa executando estas experiências.
- IV. Como a adição da resistência de ar mudaria os resultados? Tente adicionar um laço de fita livre à extremidade superior da vareta. Deixe cair a vareta modificada dentro do fotodetector e compare os resultados com seus resultados livres originais da queda.
- V. Investigue como o valor de g varia em torno do mundo. Por exemplo, qual a influência da altura sobre o valor de g ? Que outros fatores fazem com que esta aceleração varie em posições diferentes? Quanto pode g variar em uma posição nas montanhas comparadas a uma posição ao nível do mar?

[‡] Ver

Apêndice A: Expressando valores de amostragem.

[§] Veja também o

Apêndice B: Cálculo do erro percentual.

PRÁTICA 3. SEGUNDA LEI DE NEWTON

Como um carro muda seu movimento quando você o empurra e puxa? Você pode pensar que quanto mais abruptamente você o empurra, mais rapidamente ele se move. A velocidade do carro está relacionada à força que você aplica? Ou a força apenas muda a velocidade? Além disso, o que a massa do carro tem a ver com a maneira com a qual o movimento muda.

Um dinamômetro e um acelerômetro deixá-lo-ão medir simultaneamente a força e a aceleração de um carro. A massa total do carro é fácil de variar adicionando massas. Usando estas ferramentas, você pode determinar como a força resultante sobre o carro, sua massa, e sua aceleração estão relacionadas. Esta relação é a segunda lei do movimento, de Newton.

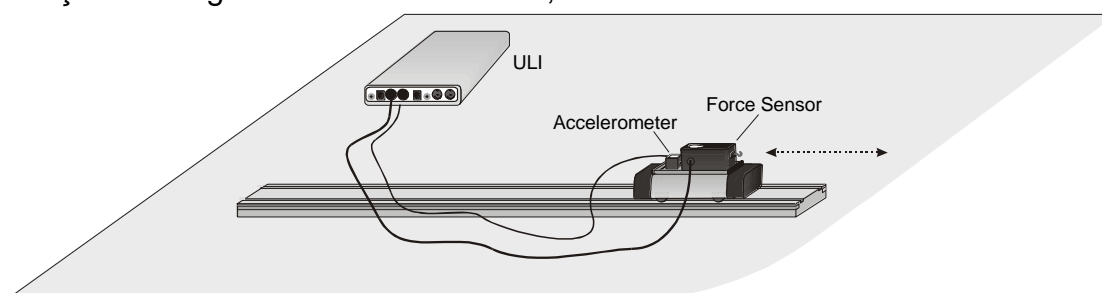


Figura 6: Estudo da 2ª lei de Newton.

3.1 Objetivos

- Coletar dados da força e aceleração para um carrinho que se move em vai-e-vem.
- Comparar gráficos da aceleração e da força contra o tempo.
- Analisar um gráfico da força versus aceleração.
- Determinar a relação entre força, massa e aceleração.

3.2 Materiais

- PC Windows
- Interface Universal Lab
- Sensor Force Vernier
- Acelerômetro Low-g Vernier
- Logger Pro
- Carrinho de baixo atrito
- Massas de 0,050 kg

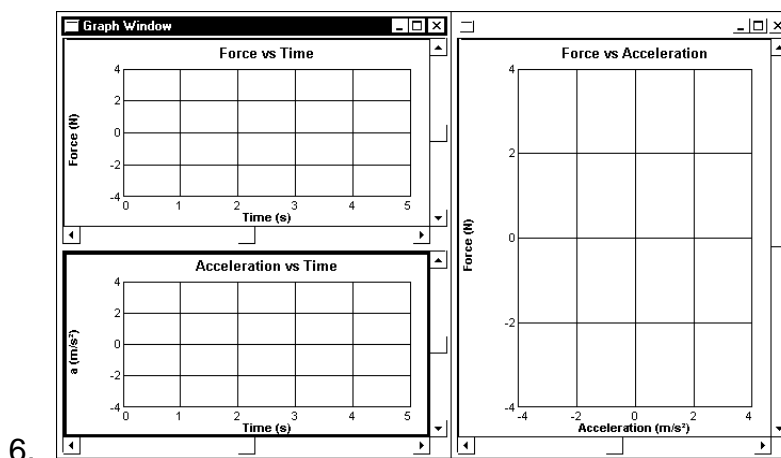
3.3 Questões preliminares

- a. Quando você impulsiona um objeto, como o valor da força afeta seu movimento? Se você empurra mais rapidamente, a mudança no movimento é menor ou maior? Você acha que esta relação é direta ou inversa?
- b. Suponha que você tem uma bola de tênis e uma de boliche, cada uma suspensa por um barbante distinto. Se você bater em cada um destas bolas com um bastão qualquer de madeira, qual bola muda seu movimento por uma quantidade maior?

- c. Na ausência de atrito e de outras forças, se você exerce uma força, F , em uma massa, m , a massa acelerará. Se você exerce a mesma força em uma massa de $2m$, você esperaria que a aceleração resultante fosse duas vezes maior ou duas vezes menor? Esta é uma relação direta ou inversa?

3.4 Procedimento experimental

1. Se você está usando o “Vernier Dual-Range Force Sensor”^{**}, abra o arquivo “Exp 09DR” a partir da pasta *Physics with Computers* do Logger Pro. Ajuste a chave no dinamômetro para ± 10 N. Se você está usando o “ULI Force Probe”, abra o arquivo “Exp 09FP.” Se você está usando o “Student Force Sensor”, abra “Exp 09SF.” Três gráficos aparecerão na tela, como mostrado na Figura 7.
2. Conecte o dinamômetro à porta DIN 1 na Interface Universal Lab. Conecte também o acelerômetro ao DIN 2 na interface.
3. Para obter bons resultados numéricos de seu experimento, você deve calibrar ambos os sensores. Os procedimentos estão descritos nos apêndices:
 - a. Apêndice C: Calibração do dinamômetro
 - b. Apêndice D: Calibração do acelerômetro
4. Prenda o dinamômetro a um carrinho de maneira que você possa aplicar uma força horizontal no gancho, dirigido ao longo da linha central e horizontal de seu dinamômetro. Em seguida, prenda o acelerômetro de maneira que a seta esteja na direção horizontal e paralela ao sentido no qual o carrinho se deslocará. Oriente a seta de modo que se você puxa no sensor-força o carro se mova no sentido da seta. Encontre a massa do carro com o sensor e o acelerômetro juntos. Anote a massa na tabela de dados.
5. Coloque o carrinho sobre uma superfície plana e horizontal (bancada). Certifique-se que o carrinho não está se movendo e clique em , e após, clique .



6. **7. Figura 7: Gráficos do arquivo “Exp 09SF”, do Logger pro.**

^{**} Caso esteja usando o sensor “Dual-Range Force” que tem uma chave de 5-N ao invés de 10-N, ajuste-o para 5-N.

3.4.1 Parte I




8. Agora você está pronto para coletar os dados da força e da aceleração para o seu experimento. Agarre o gancho do dinamômetro. Clique  e aguarde alguns segundos para mover para frente e para trás o carro sobre a bancada. Varie o movimento de modo que forças pequenas e grandes sejam aplicadas. Certifique-se de que sua mão está tocando somente no gancho do sensor-força e não no corpo do sensor ou do carro.
9. Observe a forma dos gráficos da força contra o tempo e da aceleração contra o tempo. Clique no botão *Examine*, , e mova o *mouse* pelo gráfico da força pelo tempo. Quando a força é máxima, a aceleração é máxima ou mínima?
10. O gráfico da força contra a aceleração deve parecer uma linha reta. Para ajustar os dados a uma linha reta dados, clique no gráfico, a seguir clique na tecla *Regression Line*, . Anote a equação para a linha de regressão na tabela dos dados.
11. Usando os gráficos, estime a aceleração do carro quando uma força de 1,0 N atuou sobre ele. Selecione *Interpolate* a partir do Menu *Analyze*. Mova o *mouse* através do gráfico e determine a aceleração (x) quando a força (y) é aproximadamente 1,0 N. Anote os dados da força e da aceleração na tabela de dados.
12. Repita o passo 9 usando uma força de -1,0 N.

Tabela de Resultados Parte I

Massa do carro com sensores (kg)		
Dados da linha de regressão para a força versus aceleração		
	Força que puxa o carro (N)	Aceleração (m/s ²)
Força próxima de		
Força próxima de		

3.4.2 Parte II

13. Prenda uma massa de 0,500 kg no carrinho. Anote a massa do carrinho, dos sensores e da massa adicional na tabela de dados.
14. Repita os passos 6 – 10.

Física Experimental I - EE

Profa. Maria Letícia Vega, Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

Tabela de resultados da Parte II

Massa do carrinho com sensores e a massa		
Dados da linha de regressão para a força versus aceleração		
	Força que puxa o carro (N)	Aceleração (m/s ²)
Força próxima de		
Força próxima de		

3.5 Análise

- Compare os gráficos da força contra o tempo e da aceleração contra o tempo para uma tentativa particular.
- A força resultante aplicada em um objeto e a aceleração desse objeto são diretamente proporcionais? Explique.
- Quais são as unidades da inclinação do gráfico da força contra a aceleração? Simplifique as unidades da inclinação às unidades fundamentais (m, kg, s).
- Para cada tentativa compare a inclinação da linha de regressão à massa que está sendo acelerada. O que a inclinação do gráfico representa?
- Escreva uma equação geral que relacione todas as três variáveis: força, massa, e aceleração.

3.6 Extensões

- Use esta instrumentação como uma maneira de medir a massa. Coloque uma massa desconhecida no carro. Meça a aceleração para uma força conhecida e determine a massa desconhecida. Compare sua resposta com a massa real do carro, medida com uma balança.

PRÁTICA 4.MÁQUINA DE ATWOOD

Um experimento clássico na física é a *máquina de Atwood*: Duas massas de cada lado de uma polia são conectadas por uma corda leve. Quando liberada, a massa mais pesada acelerará descendente enquanto a mais leve acelerará para cima à mesma taxa. A aceleração depende da diferença nas duas massas assim como da massa total.

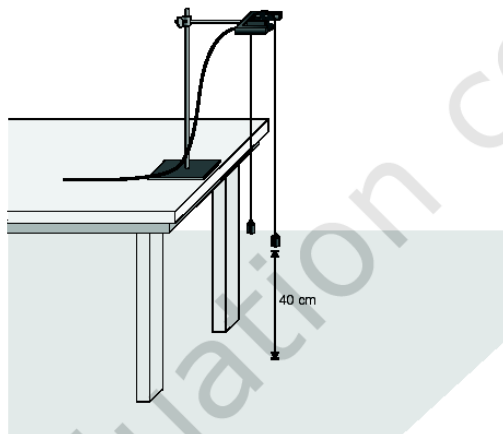


Figura 8: Montagem da máquina de Atwood.

Nesta prática, você determinará a relação entre os dois fatores que influenciam a aceleração da máquina de Atwood usando um fotodetector para a medida da aceleração.

4.1 Objetivos

- Usar um fotodetector para estudar a aceleração da máquina de Atwood.
- Determinar as relações entre as massas na máquina de Atwood e a aceleração.

4.2 Materiais

- PC Windows
- Interface Universal Lab
- Logger *Pro*
- Fotodetector Vernier com polia sem atrito
- Conjunto de massas
- Segunda polia (sem fotodetector)
- Barbante
- *Graphical Analysis* ou papel milimetrado




4.3 Questões preliminares

- a) Se duas massas iguais estão suspensas pelas extremidades (diferentes) de um barbante que passa sobre uma polia leve (máquina de Atwood), que tipo do movimento você espera ocorrer? Por quê?
- b) Para a máquina de Atwood, como você esperaria que a aceleração mudasse se você:
 - Movesse a massa de um lado para o outro, mantendo a massa total constante?
 - Aumentasse gradualmente a massa de ambos os lados?
- c) Por que as duas massas têm a mesma aceleração?
- d) Esboce um diagrama de corpo livre para a massa do lado esquerdo. Esboce outro para a massa do lado direito. Inclua todas as forças que atuam em cada massa.

4.4 Procedimento experimental

4.4.1 Parte I: Mantendo a massa total constante

Para esta parte da experiência você manterá a constante a massa total usada, mas move pesos de um lado para o outro. A diferença entre as massas muda

1. Ajuste o instrumento da máquina de Atwood segundo as indicações de Figura 8.
2. Conecte o fotodetector com a polia ao porto DG I da Interface Universal Lab.
3. Prepare o computador para a aquisição de dados abrindo o arquivo “Exp 10” da pasta *Physics with Computers* do Logger pro. Um gráfico da velocidade contra o tempo será mostrado.
4. Arranje uma coleção das massas que totalizam 200 g no m_2 e uma massa de 200 g em m_1 . Qual é a aceleração desta combinação? Anote seus valores para a massa e a aceleração na tabela dos dados.
5. Mova 5 g de m_2 para m_1 . Anote as novas massas na tabela dos dados.
6. Posicione m_1 mais alto que m_2 . Clique  para iniciar a coleta de dados. Prenda as massas de modo que não balancem. Espere um segundo e libere-as. Segure a massa em queda antes que ela atinja o chão ou a bancada.
7. Clique no botão *Examine*, , e selecione a região do gráfico onde a velocidade estava aumentando a uma taxa constante. Clique na tecla *Linear Regression*, , para ajustar a linha $y = mx + b$ aos dados. Anote a inclinação, que é a aceleração, na tabela dos dados.
8. Continue a mover massas do m_2 para m_1 em incrementos de 5 g, mudando a diferença entre as massas, mas mantendo a massa total constante. Repita os passos 6 - 7 para cada combinação de massa. Repita este passo até que você obtenha pelo menos cinco combinações diferentes.

Física Experimental I - EE

Profa. Maria Letícia Vega, Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

Parte I: Mantendo a massa total constante					
Tentativa	m_1 (g)	m_2 (g)	Aceleração (m/s^2)	Δm (kg)	m_T (kg)
1					
2					
3					
4					
5					

4.4.2 Parte II: Mantendo a diferença de massa constante

Para esta parte da experiência você manterá a diferença na massa entre os dois lados da máquina de Atwood constante e aumentará a massa total.

Tabela de resultados da Parte II

Parte II: Mantendo a diferença de massa constante					
Tentativa	m_1 (g)	m_2 (g)	Aceleração (m/s^2)	Δm (kg)	m_T (kg)
1					
2					
3					
4					
5					

9. Ponha 120 g sobre m_1 e 100 g sobre o m_2 .
10. Repita os passos 6 - 7 para coletar dados e determinar a aceleração.
11. Adicione massa em incrementos de 20 g a ambos os lados, mantendo uma diferença constante de 20 gramas. Anote a massa resultante para cada combinação na tabela dos dados. Repita etapas 6 - 7 para cada combinação. Repita o procedimento até pelo menos cinco combinações diferentes.

4.5 Análise

- a) Para cada tentativa, calcule a diferença entre m_1 e m_2 em kilogramas. Anote o resultado na coluna Δm .
- b) Para cada tentativa, calcule a massa total em kilogramas.
- c) Usando o *Graphical Analysis* ou papel milimetrado, faça um gráfico da aceleração versus Δm , usando os dados da Parte I. Baseado em suas

análises sobre o gráfico, responda qual é a relação entre a diferença de massa e a aceleração na máquina de Atwood?

- d) Usando o *Graphical Analysis* ou papel milimetrado, faça um gráfico da aceleração versus a massa total, usando os dados da Parte II. Baseado em suas análises sobre o gráfico, responda qual é a relação entre a massa total e a aceleração na máquina de Atwood?
- e) Obtenha uma única expressão para a aceleração em uma máquina de Atwood, combinando os resultados dos dois passos anteriores na análise.

4.6 Extensões

- I. Desenhe um diagrama de corpo livre para m_1 e outro para m_2 . Usando esses diagramas, aplique a segunda lei de Newton a cada massa. Assuma que a tensão é a mesma em cada massa e que elas têm a mesma aceleração. A partir dessas duas equações, encontre uma expressão para a aceleração de m_1 em termos de m_1 , m_2 , e g . Compare esta expressão com seu resultado no passo 5 da Análise.
- II. Para cada uma das medidas realizadas, calcule a aceleração esperada usando a expressão que você encontrou com a segunda lei de Newton do movimento e especifique as massas usadas. Compare estes resultados com seus resultados experimentais.^{††} Os valores experimentais concordam com os valores teóricos? Por quê?

††

Apêndice B: Cálculo do erro percentual.

PRÁTICA 5. TERCEIRA LEI DE NEWTON

Você pode ter aprendido esta declaração da terceira lei de Newton: “A cada ação há uma reação igual e oposta.” O que esta sentença significa? Ao contrário das primeiras duas leis de Newton, do movimento, que se referem somente a objetos individuais, a terceira lei descreve uma interação entre dois corpos. Por exemplo, o que acontece quando você puxa na mão do seu parceiro com a sua mão? Para estudar esta interação, você pode usar dois sensores de força (dinamômetros). Enquanto um objeto (sua mão) empurra ou puxa outro objeto (mão do seu parceiro), os dinamômetros registrarão aqueles momentos e puxões. Elas serão relacionadas de uma maneira muito simples como prevista pela terceira lei de Newton.

A ação referida na frase acima é a força aplicada por sua mão, e a reação é a força que é aplicada pela mão do seu parceiro. O conjunto é entendido como um par de forças. Esta simples e rápida experiência mostrará como as forças estão relacionadas.

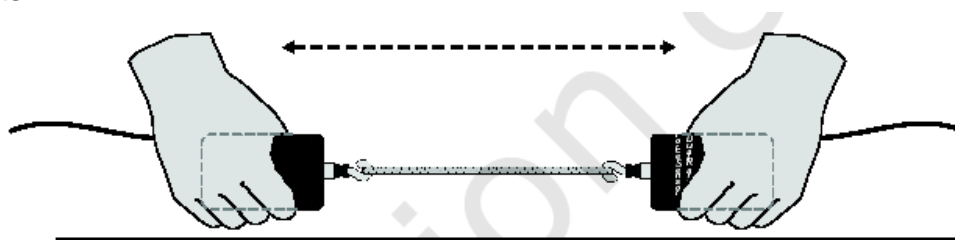


Figura 9: Aplicando o par ação-reação.

5.1. Objetivos

- Calibrar dois sensores-força.
- Observar o relacionamento direcional entre pares da força.
- Observar a variação temporal em pares da força.
- Explicar a terceira lei de Newton numa linguagem simples.

5.2. Materiais

- PC Windows
- Dois dinamômetros Vernier
- Interface Universal Lab
- Logger *Pro*
- Massas de 500 g
- Barbante
- Tira de borracha


5.3. Questões preliminares

- a) Prenda uma tira de borracha entre suas mãos direita e esquerda. Puxe com sua mão esquerda. Sua mão direita experimenta alguma força? Sua mão direita aplica alguma força na tira de borracha? Em que sentido está aquela força comparada à força aplicada pela mão esquerda?

- b) Puxe mais fortemente com sua mão esquerda. Isto muda de alguma maneira a força aplicada pela mão direita?
- c) Como a força de sua mão esquerda, transmitida pela tira de borracha está relacionada à força aplicada por sua mão direita? Escreva uma regra (enunciado), em palavras, para a relação entre as forças.

5.4. Procedimento experimental

1. Conecte os dois dinamômetros (*Student Force Sensor* ou *Dual-Range Force Sensor*) ao DIN 1 e DIN 2 da Interface Universal Lab.
2. Se você está usando o *Vernier Dual-Range Force Sensor*, abra o arquivo "Exp 11DR" da pasta *Physics with Computers* do *Logger Pro*. Ajuste a chave de escala no sensor para 50 N. Se você está usando a ponta de prova para a medida da força ULI, abra "Exp 11FP." Para o dinamômetro do estudante, abra "Exp 11SF." Um gráfico aparecerá na tela. A linha central vertical terá a força escalada de -20 a 20 N. A linha central horizontal tem o tempo escalado de 0 a 10s.
3. Os dinamômetros medem a força somente ao longo de uma direção; se você aplica uma força ao longo de outra direção, suas medidas não serão contadas.
4. Uma vez que você estará comparando as leituras de dois sensores de força diferentes, é importante que ambos leiam a força exatamente. Ou seja, você precisa calibrá-los. Execute o procedimento de calibração indicado no
5. Apêndice C: Calibração do dinamômetro. Siga as indicações inicialmente para o primeiro sensor.
6. Repita o processo para o segundo dinamômetro com uma exceção importante: em vez de colocar **4.9** no campo Value 2, coloque **- 4.9**. O sinal negativo indica que para o segundo sensor um puxão negativo. Para esta atividade é útil ajustar diferentemente os dois dinamômetros, uma vez que mais tarde você terá os sensores posicionados de modo que uma tração à esquerda gere o mesmo sinal da força em cada sensor.
7. Você usará os sensores em uma orientação diferente daquela em que foram calibrados. Zere os sensores para resolver este problema. Prenda os sensores horizontalmente sem nenhuma força aplicada, e clique . Clique para zerar ambos os sensores. Esta etapa faz ambos os sensores lerem exatamente **zero** quando nenhuma força é aplicada.
8. Clique para fazer uma tomada de valores. Puxe em cada sensor e anote o sinal da leitura. Use isto para estabelecer o sentido positivo para cada sensor.
9. Faça um laço curto com um barbante com uma circunferência de aproximadamente 30 cm. Use-o para unir os ganchos dos sensores. Prenda um sensor em sua mão e mande seu parceiro prender o outro de tal maneira que você possa puxar usando a corda como um intermediário. Seja cuidadoso ao aplicar a força somente ao longo do sentido sensível de seu sensor.

10. Clique  para começar a coletar dados. Delicadamente puxe o dinamômetro do seu parceiro com seu dinamômetro, certificando-se que o gráfico não saia da escala mostrada na tela. Além disso, peça a seu parceiro que puxe o seu sensor. Você terá 10 segundos para tentar trações diferentes. Escolha *Store Latest Run* a partir do menu *Data*.
11. O que aconteceria se você usasse a tira de borracha em vez do barbante? Esboce um gráfico de sua previsão, e repita o passo 8 usando a tira de borracha em vez da corda.

5.5. Análise

- a) Examine as duas tomadas de dados. O que pode você concluir sobre as duas forças (sua tração aplicada em seu parceiro e a dele aplicada em você)? Como os valores estão relacionados? Como os sinais estão relacionados?
- b) Como a tira de borracha muda os resultados?
- c) Quando você e seu parceiro estão puxando os sensores um do outro, seus sensores têm a mesma direção positiva? Que impacto sua resposta tem na análise dos pares da força?
- d) Há alguma maneira de puxar o dinamômetro do seu parceiro sem que o dinamômetro dele puxe o seu? Tente fazê-lo.
- e) Releia a declaração da terceira lei dada no início desta atividade. O igual e o oposto da frase devem ser interpretados com cuidado, uma vez que para dois vetores serem iguais ($\vec{A} = \vec{B}$) e opostos ($\vec{A} = -\vec{B}$) então nós devemos ter $\vec{A} = \vec{B} = 0$; isto é, ambas as forças são sempre zero. Que é o realmente significa ser *igual e oposto*? Expresse novamente a terceira lei de Newton com suas próprias palavras, sem usar as palavras “ação,” “reação,” ou “igual e oposto.”

5.6. Extensões

- I. Prenda um dinamômetro a sua bancada de laboratório e repita as experiências. O banco puxa você como você o puxa? Tem alguma importância se o segundo dinamômetro não esteja segurado por uma pessoa?
- II. Use uma haste rígida para conectar seus dinamômetros em vez de uma corda e experimente com os momentos mútuos em vez das trações. Repita as experiências. A haste muda a maneira com que os pares da força são relacionados?

PRÁTICA 6. TRABALHO E ENERGIA

Trabalho é a medida de transferência de energia. Na ausência de atrito, quando trabalho positivo é realizado sobre um objeto, ocorrerá um aumento em sua energia cinética ou potencial. Para realizar trabalho sobre um objeto, é necessário aplicar uma força a favor ou contra a direção do movimento do objeto. Se a força é constante e paralela ao deslocamento do objeto, o trabalho pode ser calculado usando

$$W = F \cdot s,$$

onde F é a força constante e s é o deslocamento do objeto. Se a força não for constante, nós ainda podemos calcular o trabalho que usa uma técnica de gráficos. Se nós dividimos o deslocamento total em segmentos curtos, Δs , a força será quase constante durante cada segmento. O trabalho feito durante aquele segmento que usa a expressão prévia pode ser calculado. O trabalho total para o deslocamento global é a soma do trabalho realizado sobre cada segmento individual:

$$W = \sum F(s)\Delta s.$$

Esta soma pode ser determinada graficamente como a área sob o gráfico da força vs. distância.^{††}

Estas equações para o trabalho podem ser avaliadas usando o Dinamômetro e o Detector de Movimento facilmente. Em qualquer caso, o teorema do trabalho-energia relaciona o trabalho realizado à mudança de energia como

$$W = \Delta PE + \Delta KE,$$

onde W é o trabalho realizado, ΔPE é a mudança de energia potencial, e ΔKE a mudança de energia cinética.

Nesta experiência você investigará a relação entre trabalho, energia potencial, e energia cinética.

6.1. Objetivos

- Usar o detector de movimento e o dinamômetro (dinamômetro) para medir a posição e a força em uma massa suspensa, uma mola, e um carrinho.
- Determinar o trabalho realizado sobre um objeto usando o gráfico da força vs. distância.
- Usar o detector de movimento para medir velocidade e calcular a energia cinética.

^{††} Se você tem conhecimentos de cálculo, você pode reconhecer essa soma como uma integral

$$W = \int_{s_{\text{inicial}}}^{s_{\text{final}}} F(s)ds.$$

- Comparar o trabalho realizado sobre um carrinho e sua mudança de energia mecânica.

6.2. Materiais

- PC Windows
- Detector de movimento Vernier
- Sensor-força (dinamômetro)
- Interface Universal Lab
- Logger *Pro*
- Tira de borracha
- Carrinho
- Massas (200 g e 500 g)
- Mola com baixa constante elástica (~ 10 N/m)
- Fita adesiva
- Cesta para proteção do detector de movimento

6.3. Questões preliminares

- a) Levante um livro do chão para a mesa. Você realizou trabalho? Para responder a esta pergunta, considere que você aplicou uma força paralela ao deslocamento do livro.
- b) Qual foi a força que agiu sobre o livro que foi levantado? Você poderia levantar o livro com uma força constante? Ignore o começo e o fim do movimento na resposta desta pergunta.
- c) Segurando pela extremidade, estique a tira de borracha. Você realizou trabalho sobre a tira de borracha? Para responder a esta pergunta, considere que você aplicou uma força paralela ao deslocamento da extremidade da tira de borracha.
- d) A força que você aplica quando você estira a tira de borracha é constante? Se não, em que ponto o alongamento da força é mínimo? Em que ponto a força é máxima?

6.4. Procedimento experimental

6.4.1. Parte I: Trabalho quando a força é constante

Nesta parte você vai medir o trabalho necessário para levantar um objeto com velocidade constante. A força que você aplica equilibrará o peso do objeto, e assim é constante. O trabalho que usa o deslocamento e a força comum pode ser calculado, e também achando a área debaixo do gráfico força vs. distância.

1. Conecte o Detector de Movimento Vernier na PORT 2 e o Dinamômetro Vernier ao DIN 1 (PORT 1 se estiver usando ULI Força Probe) da Interface Universal Lab.
2. Se você estiver usando o Sensor Vernier Força Dual-Range², abra o arquivo "Exp18DRA" na pasta *Physics with Computers* do Logger Pro. Ajuste a chave para 10 N. Se você está usando a ULI Force Probe, abra "Exp18FPA". Para o

Studente Force Sensor, você deve abrir "Exp18SFA". Três gráficos irão aparecer na tela: distância vs. tempo, força vs. tempo e força vs. distância. Serão coletados dados para 5 s.




Figura 10: Aplicando uma força vertical constante



3. Se você estiver usando a ULI Force Probe, é necessário calibrar o sensor. Outros Sensores de Força podem ser calibrados opcionalmente usando o mesmo procedimento, ou então você pode saltar este passo. Para a calibração dos Sensores de Força (dinamômetro), veja
4. Apêndice C: Calibração do dinamômetro.
5. Mantenha o dinamômetro com o gancho apontando para baixo, mas com nenhuma massa presa a ele. Clique e então para zerar o Sensor-Força
6. Prenda uma massa de 200 g no dinamômetro.
7. Coloque o detector de movimento no chão, mas distante das pernas da mesa ou outros obstáculos que possa gerar interferências. Ponha a cesta protetora, se houver, conforme a Figura 10.
8. Mantenha o dinamômetro e a massa cerca de espere aproximadamente 1,0 s após o começo dos estalos no detector de movimento, e então lentamente erga o sensor-força e a massa aproximadamente 0,5 m em linha reta para cima. Finalmente, mantenha o dinamômetro e a massa até que a coleta de dados pare após 5 s.
9. Examine os gráficos da distância vs. tempo e da força vs. tempo clicando no botão *Examine*, , e identifique quando o peso parou de se mover para cima com velocidade constante. Anote o instante da partida e a altura correspondente na tabela de resultados.
10. Examine os gráficos da distância vs. tempo e da força vs. tempo e identifique quando o peso parou de se mover para cima. Anote o instante da partida e a altura correspondente na tabela de resultados.
11. Determine a força média exercida enquanto você estava erguendo a massa. Faça isto selecionando a parte do gráfico da força vs. tempo que corresponde ao tempo você estava erguendo (recorra ao gráfico da posição para determinar este intervalo de tempo). Não inclua os períodos curtos quando o movimento para cima estava começando ou parando. Clique no botão *Statistics*, , para calcular a força média. Anote o valor em sua tabela de dados.

Física Experimental I - EE

Profa. Maria Letícia Vega, Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

12. No gráfico da força vs. distância selecione a região que corresponde ao movimento ascendente do peso. (Clique e segure o botão do *mouse* na posição inicial, então arraste o *mouse* à posição de parada e solte o botão.)
- Clique o botão *Integrate*, , para determinar a área sob a curva do gráfico da força vs. a distância durante o levantamento da massa. Anote o valor em sua tabela de dados.
13. Imprima os gráficos (se possível).

Parte I

	Tempo (s)	Posição (m)
Começo do movimento		
Fim do movimento		

Força média (N)	
Trabalho realizado (J)	
Integral (durante a inclinação): força vs. distância (N•m)	
ΔPE (J)	

6.4.2. Parte II: Trabalho realizado por uma mola

Na parte II você medirá o trabalho necessário para estirar uma mola. Ao contrário do trabalho necessário para erguer uma massa, o trabalho feito estirando uma mola não é constante. No entanto, o trabalho pode ainda ser calculado usando a área sob o gráfico da força vs. distância.

14. Se você estiver usando um Dinamômetro Dual Range Vernier, abra o arquivo “Exp18DRB” da pasta *Physics with Computers* do Logger Pro. Ajuste o interruptor para 10 N. Se você está usando a ULI Force Probe, abra “Exp18FPB”. Para o Dinamômetro Estudante Force Sensor, abra “Exp18SFB”. Três gráficos aparecerão na tela: distância vs. tempo, força vs. tempo, força vs. distância. Os dados serão coletados durante 5 segundos.
15. Prenda uma extremidade da mola a um apoio rígido. Prenda o gancho do dinamômetro à outra extremidade. Apóie o dinamômetro na mesa com a mola estendida, mas relaxada, de forma que nenhuma força seja aplicada ao Dinamômetro.
16. Coloque o detector de movimento cerca de um metro do Dinamômetro, ao longo da linha da mola. Certifique-se de que não há nenhum objeto perto para interferir na medida de distância, conforme a Figura 11.
17. Usando fita adesiva colorida, marque a posição de uma extremidade do dinamômetro na mesa. O ponto de partida é quando a mola estiver em um estado relaxado. Mantenha a extremidade do Dinamômetro que está mais

Física Experimental I - EE

Profa. Maria Letícia Vega, Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

próximo do Detector de Movimento como mostrado na Figura 12. O Detector de Movimento medirá a posição da sua mão, não a do Dinamômetro. Com o resto de seu braço fora do caminho do Detector de Movimento, clique . Na caixa de diálogo que se aparece, clique . O Logger Pro usará agora um sistema de coordenadas que é positivo para o Detector de Movimento com a origem no Dinamômetro.

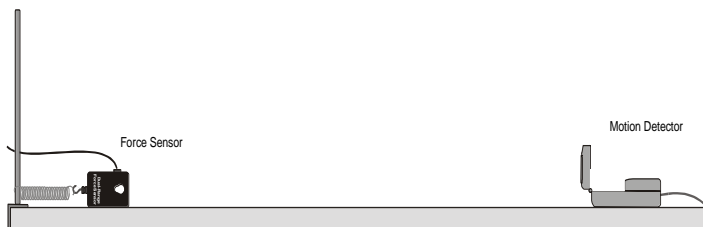


Figura 11: Aparência da montagem experimental para o estudo do Trabalho-energia usando a força elástica.

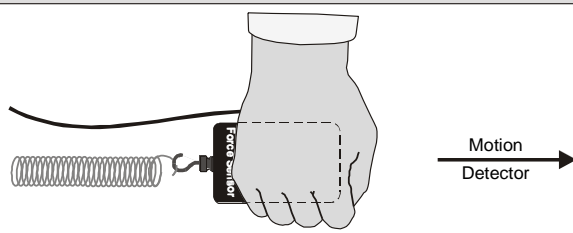


Figura 12: Aplicação da força elástica.

18. Clique para começar a coleta de dados. Dentro dos limites da mola, mova o Dinamômetro e lentamente estire a mola aproximadamente 50 cm durante vários segundos. Mantenha seguro o Dinamômetro até que a coleta de dados cesse. Não se aproxime mais que 40 cm do Detector de Movimento.
19. Examine os gráficos força vs. distância e força vs. tempo e clique no botão . Examine, . Identifique o instante no qual você começou a puxar a mola. Anote o instante e a posição da partida na tabela de dados.
20. Examine os gráficos de distância vs. tempo e força vs. tempo e identifique o momento em que você deixou de puxar a mola. **Anote** o momento e a posição da parada na tabela de dados.
21. Clique no gráfico da força vs. distância, vá ao botão Regression Line, , para determinar a inclinação deste gráfico. Anote a inclinação na tabela de dados ela é a constante da mola, k .
22. A área sob o gráfico da força vs. distância é o trabalho realizado para estirar a mola. **Como o trabalho depende da intensidade do estiramento?** No gráfico da força vs. distância, selecione a região que corresponde aos primeiros 10 cm de estiramento da mola. (Clique e segure o botão do mouse na posição inicial, então arraste o mouse até 10 cm e solte o botão.) Clique no botão *Integrate*, , para determinar a área sob a curva da força vs. distância durante o estiramento. Anote esta área na tabela de dados.
23. Agora selecione a parte do gráfico que corresponde aos primeiros 20 cm de estiramento (duas vezes o estiramento). Ache o trabalho realizado para estirar a mola 20 cm. Anote o valor na tabela de dados.

Física Experimental I - EE

Profa. Maria Letícia Vega, Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

24. Selecione a parte do gráfico que corresponde o máximo estiramento que você alcançou. Ache o trabalho realizado para estirar a mola até esta posição. Anote o valor na tabela de dados.
25. Caso seja possível, imprima os gráficos.
26. Antes de continuar vá à parte de Análises (seção 6.5 da prática 6)

Parte II

	Tempo (s)	Posição (m)
Começo do movimento		
Fim do movimento		

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

	Estiramento		
	10 cm	20 cm	Máximo
Integral (durante o empurrão) (N•m)			
ΔPE (J)			

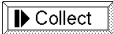


6.4.3. Parte III: Trabalho realizado para acelerar um carrinho

Na parte III, você empurrará um carrinho com o Dinamômetro, causando aceleração do carro. O Detector de Movimento lhe permite medir as velocidades iniciais e finais; junto com o Dinamômetro, você pode medir o trabalho que você faz no carro para acelerá-lo.

27. Se você estiver usando o Dinamômetro Vernier Dual Range, abra o arquivo "Exp18DRC" da pasta *Physics with Computers* do Logger Pro. Ajuste o interruptor para a posição 10 N. Se você está usando a ULI Force Probe, abra "Exp18FPC". Para o Estudante Force Sensor, abra "Exp18SFC". Três gráficos aparecerão na tela: distância vs. tempo, força vs. tempo, força vs. distância. Serão coletados dados durante 5 segundos.
28. Remova a mola e o suporte. Determine a massa do carro. Anote na tabela de dados.
29. Coloque o carro em repouso aproximadamente 1,5 m do Detector de Movimento, pronto para rolar em direção ao detector.
30. Clique . Na caixa de diálogo que aparece, clique . Agora o Logger Pro usará um sistema de coordenadas que é positivo para o Detector de Movimento com a origem no carro.
31. Prepare para empurrar o carro suavemente em direção ao Detector de Movimento usando o Dinamômetro. Segure o Dinamômetro de tal maneira que a força que se aplica ao carro é paralela ao eixo sensível do Dinamômetro.

Física Experimental I - EE

Profa. Maria Letícia Vega, Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

32. Clique  para começar a coleta de dados. Quando você ouvir o Detector de Movimento começar a estalar, suavemente empurre o carro para o Detector de Movimento usando somente o gancho do Dinamômetro. O empurrão deverá durar por volta de meio segundo. Deixe o carro rolar para o Detector de Movimento, mas pegue antes de golpear o detector.
33. Examine os gráficos da distância vs. tempo e da força vs. tempo clicando o botão *Examine*, . Identifique quando você começou a empurrar o carro. Anote o instante e a posição na tabela de dados.
34. Examine os gráficos da distância vs. tempo e da força vs. tempo e identifique quando você deixou de empurrar o carro. Anote o instante e a posição na tabela de dados.
35. Determine a velocidade do carro depois do empurrão. Use a inclinação do gráfico da distância vs. tempo que deve ser uma linha reta depois que o empurrão estiver completo. Anote a inclinação na tabela de dados.
36. Do gráfico da força vs. distancia, determine o trabalho que você realizou para acelerar o carro. Para fazer isto, selecione a região que corresponde ao empurrão (mas somente essa região). Clique no botão *Integrate*, , para medir a área sob a curva. Anote o valor na tabela de dados.
37. Imprima os gráficos (opcional).
38. Antes de continuar vai à parte de Análises (seção 6.5 da pratica 6)

Parte III

	Tempo (s)	Posição (m)
Começo do movimento		
Fim do movimento		

Massa (kg)	
Velocidade final (m/s)	
Integral – durante o empurrão (N•m)	
ΔKE do carro (J)	

6.5. Análise

- a) **Na Parte I**, o trabalho você realizou no levantamento da massa não alterou sua energia cinética. O trabalho teve então que mudar a energia potencial da massa. Calcule o aumento da energia potencial gravitacional usando a equação abaixo. Compare este valor ao trabalho médio para a Parte I, e a área sob o gráfico da força vs. distancia: $\Delta PE = mg\Delta h$, onde Δh é a distância que a massa foi levantada. Anote seus valores na tabela de dados. O trabalho realizado sobre a massa corresponde à mudança da energia potencial gravitacional? Deveria corresponder?

- b) **Na Parte II**, você realizou trabalho para estirar a mola. O gráfico da força vs. distância depende particularmente da mola que você usou, mas para a maioria das molas ele será em linha reta. Isto corresponde à lei de Hooke, ou $F = -kx$, onde F é a força aplicada pela mola quando ela é esticada a uma distância x . k é a constante elástica da mola, medida em N/m. Qual é a constante elástica da mola? Para o seu gráfico, a mola segue a lei de Hooke? Você acha que a lei de Hooke deveria ser sempre seguida, não importando quão longo seja o estiramento da mola? Por que a inclinação do seu gráfico é positiva, enquanto que a lei de Hooke tem um sinal negativo?
- c) A energia potencial elástica armazenada por uma mola é determinada por $\Delta PE = \frac{1}{2} kx^2$, onde x é a distância. Compare o trabalho que você mediu relativo ao estiramento da mola para 10 cm, 20 cm, e para um estiramento máximo para a energia potencial armazenada prevista pela expressão. Eles deveriam ser semelhantes? **Nota:** Use unidades consistentes. Anote seus valores na tabela de dados.
- d) **Na Parte III**, você trabalhou para acelerar o carro. Neste caso o trabalho foi mudando a energia cinética. Suponha que nenhuma mola esteja envolvida e que o carro move-se ao longo de uma superfície plana, e que não há mudança na energia potencial. Como o trabalho que você realizou compara-se com a mudança na energia cinética? Aqui, suponha que a velocidade inicial é zero, $\Delta KE = \frac{1}{2} mv^2$, onde m é a massa total do carro para qualquer peso adicionado, e v é a velocidade final. Anote seus valores na tabela de dados.

6.6. Extensões

- I. Mostre que um N·m é igual a um J.
- II. Comece com uma mola estirada e deixe a mola atuar sobre o carro acelerando-o para o ponto fixo. Use o Detector de Movimento para determinar a velocidade do carro quando a mola alcançar a posição relaxada. Calcule a energia cinética do carro neste momento e compare ao trabalho medido na Parte II. Discuta os resultados.
- III. Repita a Parte I, mas varie a velocidade de sua mão à medida que você erguer a massa. O gráfico da força vs. tempo deveria ser irregular. O gráfico da força vs. distancia irá mudar? Ou continuará correspondendo a $mg\Delta h$?
- IV. Repita a Parte III, mas comece movendo o carro para longe do Detector de Movimento. Empurrando apenas na extremidade do Dinamômetro, suavemente pare o carro e faça-o voltar para o Detector. Compare o trabalho realizado no carro à mudança na energia cinética, levando em conta a velocidade inicial do carro.

PRÁTICA 7. MOMENTO, ENERGIA E COLISÕES

A colisão de dois carros em um trilho pode ser descrita nos termos da conservação do momento e, em alguns casos, da conservação de energia. Se não há nenhuma força resultante externa experimentada pelo sistema de dois carros, então nós esperamos que o momento total do sistema fosse conservado. Isto é verdade a menos que a força atue entre os carros. Ao contrário, a energia é somente conservada quando determinados tipos de forças são exercidos entre os carros.

As colisões são classificadas como *elástica* (a energia cinética é conservada), *inelástica* (energia cinética é perdida) ou *completamente inelástica* (os objetos permanecem juntos após a colisão). Às vezes as colisões são descritas como *super-elásticas*, se a energia cinética é aumentada. Nesta prática você pode observar a maioria destes tipos de colisões e testar a conservação do momento e da energia em cada caso.

7.1. Objetivos

- Observar colisões entre dois carros, testando a conservação do momento.
- Medir mudanças na energia durante diferentes tipos de colisões.
 - Classificar colisões como elásticas, inelásticas ou completamente inelásticas.

7.2. Materiais

- PC Windows
- Dois Detectores de Movimentos
- Interface Universal Lab II
- Logger Pro
- Carrinhos deslizantes
- Dois carrinhos deslizantes sem atrito com ganchos magnéticos ou Velcro
-

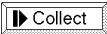
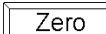

7.3. Questões preliminares

- a) Considere uma colisão frontal entre duas bolas de bilhar. Uma está inicialmente em repouso e a outra se move em relação à primeira. Esboce um gráfico da posição contra o tempo para cada esfera, começando com tempo antes da colisão e terminando 1 s após a colisão.
- b) O momento é conservado nesta colisão? A energia cinética é conservada?



7.4. Procedimento

1. Meça as massas de seus carros e anote-os em sua tabela de resultados. Etiquete os carros como o **carro 1** e **carro 2**.
2. Ajuste o trilho de modo a ficar na posição horizontal. Teste isto liberando um carro no trilho a partir do repouso. O carro não deve mover-se.
3. Pratique provocando colisões leves colocando o carro 2 em repouso no meio do trilho, e libere o carro 1 de modo que o primeiro carro incida o amortecedor

magnético contra o amortecedor magnético do primeiro. Os carros devem suavemente repelir um ao outro sem se tocar fisicamente.

4. Coloque um Detector de Movimento em cada extremidade do trilho, permitindo uma distância mínima de 0,4 m entre o Detector e o carro. Conecte os detectores à PORT 1 e PORT 2 da Interface Universal Lab.
5. Prepare o computador para o levantamento de dados abrindo o arquivo “Exp 19” da pasta *Physics with Computers* do Logger Pro. O Logger pro estará ajustado para a coleta de dados a partir dos dois Detectores de Movimento, traçando gráficos da distância vs. o tempo e da velocidade vs. o tempo.
6. Clique  para começar a coleta de dados. Repita a colisão que você praticou acima e use os gráficos da posição para verificar que o Detector de Movimentos pode seguir cada carro corretamente durante toda duração do movimento. Você pode precisar ajustar a posição de um ou ambos os Detectores de Movimentos.
7. Coloque os dois carros em repouso no meio do trilho, com seus amortecedores de Velcro um contra o outro e em contato. Mantenha suas mãos livres dos caminhos dos carros e clique . Clique em *All Sensor* para zerar ambos os Detectores de Movimento. Este procedimento estabelecerá o mesmo sistema de coordenadas para ambos os Detectores de Movimento. Verifique que a fixação no ponto zero foi bem sucedida clicando  e permitindo que os carros ainda ligados rolem lentamente pelo trilho. Os gráficos para cada Detector de Movimento devem ser quase os mesmos. Se não, repita o processo de fixação no ponto zero.

7.4.1. Parte I: Amortecedores magnéticos

1. Reposicione os carros de modo que os amortecedores magnéticos fiquem um frente ao outro. Clique  para começar a tomada de dados e repita a colisão que você praticou em etapa 3. Certifique-se que você mantém suas mãos fora do alcance dos Detectores de Movimentos depois que você empurrar o carro.
2. Dos gráficos da velocidade você pode determinar uma velocidade média antes e depois da colisão para cada carro. Para medir a velocidade média durante um intervalo de tempo, arraste o cursor através do intervalo apropriado. Clique no botão *Estatísticas*  para ler o valor médio. Para apagar a caixa de estatísticas, clique a caixa no canto direito superior. Meça a velocidade média para cada carro, antes e depois da colisão, e incorpore os quatro valores à tabela dos dados.
3. Repita a etapa 9 como uma segunda medida com os amortecedores magnéticos, anotando as velocidades na tabela dos dados.


7.4.2. Parte II: Amortecedores de Velcro

4. Mude a colisão girando os carros de tal maneira que os amortecedores de Velcro fiquem frente a frente. Os carros devem ficar juntos após a colisão.

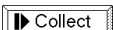
Física Experimental I - EE

Profa. Maria Letícia Vega, Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

Pratique fazer uma colisão nova, começando outra vez com carro 2 em repouso.

5. Clique  para começar a tomada de dados e repita uma nova colisão. Usando o procedimento na etapa 9, meça e anote as velocidades do carro em sua tabela dos dados.
6. Repita a etapa precedente como uma segunda medida com os amortecedores de Velcro.

7.4.3. Parte III: Do Velcro aos amortecedores magnéticos

7. Posicione um carro com amortecedor de Velcro em frente ao outro carro com amortecedor magnético. Os carros não grudarão, mas não se separarão bruscamente. Pratique esta colisão, começando outra vez com carro 2 em repouso.
8. Clique  para começar o levantamento de dados e repita uma nova colisão. Usando o procedimento em etapa 9, meça e anote as velocidades do carro em sua tabela dos dados.
9. Repita a etapa anterior como uma segunda medida com o Velcro em frente aos amortecedores magnéticos.

Massa do carro 1 (kg)		Massa do carro 2 (kg)		
Medida	Velocidade do carro 1 antes da colisão (m/s)	Velocidade do carro 2 antes da colisão (m/s)	Velocidade do carro 1 após a colisão (m/s)	Velocidade do carro 2 após a colisão (m/s)
1		0		
2		0		
3		0		
4		0		
5		0		
6		0		

Medida	Momento do carro 1 antes da colisão (kg·m/s)	Momento do carro 2 antes da colisão (kg·m/s)	Momento do carro 1 depois da colisão (kg·m/s)	Momento do carro 2 depois da colisão (kg·m/s)	Momento total antes da colisão (kg·m/s)	Momento total depois da colisão (kg·m/s)	Razão do momento total <i>antes</i> / <i>depois</i>
1		0					
2		0					
3		0					
4		0					
5		0					
6		0					

Física Experimental I - EE

Profa. Maria Letícia Vega, Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

Medida	KE do carro 1 antes da colisão (J)	KE do carro 2 antes da colisão (J)	KE do carro 1 depois da colisão (J)	KE do carro 2 depois da colisão (J)	KE total antes da colisão (J)	KE total após a colisão (J)	Razão de KE total $\frac{\text{antes}}{\text{depois}}$
1		0					
2		0					
3		0					
4		0					
5		0					
6		0					

7.5. Análise

- Determine o momento (mv) de cada carro antes da colisão, após a colisão, e o momento total antes e depois da colisão. Calcule a relação do momento total após a colisão com o momento total antes da colisão. Incorpore os valores a sua tabela dos dados.
- Determine a energia cinética ($\frac{1}{2} mv^2$) para cada carro antes e depois da colisão. Calcule a relação da energia cinética total após a colisão e a energia cinética total antes da colisão. Incorpore os valores a sua tabela dos dados.
- Se o momento total para um sistema é o mesmo antes e depois da colisão, nós dizemos que o momento é *conservado*. Se o momento foi conservado, qual seria a relação do momento total após a colisão com momento total antes da colisão?
- Se a energia cinética total para um sistema é o mesmo antes e depois da colisão, nós dizemos que a energia cinética é *conservada*. Se a energia cinética foi conservada, o que seria a razão entre a energia cinética total após a colisão e a energia cinética total antes da colisão?
- Para suas seis medidas, inspecione as razões do momento. Mesmo se o momento é conservado para uma dada colisão, os valores medidos não podem ser exatamente os mesmos antes e depois devido à incerteza de medida. No entanto, a razão deve ser próxima a um. O momento é conservado em suas colisões?
- Repita a pergunta precedente para o caso da energia cinética. A energia cinética é conservada nas colisões com amortecedores magnéticos? E com os amortecedores de Velcro? A energia cinética é consumida no terceiro tipo de colisão? Classifique os três tipos de colisão como elásticos, inelásticos, ou completamente inelástico.

PRÁTICA 8. 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 13. Esse sistema é chamado de *pêndulo físico*.¹

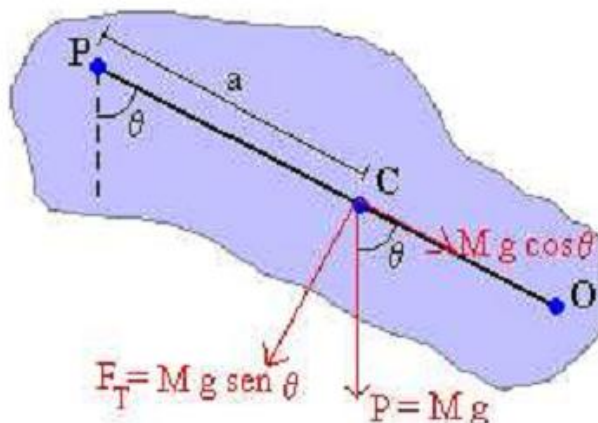


Figura 13: Pêndulo físico.

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:

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

8.1. 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.

8.2. Material

- | | |
|---------------------------|----------------------------------|
| • Computador | • Dois tripés |
| • Interface Universal Lab | • Uma barra de 1m de comprimento |
| • Logger <i>pro</i> | • Duas hastes finas de 75 cm |
| • Foto-sensor Vernier | • Três castanhas |

8.3. Questões preliminares

- Calcule o momento de inércia para uma barra fina e homogênea em relação a um eixo perpendicular à barra, passando pelo centro de massa.
- 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 .
- Da expressão obtida acima, calcule T para $a \rightarrow 0$.
- Faça o mesmo para $a \gg L$.
- 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.

8.4. Procedimento experimental







Figura 14: Aparato experimental para o pêndulo físico.

- Inicialmente, monta-se o sistema ilustrado na Figura 14 acoplando as duas hastes de 100 cm nos dois tripés, na vertical.
- 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
- 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*.
- 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.

Física Experimental I - EE

Profa. Maria Letícia Vega, Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

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.

Deslocamento a partir do centro de massa, a (cm)	Período médio, T (s)	Momento de inércia, I ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)
50		
45		
40		
35		
30		
25		
20		
15		
10		
5		
0		

8.5. 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

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

9. Um de seus gráficos suporta esta relação? Explique. (Sugestão: Pode o termo entre parênteses ser tratado como uma constante da proporcionalidade?)
10. Compare os valores de I calculados a partir da definição de momento de inércia para corpos contínuos.^{§§}
11. 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 9. 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

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

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 15: Sistema massa-mola em MHS.

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 d 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

Física Experimental I - EE

Profa. Maria Letícia Vega, Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

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.

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

9.2. 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





9.3. Questões preliminares

- a) 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.
- b) 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.
- c) 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.

- d) 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.
- e) A partir de seu gráfico da altura contra o tempo, esboce um gráfico da velocidade contra o tempo.
- f) Esboce gráficos da energia cinética e da energia potencial elástica contra o tempo.


9.4. 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 15. 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.
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


Física Experimental I - EE

Profa. Maria Letícia Vega, Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

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.
14. Você usará isso para responder algumas questões da Análise. Por isso antes de continuar vai ao item 9.5 e veja os subitens *a* ao *j*








Agora examinemos as energias referentes ao MHS:

12. Monte o sistema massa-mola com uma massa de 200 g tal como mostrado na Figura 15. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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

Física Experimental I - EE

Profa. Maria Letícia Vega, Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI


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.

16. Clique  para iniciar a coleta de dados. Suspenda 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.
17. 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.
18. Remova a massa de 300 g e recoloque a massa de 200 g para os experimentos seguintes.
19. 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 . Semelhantemente, mude a constante elástica da mola que você determinou acima para o valor 5,0 na coluna energia potencial.
20. 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.
21. 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.
22. Não se esqueça de ver item 9.5



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

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

9.5. Análise

- 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?
- 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?
- A frequência, f , parece depender da amplitude do movimento? Você tem dados suficientes para chegar a uma conclusão definitiva?
- A frequência, f , parece depender da massa usada? Ela mudou muito em seus testes?
- 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

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

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.

- g) 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.
- h) 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.
- i) Similarmente, preveja como o gráfico do modelo deve mudar se você dobrar a frequência f , e então verifique modificando a definição do modelo.

Com relação à energia no MHS:

- j) Clique no eixo y do gráfico da velocidade e escolha outra coluna para fazer o gráfico. Desmarque a coluna da velocidade e selecione as colunas da energia cinética e potencial. Clique para fazer um novo gráfico.
- k) 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.
- l) 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.
- m) 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.
- n) 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?

9.6. Extensões

- I. 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.
- II. 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?
- III. Realize experimentos adicionais para descobrir a relação entre a massa e o período deste movimento.

PRÁTICA 10. 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:

$$E = \frac{Q}{\Delta t}$$

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**.

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

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:

$$\sum_{i=1}^N \Delta Q_i = 0.$$

10.1. Parte I: CAPACIDADE CALORÍFICA DE UM CALORÍMETRO

10.1.1. Objetivos

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

10.1.2. Materiais

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

10.1.3. 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.
2. Espere este sistema entrar em equilíbrio térmico e meça a temperatura no interior do calorímetro.
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.
4. Espere o sistema entrar em equilíbrio e meça sua temperatura final.
5. Determine a capacidade térmica do calorímetro.
6. Repita os passos 1 a 5 três vezes e coloque ao dados numa tabela

	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Valor médio	σ (desvio padrão da medida)
m_1					
T_1					
m_2					
T_2					
T_f					
$C_{\text{calorímetro}}$					

10.2. Parte II: CALOR ESPECÍFICO E CAPACIDADE CALORÍFICA DE UM SÓLIDO

10.2.1. Objetivos

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

10.2.2. Material

- Calorímetro
- Água e gelo
- Placa de aquecimento
- Termômetro

- Um pedaço pequeno de metal

10.2.3. 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.
2. Espere este sistema entrar em equilíbrio térmico e meça a temperatura no interior do calorímetro.
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.
4. Espere o sistema entrar em equilíbrio e meça sua temperatura final.
5. Determine o calor específico do metal e compare com o valor tabelado. Houve alguma diferença? Justifique.

	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Valor médio	σ (desvio padrão da medida)
m_1					
T_1					
m_2					
T_2					
T_f					
C_{metal}					

10.3. Parte III: CALOR LATENTE DE FUSÃO DO GELO

10.3.1. Objetivos

- Determinar o calor latente de fusão do gelo.

10.3.2. Material:

- Calorímetro
- Proveta de 500 ml
- Termômetro
- Cubeta plana ou prato
- Papel de filtro
- Gelo em pedaços
- Água

10.3.3. Procedimento experimental

Física Experimental I - EE

Profa. Maria Letícia Vega, Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

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 100 ml ($\rightarrow m_1$) de água, ligeiramente morna (40 a 45°C). Observe e anote a temperatura do calorímetro (T_1) em equilíbrio.
3. Coloque no calorímetro alguns pedaços de gelo fundido (m_2), não se esqueça de pesar. 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 (T_f) de equilíbrio.
6. Meça o volume total de água do calorímetro, para se obter a massa do gelo fundido.
7. Finalmente, calcule o calor latente de fusão.
8. Repita o experimento mais duas vezes e calcule o valor médio de L_f .
9. Sabendo que $L_{f,\text{água}} = 80 \text{ cal}$, determine o erro percentual de sua medida, se houver.^{***}

	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Valor médio	σ (desvio padrão da medida)
m_1					
T_1					
m_2					
T_2					
T_f					
C_{metal}					

10.4. Análise

- a) Estabeleça a definição da grandeza calor específico para uma dada substância.
- b) Explique a grande diferença entre os valores do calor específico, respectivamente, a pressão e volume constante, para os gases, enquanto para os sólidos e líquidos esta diferença é pequena e, em geral, desprezada.
- c) A água é um dos principais elementos moderadores da temperatura à superfície da Terra. Justifique.
- d) Como justifica que, aquecendo certa quantidade de água, a temperatura se mantenha constante enquanto a água está em ebulição?

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

PRÁTICA 11. EQUIVALENTE MECÂNICO 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:

$$Q = \frac{V^2 t}{R}, \text{ expreso em joules.}$$

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

$$Q_a = c(m_a + m_e)(T_f - T_i), \text{ expreso em calorias.}$$

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) expresa 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.

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

11.1. 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.

11.2. 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

11.3. 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.

$$m_e = \underline{\hspace{2cm}} \quad \text{ou } E = \underline{\hspace{2cm}}$$

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.
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.

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

Física Experimental I - EE

Profa. Maria Letícia Vega, Prof. Heurison S. Silva, Depto. de Física, CCN, UFPI

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

$$\bar{x} = \frac{x_1+x_2+x_3+\dots+x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

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:

$$\delta x = \frac{\delta x_1+\delta x_2+\delta x_3+\dots+\delta x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \delta x_i}{n}$$

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

$$x_{exp} = \bar{x} \pm \delta x.$$

Exemplo1: 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:

$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^6 v_i}{6} = \frac{235+254+236+248+235+243}{6} = 241,83 \text{ km/h}$$

E o desvio para cada medida é:

δv_1	δv_2	δv_3	δv_4	δv_5	δv_6
= 235,00 - 241,83 = - 6,83	= 254,00 - 241,83 = 12,17	= 236,00 - 241,83 = - 5,83	= 248,00 - 241,83 = 6,17	= 235,00 - 241,83 = - 6,83	= 243,00 - 241,83 = 1,17

Portanto,

$$\delta v = \frac{-6,83+12,17-5,83+6,17-6,83+1,17}{6} = 0,003 \text{ km/h.}$$

Enfim, o valor da velocidade média alcançada é

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

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, $X_{teórico}$, e o valor medido, também chamado valor experimental, X_{exp} . Ele é definido como segue:

$$Er\% = \frac{|X_{teórico} - X_{exp}|}{X_{teórico}} \times 100.$$

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 2: Como exemplo, suponhamos 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:

$$Er\% = \frac{|248,00 - 241,83|}{248,00} \times 100 = 2,49\%.$$

Assim, o valor verificado é perfeitamente aceitável.

Vale lembrar que as informações contidas neste texto são apenas orientações simplificadas, sem o rigor que concerne a completa Teoria Estatística. O objetivo é auxiliar na confecção dos relatórios. Textos mais rigorosos podem ser encontrados na literatura.²

Apêndice C: Calibração do dinamômetro

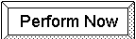



O procedimento de calibração do sensor-força (dinamômetro) deve ser realizado sempre que for solicitado durante a prática. O procedimento de calibração é o que segue:

1. Escolha *Calibrate* a partir do menu *Experiment*. Clique no ícone PORT 1 (DIN 1 de maneira que ele fique aceso. Clique .
2. Remova toda e qualquer força do sensor. Digite **0** (zero) no campo *Value 1*. Mantenha o sensor verticalmente com o gancho apontando para e aguarde a leitura mostrada no *Input 1* estabilizar. Clique . Isto define a condição de força zero.
3. Prenda uma massa de 500 g no dinamômetro. Isto aplica uma força de 4,9 N. digite **4.9** no campo *Value 2*, e apos a leitura mostrada no *Input 1* ficar estável, clique . Clique para encerrar a caixa de calibração.

Apêndice D: Calibração do acelerômetro

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

Clique no ícone *Acceleration* que aparece no DIN 2.

- Clique no botão .
- Aponte a seta do acelerômetro para baixo. (É importante que o sensor esteja na vertical e em absoluto repouso.)
- Digite – **9.8** no *Value 1* da caixa de edição.
- Quando a voltagem mostrada em *Input 1* estabilizar, clique .
- Aponte o acelerômetro com a seta para cima.
- Digite **9.8** no *Value 2* da caixa de edição.
- Quando a voltagem mostrada em *Input 2* estabilizar, clique , e então clique .

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 Otaviano A. M. Helene; Vito R. Vanin; TRATAMENTO ESTATÍSTICO DE DADOS, Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 1981.