

MECÂNICA

INTRODUÇÃO

No segundo ano do ensino médio, propõe-se o estudo de Mecânica. Segundo o documento de reorientação curricular,

“A Mecânica, que envolve conceitos mais abstratos e difíceis, foi deixada para a segunda série, quando os alunos já têm uma certa maturidade e conseguem usar a matemática com maior segurança. Esta escolha também torna possível tratar a Mecânica de forma um pouco mais profunda que a usual.”

Os tópicos sugeridos estão listados a seguir. Eles são divididos em subitens, quatro deles obrigatórios: a descrição do movimento, forças, força e movimento e conservação de energia, e mais dois a escolha do professor: conservação da quantidade de movimento e hidrostática.

A descrição do movimento

- Posição e tempo; trajetória.
- Velocidade e aceleração.
- Representações gráficas do movimento.

Forças

- Intensidade, direção e sentido das forças. Vetores.
- A soma de forças.
- Exemplos: forças de contato e atrito, peso, forças eletromagnéticas.
- Ação e reação.
- Equilíbrio.

Força e movimento

- As leis de Newton
- O conceito de massa.
- Movimento de uma partícula livre.
- Movimento sob uma força constante; projéteis

- Movimento circular. *
- Gravitação universal. *
- Movimento oscilatório. *

Conservação da energia

- Trabalho e potência.
- Energia cinética.
- Energia potencial.
- Conservação da energia mecânica.

Conservação da quantidade de movimento *

- Impulso.
- Quantidade de movimento.
- A terceira lei de Newton e a conservação da quantidade de movimento.

Hidrostática *

- Pressão em fluidos.
- O princípio de Pascal.
- Empuxo e o princípio de Arquimedes.

Todos os tópicos de mecânica foram discutidos durante as atividades do curso, mas nem todos são assunto de roteiros. Apresentamos a seguir dois roteiros sobre movimentos unidimensionais, ambos envolvendo experimentos com características bastante diferentes, um roteiro discutindo a resolução de problemas em mecânica, com exemplos resolvidos, um roteiro com um guia experimental para formular a lei de Hooke, e um aplicativo computacional para visualizar o movimento oscilatório.

ROTEIRO 14: CORRIDAS E GRÁFICOS

Roteiro do professor 14

Este roteiro refere-se ao primeiro tópico, a descrição do movimento em uma dimensão. Em geral, este assunto é exaustivamente discutido e pouco aprendido. As dificuldades parecem ser matemáticas. Afinal, os alunos não dominam completamente as idéias de função, gráficos, não sabem resolver facilmente equações. Mas talvez o problema não seja exclusivamente matemático; as idéias intuitivas de velocidade e aceleração são de difícil compreensão, pois são “taxas de variação temporal” – a velocidade é a “taxa de variação no tempo da posição”, e devem ser discutidas apenas com a matemática conhecida pelos alunos.

No entanto, todas estas idéias estão presentes no dia a dia, mesmo que sem formalização. O que se propõe neste roteiro é apresentar um exercício em que o aluno tem que associar um movimento que ele realiza com o seu corpo – andar, correr, ficar parado – com um gráfico que ele tem nas mãos.

O começo é explorar que há uma diferença entre a idéia de trajetória – uma linha no espaço, ou em duas dimensões – e os gráficos de posição (do movimento em uma dimensão) como função do tempo. A seguir, tenta-se relacionar os conceitos de inclinação de uma reta, velocidade média, com os movimentos que o aluno tem que fazer.

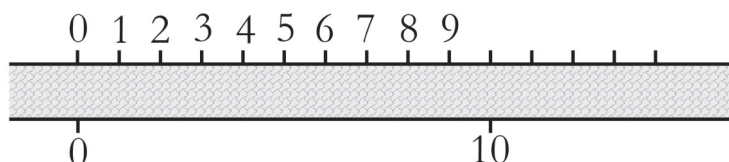
Esta atividade deve, preferencialmente, ser proposta como uma discussão em espaço aberto, como um desafio para grupos.

O roteiro do aluno apresenta 5 atividades: a montagem de uma pista de corrida, e a realização de 3 movimentos de acordo com gráficos propostos. Nestes gráficos, há unidades e sugere-se que elas sejam respeitadas. A quinta atividade propõe que o aluno realize um movimento, e a seguir o desenhe num gráfico. São feitas perguntas a respeito de velocidade média e deslocamentos.

Roteiro do aluno 14: Corridas e gráfico

Atividade 1 – Para a trajetória, uma pista de corrida

Vamos marcar uma pista de corrida no chão. Esta pista deve ser retilínea, e com marcações de 0 a 10 passos (como se fosse uma pista real de corrida, com as unidades sendo os passos).

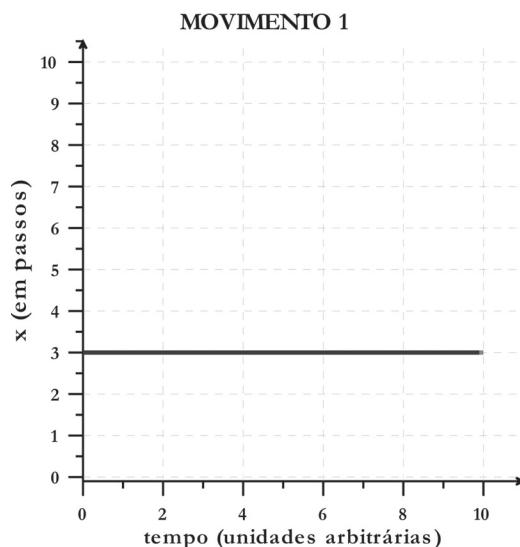


Precisamos também de um marcador de tempo – pode ser: um pêndulo, um grupo batendo palmas ritmadamente, um metrônomo, ou qualquer outro “instrumento” de medida de tempo.

A seguir, em grupos, vamos nos movimentar como indicado nos gráficos abaixo.

Atividade 2 – Primeiro Movimento

Percorra a pista como no gráfico a seguir.

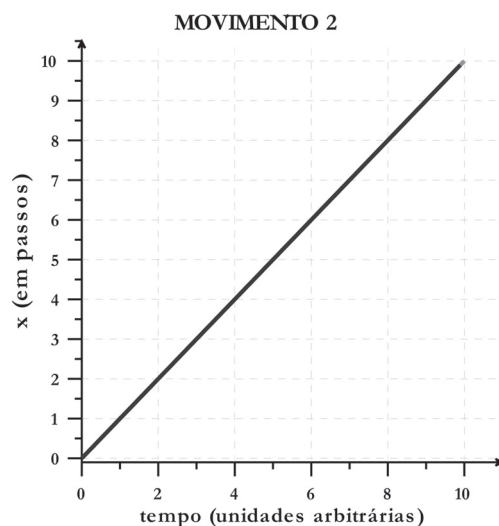


Perguntas:

- 1) Qual a trajetória que você percorreu?
- 2) Qual a sua posição no instante inicial ($t=0$)?
- 3) Qual a sua posição no instante correspondente a 4,5 unidades de tempo?
- 4) Qual a sua velocidade média neste intervalo de tempo?

Atividade 3 – Segundo Movimento

Percorra a pista como no gráfico abaixo.

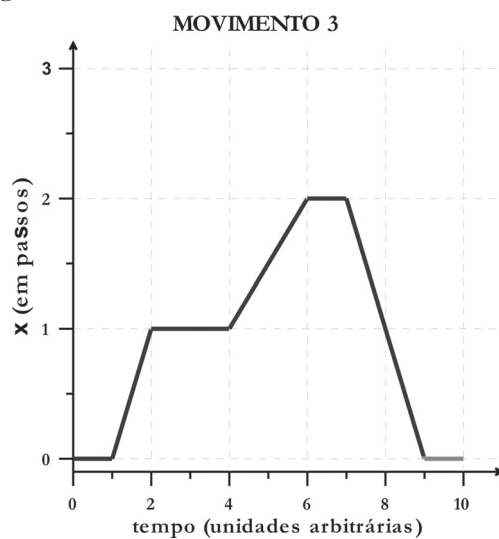


Perguntas:

- 1) Qual a trajetória que você percorreu?
- 2) Qual a sua posição no instante inicial ($t=0$)?
- 3) Qual a sua posição no instante correspondente a 10 unidades de tempo?
- 4) Qual a sua posição no instante correspondente a 4,5 unidades de tempo?
- 5) Qual a sua velocidade média neste intervalo de tempo?
- 6) A sua velocidade foi constante ou variou? Se foi constante, quanto ela valia no instante 5 unidades?

Atividade 4 – Terceiro Movimento

Percorra a pista como no gráfico abaixo.



Perguntas:

- 1) Qual a trajetória que você percorreu?
- 2) Qual a sua posição no instante inicial ($t=0$)?
- 3) Qual a sua posição no instante correspondente a 10 unidades de tempo?
- 4) Qual a sua posição no instante correspondente a 4,5 unidades de tempo?
- 5) Qual a sua velocidade média no intervalo de tempo de 0 a 10 unidades de tempo?
- 6) Qual a sua velocidade média no intervalo de tempo de 0 a 5 unidades de tempo?
- 7) Qual a sua velocidade média no intervalo de tempo de 2 a 4 unidades de tempo?
- 8) A sua velocidade foi constante ou variou?

Atividade 5 – Crie seu movimento

Agora você deve fazer um movimento qualquer ao longo da pista. Depois, represente-o num gráfico.

ROTEIRO 15: A ARRUELA GIRATÓRIA

Roteiro do professor 15

Esta atividade está associada à discussão do primeiro item de mecânica, a descrição do movimento. Em particular, o movimento em uma dimensão com velocidade constante.

O experimento proposto corresponde a colocar uma arruela num parafuso sem fim (de cerca de um metro) e observar o seu movimento de queda. Os alunos devem registrar, usando um cronômetro para medir tempo e uma régua para medir distâncias, as posições em que a arruela passa em cada instante escolhido.

A seguir, eles devem fazer um gráfico em papel milimetrado da posição da arruela como função do tempo e interpretá-lo. Em geral, o movimento descrito é uniforme. É importante fazer a determinação da velocidade de queda da arruela a partir do gráfico.

Sugere-se que seja feita uma discussão muito cuidadosa da escolha do eixo coordenado – se a arruela está caindo, o eixo apropriado é o eixo vertical, mas o sentido escolhido pode ser para cima ou para baixo. Na figura, o eixo está para baixo. O ponto considerado o zero da escala também deve ser escolhido. Com a escolha do sentido para baixo, a velocidade deverá ser positiva (a variação da posição é da menor para a maior). Deve-se sugerir a pelo menos um grupo que faça o experimento escolhendo o sentido do eixo para cima – e depois partilhar os resultados desta escolha com o restante da turma.

Roteiro do aluno 15: A arruela giratória

Objetivo

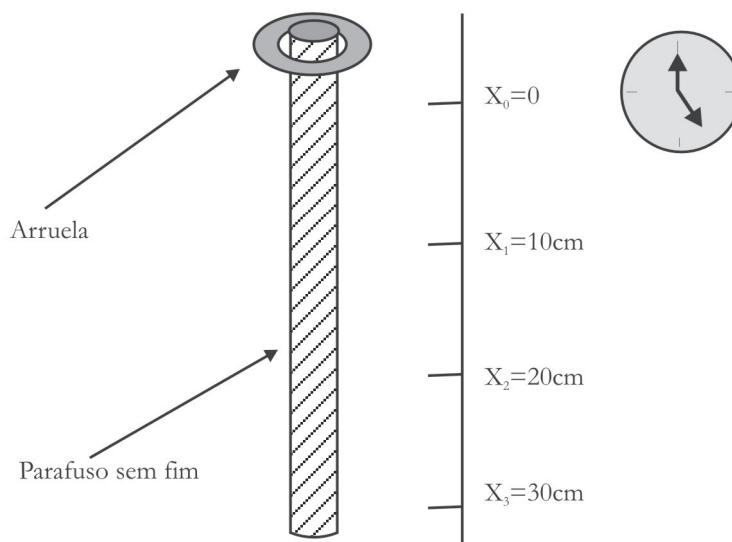
Observar e analisar o movimento de queda de uma arruela num parafuso.

Material

- 1 parafuso de aproximadamente 1 metro
- uma arruela um pouco maior que a dimensão do parafuso
- folhas de papel milimetrado
- um cronômetro
- lápis, régua e borracha

Atividade Experimental

1. Coloque o parafuso na direção vertical.
2. Insira a arruela no extremo superior do parafuso, como na figura.



3. Com o cronômetro na mão, solte a arruela e vá marcando num papel colocado atrás do parafuso a posição que a arruela está em intervalos de tempo iguais (por exemplo, a cada 3 segundos).
4. Ao final da descida, retire o papel de trás do parafuso. Escolha uma origem para o eixo que descreve o movimento da arruela, e escolha o sentido (para um lado ou para o outro).

5. Meça, com uma régua, as posições da arruela em cada instante marcado. Construa uma tabela com esses valores. Não se esqueça que essas medidas tem incerteza, e que você não pode, nessas condições, escrever algo como 20,00 cm. Discuta o porquê com seus colegas e com o professor.
6. Trace um gráfico, em papel milimetrado, das posições da arruela (medidas com a régua) como função do tempo (medido com o cronômetro). Trace uma linha (reta ou curva?) que descreva da melhor forma possível o movimento descrito.
7. Você consegue obter a velocidade da arruela? O movimento observado é uniforme?

ROTEIRO 16: A MESA DE FORÇAS

Roteiro do professor 16

No segundo ano do ensino médio, é discutida uma das idéias centrais da física clássica: que forças são interações entre corpos, e que elas são responsáveis pela mudança na velocidade dos corpos (e não as responsáveis por mudanças na posição dos objetos, como parece ser a experiência concreta dos alunos com o mundo, empurrando cadeiras e similares). O conceito de força pode ser concretizado através, por exemplo, de empurrões e puxões.

Na discussão a respeito de forças, é preciso ficar bem claro para os alunos que as forças são grandezas vetoriais. Mas vetores não são estudados diretamente no ensino médio. A sugestão é trabalhar os conceitos matemáticos juntando as idéias já construídas de representação cartesiana no plano e de trigonometria. Isso pode ser feito através de experimentos reais e virtuais.

Sugere-se que sejam feitas a construção e calibração de um dinamômetro, ou pelo menos explicado o seu funcionamento e calibração.

As atividades aqui sugeridas não apresentam roteiros para os alunos, apenas sugestões de roteiro para que o professor as adapte ao equipamento que dispõe.

Uma mesa de forças

A mesa de forças é um dispositivo construído para equilibrar forças. Há vários laboratórios que possuem exemplares.

Você pode também construir uma, usando

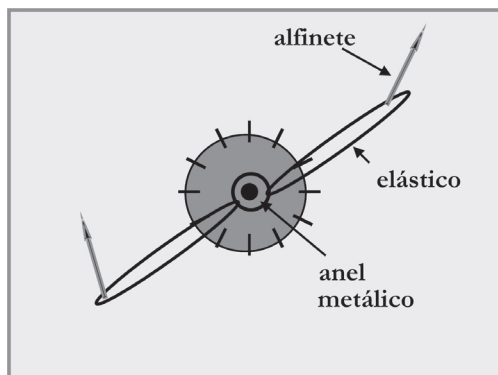
papelão rígido (cerca de 2 mm de espessura) de cerca de 40cm por 40 cm

um desenho no centro como o de um transferidor (um adesivo representando um transferidor, com a marcação dos ângulos, é suficiente; pode-se também colar um transferidor de 360 graus)

um alfinete (ou prego, tachinha) no centro e um anel metálico solto em volta dele

elásticos e alfinetes para esticar os elásticos

montando como na figura abaixo.



Para utilizá-la, prenda o elástico no anel e estique o elástico, prendendo-o após esticar na direção desejada com um alfinete ou tachinha. As forças são representadas por vetores (segmentos de reta orientados) na direção do elástico, apontando para fora do centro.

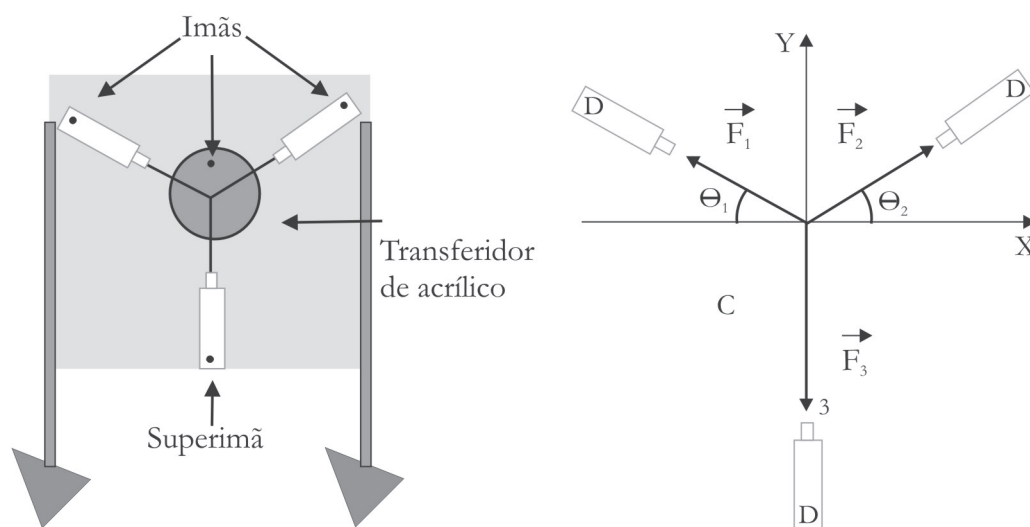
Esta “mesa de forças” só pode ser utilizada para fazer medidas qualitativas. Para conseguir medir as forças aplicadas, alguma engenhosidade de sua parte deve ser utilizada (dinamômetros, roldanas com pesos, etc).

Se você tem acesso a uma mesa de forças: sugerimos as duas atividades a seguir.

Atividade 1

Equilíbrio de 3 forças coplanares concorrentes

Na figura, mostramos um exemplo de mesa de força à esquerda e a representação esquemática, à direita.

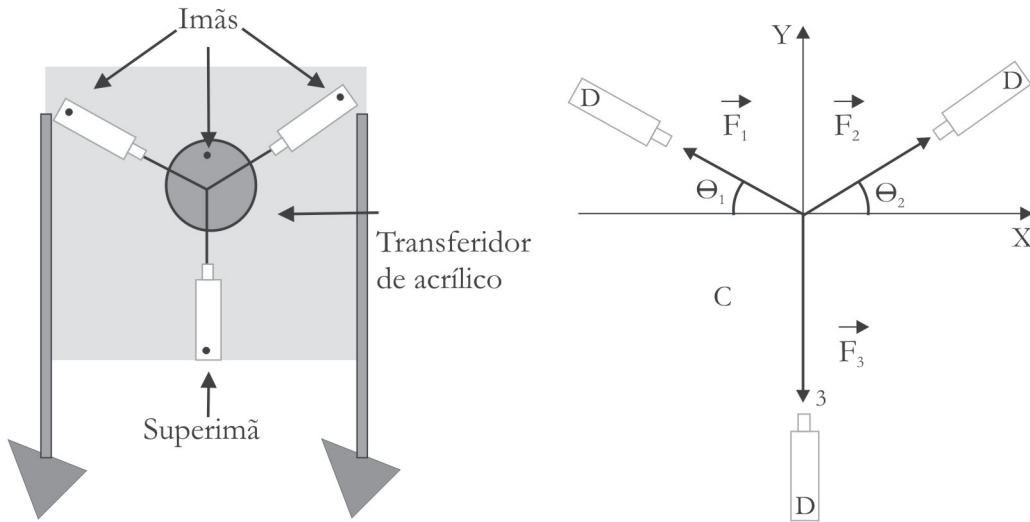


1. Coloque na mesa de forças três forças \vec{F}_1 , \vec{F}_2 , \vec{F}_3 como na figura. Meça com um dinamômetro cada uma das intensidades.
2. Obtenha os ângulos θ_1 e θ_2 que equilibram o sistema (para que a resultante das três forças seja nula).
3. Quanto vale a resultante das forças \vec{F}_1 e \vec{F}_2 ?

Atividade 2

Equilíbrio de 3 forças coplanares concorrentes – componentes de uma força.

Na figura, mostramos um exemplo de mesa de força à esquerda e a representação esquemática, à direita.



1. Movimente os dinamômetros de forma a conseguir que o ponto de concorrência das forças situe-se no centro da escala angular e que os ângulos medidos em relação ao eixo positivo dos X, sejam $\theta_1 = 30^\circ$ e $\theta_2 = 30^\circ$ (o ângulo entre as forças será de 120°).

2. Complete a Tabela 1 medindo diretamente os valores das intensidades das forças (com o dinamômetro) e os ângulos (com o transferidor).

Tabela 1

$ \vec{F}_1 $	$ \vec{F}_2 $	$ \vec{F}_3 $	θ_1	θ_2
(N)	(N)	(N)	(graus)	(graus)

3. Decomponha as forças \vec{F}_1 , \vec{F}_2 e \vec{F}_3 segundo os eixos x e y .

As componentes das forças são respectivamente:

$$F_{1x} = -F_1 \cos\theta_1 ; F_{1y} = F_1 \sin\theta_1$$

$$F_{2x} = F_2 \cos\theta_2 ; F_{2y} = F_2 \sin\theta_2$$

$$F_{3x} = 0 ; F_{3y} = -F_3$$

4. Calcule os valores das componentes e complete a Tabela 2 abaixo:

Tabela 2

F_{1x}	F_{2x}	F_{3x}	F_{1y}	F_{2y}	F_{3y}	$F_{1x} + F_{2x}$	$F_{1y} + F_{2y}$

5. Compare as componentes da soma das forças \vec{F}_1 e \vec{F}_2 obtidas por cálculo indireto (Tabela 2) com as componentes da força \vec{F}_3 medida diretamente (Tabela 1).

6. Observe que seus resultados não são exatamente idênticos. Como você explicaria isso?

Se você construiu a mesa de forças sugerida, propomos as atividades a seguir.

Atividade 3

Estique dois elásticos com alfinetes, em duas direções perpendiculares entre si. Descubra qual a direção de uma terceira força que equilibre as outras duas.

Atividade 4

Com três elásticos para simular três forças, descubra as situações de equilíbrio possíveis.

Atividade complementar – virtual

Entre na página www.if.ufrj.br/~marta/aplicativos/aplicativos.html e acesse o aplicativo “soma de vetores 2”.

Para usá-lo, leia as instruções nos comentários.

Considere cada um dos vetores indicados como sendo uma força. Mude as coordenadas de forma tal que a resultante seja nula.

ROTEIRO 17: AS LEIS DA MECÂNICA E A RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

Roteiro do professor 17

Ao ensinar mecânica, observamos a extrema dificuldade dos alunos em entender o modo de raciocínio utilizado nas atividades e problemas. “Que tipo de problema é esse?”, “Qual a fórmula que eu uso?” são algumas das perguntas que ouvidas com muita frequência.

Com o objetivo de apresentar as idéias de forma mais sólida, elaborou-se um “manual de resolução de problemas de mecânica”. Este manual é na verdade uma sistematização da maneira como os professores, com mais experiência no assunto, resolvem os problemas.

Após a apresentação deste “manual”, apresentamos duas atividades na forma de demonstrações experimentais que simulam problemas frequentemente encontrados pelos estudantes.

Atividade 1

Manual de resolução de problemas em mecânica

1. Leia o problema. Faça um esquema (mental ou no papel) do problema.
2. Escolha qual o objeto do sistema (ou quais os objetos) cujo movimento você vai analisar, e quem é o observador que vai descrever este movimento. Suponha que o corpo escolhido possa ser tratado como uma partícula.
3. Isole o objeto (ou cada um dos objetos).
4. Verifique com que outros objetos o seu corpo está interagindo, e represente cada uma dessas interações por um vetor força.
5. Aplique as leis da física.
6. Resolva as equações que você escreveu ao aplicar as leis.
7. Obtenha o resultado pedido.
8. Verifique se seu resultado faz sentido: se ele tem as dimensões (unidades) corretas e se ele não é absurdo numericamente.

Comentário sobre cada item.

1. Muitas vezes os estudantes não lêem o problema com atenção. Também, ao não criarem o hábito de desenhar no papel um esquema do problema, têm mais dificuldade do que o necessário.

2. Se o sistema analisado possui dois corpos que não se movem entre si, tanto faz tratar os dois corpos como um corpo só como tratar os dois separadamente. Mas a solução obtida é diferente em cada um dos casos, mesmo que a resposta seja a mesma. Escolher de maneira

consciente o objeto de estudo e o observador deve ser um hábito cultivado para a melhor compreensão dos problemas.

3. Esta frase é uma das frases mais citadas por professores de física, e pouquíssimo compreendida por seus alunos. Ao “isolar” o corpo, você está escolhendo uma forma de dividir o mundo – o objeto que você quer estudar e o resto.

4. A princípio, todo o “resto do mundo” pode agir sobre o objeto. As forças fundamentais existentes são de quatro tipos: gravitacional, eletromagnética, nuclear forte e nuclear fraca. No mundo macroscópico, ao qual a mecânica newtoniana pode ser aplicada, apenas as forças gravitacional e eletromagnética podem ser sentidas pelos objetos. No entanto, as forças eletromagnéticas resultam em “forças de contato”, pois o número de moléculas e átomos contidos nos objetos em interação é extremamente grande para permitir uma análise um a um. Portanto, falamos de força gravitacional (peso), sempre presente, e as forças presentes devido aos contatos com os outros corpos – as normais, trações, tensões, etc.

Só conhecemos a “lei de força” para o caso gravitacional. Para as outras forças, temos que observar o que está acontecendo para obter os valores das forças. Não existem fórmulas universais para calcular a força normal de contato, as tensões em cordas, ou os atritos.

5. As leis da física a serem aplicadas: após o desenho das forças, podemos aplicar a segunda lei de Newton, ou aplicar a conservação da energia mecânica (se não houver dissipações). O princípio é simples: escreva o que você sabe para tentar raciocinar a respeito.

6. A segunda lei de Newton é uma lei vetorial – portanto, precisa ser reescrita em componentes, por exemplo. As equações agora precisam ser resolvidas, e aí um conhecimento de métodos da matemática é fundamental. A sistematização das informações, o reconhecimento se é possível resolver o problema são questões absolutamente fundamentais.

7. Muitas vezes você não obtém diretamente o que é pedido – releia a questão.

8. Existem salas medindo 5 mm? Ou velocidades medidas em metros? Esta conferência deve fazer parte de nossos hábitos.

E um comentário geral: se você pretende utilizar este manual com seus alunos, use-o em sala sistematicamente para criar o hábito.

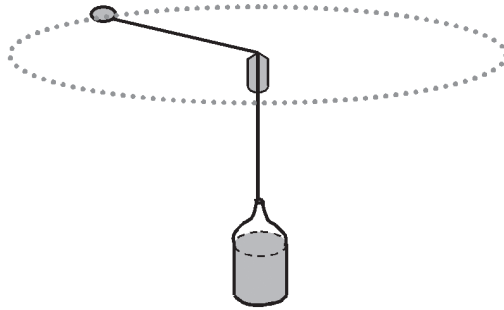
Atividade 2 – A “experiência da garrafa”

Um problema clássico, que deve ser resolvido após a demonstração experimental.

Um corpo de massa pequena m (uma bola de papel) gira (quase) horizontalmente, preso por um fio a um outro corpo de massa grande M (uma garrafa com água). O fio passa por um buraco (copo de iogurte) fazendo com que a garrafa fique pendurada verticalmente.

Caso 1: a garrafa não se move na vertical.

Caso 2: a garrafa sobe (ou desce).



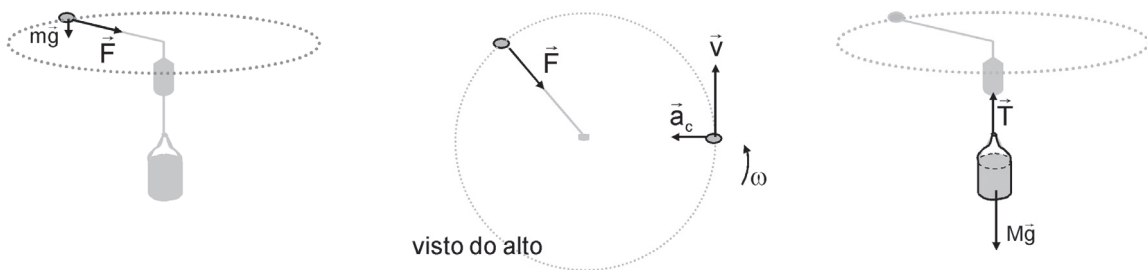
Isole os corpos e faça um diagrama das forças que agem sobre cada um dos corpos.

- No caso 1, obtenha a relação entre a velocidade angular de rotação da bola e a massa da garrafa.
- Quais as grandezas que precisam ser medidas nessa experiência para que você possa determinar a velocidade angular?
- Qual a menor velocidade angular de rotação que você deve imprimir à massa m para que a garrafa suba?
- Nos dois casos, qual a tração na corda?

Solução “usando o manual”

Os objetos que vamos analisar são a bola de papel (massa m) e a garrafa (massa M).

Isolamos a bola de papel e a garrafa, e indicamos na figura as interações sobre cada uma:



Sobre a bola de papel, a massa m , atuam:

a força de atração gravitacional da Terra, o peso $m\vec{g} \cong 0$ (hipótese: desprezar o peso da massa m)

a força de contato com a corda, \vec{F}

Sobre a garrafa, a massa M , atuam

a força de atração gravitacional da Terra, $M\vec{g}$

a força de contato com a corda, \vec{T}

A segunda lei de Newton para a bola fica: $\vec{F} \cong m\vec{a}$

A segunda lei de Newton para a garrafa é: $\vec{T} + M\vec{g} \cong M\vec{A}$

(a) A bola de massa m descreve um movimento curvilíneo. Se a garrafa não sobe nem desce, sua aceleração é a aceleração centrípeta do movimento circular uniforme:

$$a_c = \frac{v^2}{R}$$

e a segunda lei de Newton (no plano do movimento) fica $F = ma_c = m \frac{v^2}{R}$

Para a garrafa, escrevemos $\vec{T} + M\vec{g} = M\vec{A} \Rightarrow T - Mg = MA$

Se a garrafa está parada, $T - Mg = 0$

Supondo que a corda tenha massa desprezível, então $T = F$ e escrevemos

$$Mg = m v^2 / R$$

Como no movimento circular (onde ω é a velocidade angular, o ângulo percorrido por intervalo

de tempo), escrevemos $\omega = \frac{v}{R} = \sqrt{\frac{Mg}{mR}}$

(b) Para determinar a velocidade angular, precisamos das duas massas e do raio (o comprimento do fio entre o copo de iogurte e a bolinha de papel), além da aceleração da gravidade.

(c) Caso a garrafa suba, $T - Mg = MA > 0$ e portanto $T > Mg$ ou $m \frac{v^2}{R} > Mg$.

Em resumo, $\omega = \frac{v}{R} > \sqrt{\frac{Mg}{mR}}$.

(d) No primeiro caso, $T = Mg$. No segundo, $T > Mg$.

Perguntas sugeridas aos alunos

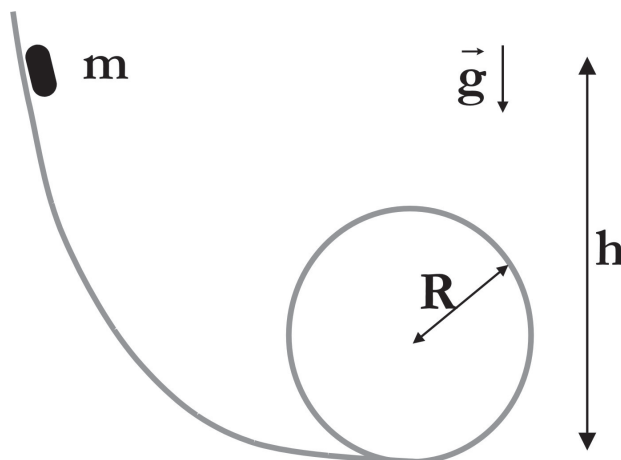
1. Como você justifica a troca dos sinais na equação

$$\vec{T} + M\vec{g} = M\vec{A} \Rightarrow T - Mg = MA ?$$

2. Qual a curva descrita pela bolinha de papel quando a garrafa está subindo?

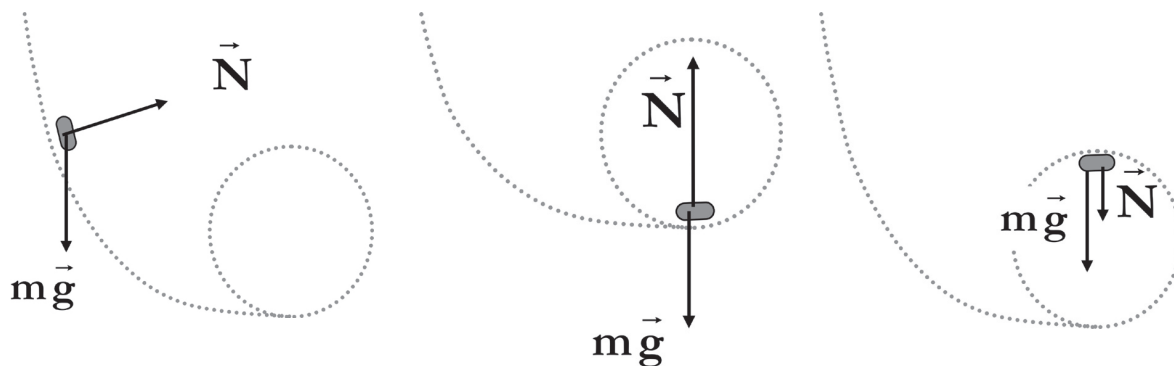
Atividade 3 – A montanha russa, ou o “loop”

Qual é a menor altura que deve-se soltar uma bolinha (ou um carrinho de montanha russa) para que ela consiga dar uma volta completa no loop (na montanha russa), supondo-se que os atritos sejam desprezíveis? São conhecidos o raio R do loop, a massa m da bolinha (ou do carrinho) e o valor da aceleração da gravidade, g .



Solução “segundo o manual”:

O corpo sob estudo é a bolinha (ou o carrinho). As forças que atuam sobre ele, em qualquer ponto da trajetória, são o peso (vertical e para baixo) e a força normal de contato com a superfície, que muda ponto a ponto em direção, módulo e sentido. Nas figuras abaixo, mostramos o diagrama das forças em vários momentos da trajetória.



A segunda lei de Newton fica (em qualquer instante): $m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$.

Neste problema, temos também a conservação de energia, pois a força normal não faz trabalho nesta trajetória. Então a energia mecânica, a soma da energia cinética com a energia potencial gravitacional, é constante. Se considerarmos o instante em que o corpo é largado da altura h e o ponto em que ele passa por qualquer posição a uma altura y do ponto mais baixo da trajetória, a equação da conservação da energia fica:

$$E = \text{const.} = mgh = mgy + \frac{1}{2}mv^2$$

Resolvendo o problema, agora, verificamos que para calcular a altura mínima de lançamento precisamos saber a velocidade com que ele passa por algum ponto. Vamos considerar o ponto mais alto dentro do loop: $y = 2R$. Substituindo na equação da conservação da energia, $mgh = 2mgR + \frac{1}{2}mv^2$. Neste ponto, a segunda lei de Newton diz que $m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$ ou, projetando ao longo da vertical para baixo, $mg + N = ma \Rightarrow N = ma - mg$.

Para que o corpo continue a se mover, sem cair, ele não pode chegar ao ponto mais elevado do loop com velocidade nula – se isso ocorrer, ele cai verticalmente. Ele precisa ter velocidade suficiente para continuar num movimento circular, o que significa que sua aceleração é a aceleração centrípeta do movimento circular, $a = a_c = mv^2/R$. Como a normal tem que ser maior ou igual a zero (por quê?), $N = ma - mg \geq 0 \Rightarrow v^2 \geq gR$. Substituindo na equação da conservação da energia, obtemos $mgh = 2mgR + \frac{1}{2}mv^2 \geq 2mgR + \frac{1}{2}mgR$. Em outras palavras, $h \geq \frac{5}{2}R$. Não basta $h = 2R$: neste caso, a bolinha chega no ponto mais alto do loop com velocidade nula e cai verticalmente.

Num último passo, olhamos para a resposta e verificamos que a altura mínima obtida tem dimensão de altura. E o resultado parece razoável, pois a altura mínima é um pouco maior do que a altura para chegar com velocidade nula.

ROTEIRO 18: A LEI DE HOOKE

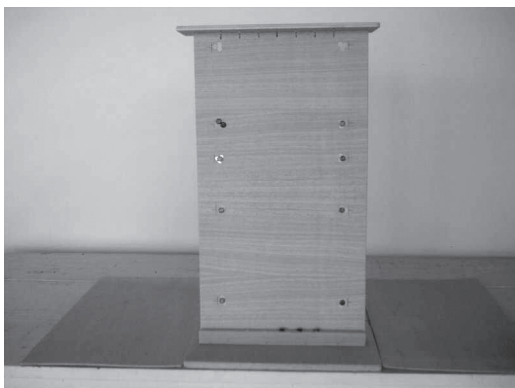
Roteiro do professor 18

Este roteiro propõe uma atividade experimental cujo objetivo é fazer com que o aluno formule a lei de Hooke. A realização de medidas e observações, a representação gráfica dos resultados pelos alunos pretendem que ele formule essa “lei”, compreenda a sua representação gráfica e perceba o significado da declividade do gráfico força versus deformação, dificuldade que geralmente enfrentamos em nossas aulas.

Pressupõe-se que os estudantes estejam aptos a plotar pontos no plano cartesiano e dominem os conceitos de razão e proporcionalidade. Caso sua turma apresente dificuldades quanto a esses conhecimentos, sugerimos uma breve revisão de tais conteúdos, para que o desenvolvimento da atividade transcorra sem maiores problemas.

O equipamento pode ser construído (a baixo custo). As fotografias da montagem estão a seguir. Verifique, antes de usar o roteiro, se as massas que você está utilizando tem o valor previsto no texto.

O roteiro do aluno é elaborado passo a passo, de forma que seja fácil segui-lo. Sugerimos que cópias sejam entregues a cada aluno, se possível, antes da atividade se iniciar.



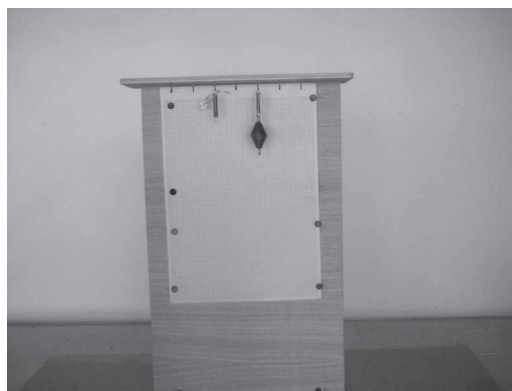
A montagem do suporte



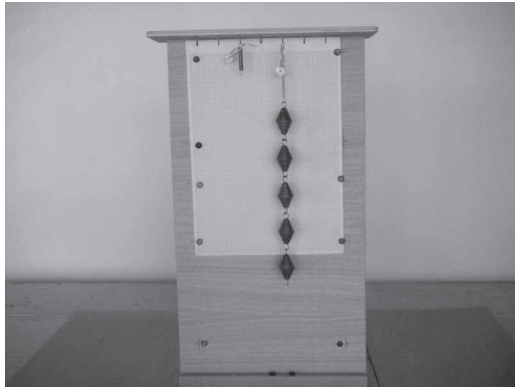
As massas



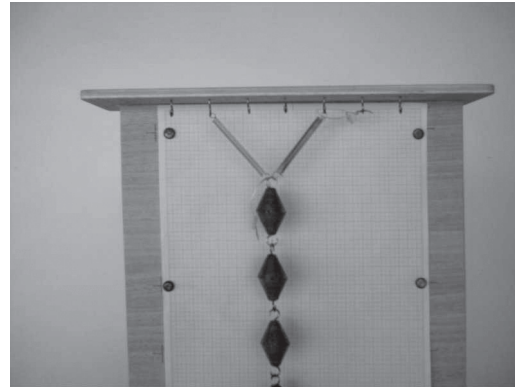
O suporte em detalhe



Uso com uma massa



Uso com cinco massas



Outras formas de uso

Roteiro do aluno 18 – A lei de Hooke

Em 1660, o físico inglês R. Hooke (1635-1703), observando o comportamento mecânico de uma mola, descobriu que as forças elásticas obedecem a uma lei muito simples. Com esta atividade, pretendemos que você descubra que lei é esta.

Para a realização da presente atividade, você está recebendo um “kit” que contém um quadro suporte, três molas e seis corpos de chumbo, cada um deles com massa de 200 g.

1) Observe as molas que constam no seu kit. Que observações você pode fazer a respeito das mesmas?

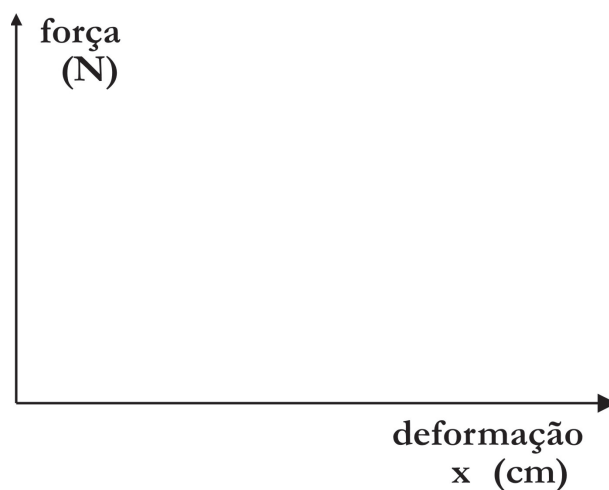
2) Pendure em cada mola os corpos de chumbo e meça as deformações provocadas na mola. Registre na tabela abaixo as medições que for realizando e complete as células em branco.

MOLA 1 – comprimento sem deformação:							
Nº de objetos pendurados na mola	Massa total dos objetos pendurados		Comprimento da mola deformada		Deformação provocada		Força aplicada na mola em Newtons (N)
	g	Kg	cm	m	cm	m	
01							
02							
03							
04							
05							
06							

MOLA 2 – comprimento sem deformação:							
Nº de objetos pendurados na mola	Massa total dos objetos pendurados		Comprimento da mola deformada		Deformação provocada		Força aplicada na mola em Newtons (N)
	g	Kg	cm	m	cm	m	
01							
02							
03							
04							
05							
06							

MOLA 3 – comprimento sem deformação:							
Nº de objetos pendurados na mola	Massa total dos objetos pendurados		Comprimento da mola deformada		Deformação provocada		Força aplicada na mola em Newtons (N)
	g	Kg	cm	m	cm	m	
01							
02							
03							
04							
05							
06							

3) Represente numa única folha de papel milimetrado, com um único par de eixos ordenados, usando cores diferentes, as deformações correspondentes às forças aplicadas em cada mola. Observe que cada ponto marcado corresponde à deformação sofrida pela mola em função da força aplicada.



4) Calcule a razão entre a força aplicada na mola e a deformação correspondente. Faça isso para os diferentes pontos marcados para cada uma das retas obtidas.

Mola 1	Mola 2	Mola 3

5) O que você observa?

6) Qual o significado físico da razão obtida para cada caso?

7) A razão obtida é a mesma para cada mola? Por que você acha que isso acontece?

8) Escreva uma expressão algébrica que relacione a razão obtida entre a força aplicada e a deformação provocada na mola.

9) Que termo você sugere para definir a razão obtida?

10) Escreva, em língua portuguesa, uma sentença que expresse a força aplicada em função da deformação sofrida pela mola.

11) Como podemos expressar, matematicamente, o que foi escrito no item anterior?

12) Volte sua atenção para as retas traçadas no item 3. O que você observa?

13) Relacione o que você observou no item anterior ao que você observou no item 1

ROTEIRO 19 – OSCILANDO HARMONICAMENTE

Roteiro do professor 19

Você pode explorar com seus alunos, se houver acesso à rede mundial de computadores (internet), alguns aplicativos preparados para ensino de Física. Há muitos deles disponíveis, em geral escritos em dois tipos de linguagem específicos para páginas de internet: Flash e Java.

Vamos aproveitar este tipo de atividade para discutir um assunto que é muito importante para o estudo de ondas (terceiro ano) que por sua vez é muito importante para a introdução de conceitos de física moderna no ensino médio (não previsto na reorientação) – os movimentos oscilatórios, um item de mecânica.

Durante o curso, discutimos através da utilização de vídeos (vídeo “Oscilações”, produzido pelo LADIF – Laboratório Didático do Instituto de Física da UFRJ) como apresentar oscilações harmônicas simples a alunos de ensino médio, fazendo experimentos e comparando os movimentos da sombra de um movimento circular com a sombra do movimento de um pêndulo.

Propomos então o uso de uma atividade virtual, que simula a observação experimental.

Lembre-se que quando este tipo de material é produzido, o programador faz o modelo e ele fica invisível para o usuário. Isto é, o material é preparado para “dar certo” pelo programador. Então, este tipo de atividade serve para motivar os alunos, para brincar, para aprender de uma forma diferente e interativa. O mais interessante é que desta maneira temos facilidades que não existem em laboratórios reais: trocamos molas e massas apenas com um clique no mouse...

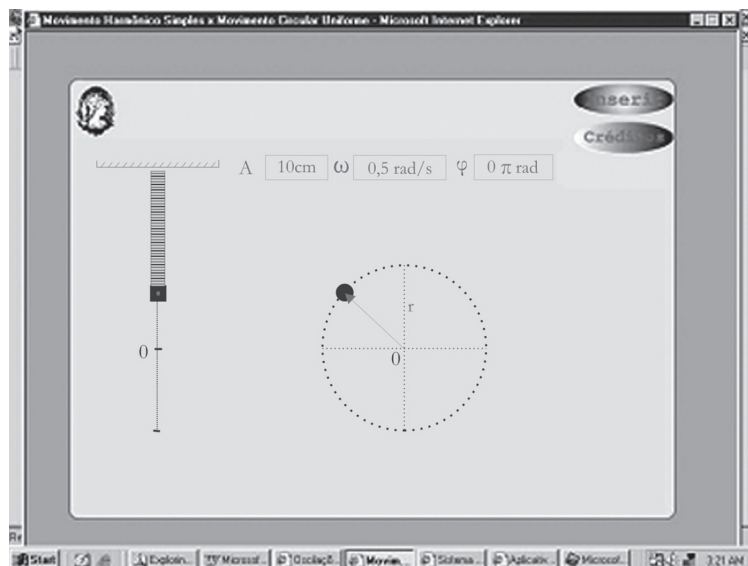
Material

Computador com acesso à internet, e um programa de navegação (“browser” – o Internet Explorer, Mozilla, Firefox ou outros) instalado. No caso do aplicativo sugerido, o “plug-in” do Flash deve estar instalado – o computador vai indicar caso não esteja.

Procedimento

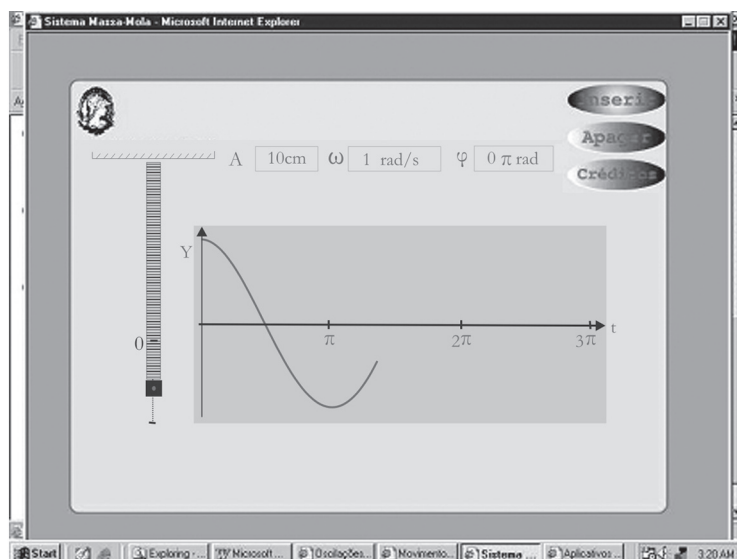
Acesse a página da internet www.if.ufrj.br/~marta/aplicativos/aplicativo.html e vá para o tema “oscilações harmônicas”. No texto em azul clique em “movimento harmônico simples”. Se a figura não aparecer inteira, e você estiver utilizando o Internet Explorer, aperte a tecla F11. A figura reproduz a tela.

Neste aplicativo, vemos a analogia entre o movimento circular uniforme e o movimento do sistema massa-mola.



Na mesma página e ainda no tema “oscilações harmônicas”, clique em “sistema massa-mola”.

Neste aplicativo, a oscilação do sistema massa-mola se transforma num gráfico de posição como função do tempo. Experimente substituir os valores para ganhar mais familiaridade com os valores. Discuta com os alunos o que significa a frequência angular em termos de constante de mola e massa. Faça o mesmo com os outros parâmetros.



ELETRICIDADE E MAGNETISMO

INTRODUÇÃO

As atividades propostas a seguir estão relacionadas ao tema Eletricidade e Magnetismo, quarto item do documento de Reorientação Curricular, previsto para a terceira série do ensino médio.

Os tópicos sugeridos dentro do tema são:

- A carga elétrica.
- Materiais condutores e isolantes.
- Força e campo elétrico.
- Corrente elétrica.
- Diferença de potencial.
- A lei de Ohm; resistência elétrica.
- Baterias e outras fontes de tensão elétrica; força eletromotriz.
- Circuitos simples.
- Potência; o efeito Joule.
- Ímãs e campo magnético; linhas de campo; o campo magnético terrestre.
- A experiência de Oersted; eletroímãs.
- Força magnética sobre uma corrente; motores elétricos. *
- Indução eletromagnética; geradores elétricos e transformadores. *

O Eletromagnetismo foi desenvolvido nos séculos XVIII e XIX a partir de experimentos. Seus conceitos são, com frequência, de difícil compreensão para os alunos e algumas analogias, geralmente utilizadas, podem levar a um entendimento errôneo destes conceitos. Nossa opção foi a de trabalhar com experimentos de modo que o aluno possa identificar a situação, prever e avaliar sua previsão diante da realidade, buscando, então, um modelo que descreva qualitativamente ou quantitativamente o fenômeno.

Em todas as atividades, a idéia é que os alunos trabalhem em grupo e tentem responder às perguntas a partir da observação experimental. As perguntas nos Roteiros do Aluno foram

pensadas de modo que possam ser respondidas pela observação. Algumas vezes eles deverão fazer previsões sobre um resultado antes de observá-lo; nestes casos espera-se que eles façam analogias com alguma observação anterior. Dependendo da turma e do assunto, poderá ser feita uma introdução teórica antes das atividades; muitas das atividades, no entanto, foram pensadas como uma introdução ao assunto, isto é, devem ser feitas antes de qualquer informação sobre o que será observado.

No Roteiro 1, as atividades estão relacionadas à força elétrica, à carga elétrica e a materiais condutores e isolantes. No Roteiro 2, os experimentos são sobre circuitos elétricos simples. As atividades trabalham com corrente elétrica, diferença de potencial, resistências elétricas e resistências equivalentes em circuitos em série e em paralelo. Um dos erros conceituais mais observados em relação a correntes elétricas é o de que pode haver acúmulo de carga elétrica em pontos dos circuitos, causada por obstrução (quando se abre o circuito), em analogia com correntes de água em encanamentos. Nas atividades 3 e 4 do roteiro 2, são propostas várias medidas de corrente para que seja mostrado que ou temos corrente em todo um ramo do circuito ou não temos corrente em nenhum ponto do mesmo. Ao final do roteiro 2, apresenta-se um roteiro para um experimento virtual sobre circuitos. No Roteiro 3, é feito o mapeamento do campo magnético de ímãs e eletroímãs e uma das atividades é sobre a experiência de Oersted.

ROTEIRO 20 – ATRAÇÕES E REPULSÕES

Roteiro do professor 20

As atividades propostas têm o objetivo de apresentar aos alunos uma nova propriedade da matéria, a carga elétrica. Isso é feito mostrando como esta propriedade, apesar de não ser visível, pode ser detectada pela força que uma carga elétrica exerce sobre uma outra carga elétrica. Pretendemos, também, que eles percebam que há diferenças de comportamento entre materiais condutores e isolantes.

Atividade 1

Material

- Pente de plástico
- Folha de papel
- Peçaço de lã ou seda

Nesta atividade podemos explorar o aparecimento da força elétrica depois que o pente é atritado. É importante que os alunos compreendam que não houve criação de carga elétrica com o atrito e que só houve uma transferência de cargas entre o pente e a seda ou a lã. E que esta propriedade está presente em todos os materiais. Podemos utilizar a atividade para mostrar, também, que esta força depende da distância. Se não aproximarmos o pente dos pedaços de papel, apesar da força existir, ela não é suficiente para fazer os pedaços de papel se moverem. O nome dessa nova propriedade deverá ser dada só depois dos alunos terem tentado relacioná-la com a sua experiência. A experiência diária de termos os cabelos arrepiados, em dias secos, quando passamos o pente mostra que a força elétrica pode ser de atração ou de repulsão. Aqui devemos introduzir o conceito de carga elétrica positiva e negativa, chamando a atenção que os termos são uma convenção, e que a força é atrativa para cargas de sinais opostos e repulsiva para cargas elétricas de mesmo sinal.

Atividade 2

Material

- Pente de plástico
- Folha de papel
- Peçaço de lã ou seda
- Peneira de plástico
- Peneira de metal

Nesta atividade, queremos mostrar que há diferenças entre o comportamento de materiais quando na presença de cargas elétricas em excesso (caso do pente depois de atritado). Devemos usar peneiras pequenas para que a distância entre os dentes do pente e os pedaços de papel não seja grande a ponto de não podermos perceber a força elétrica entre eles. Aqui podemos chamar a atenção para o efeito de blindagem eletrostática causada pela peneira de metal, o que não permite que os pedaços de papel percebam a presença das cargas elétricas em excesso no pente, enquanto que no caso da peneira de plástico, a força elétrica aparece sobre os pedaços de papel. Esperamos que os alunos associem esta diferença no comportamento dos materiais com o uso desses materiais para conduzir corrente elétrica ou para servirem como isolantes para estas mesmas correntes.

Atividade 3 – leitura

O artigo “A Física das Tempestades e dos Raios”, de Marcelo M.F. Saba, publicado na revista Física na Escola, vol. 2, núm. 1, 2001, explica diversos aspectos da física envolvida na formação de nuvens de tempestades e relâmpagos. Estes assuntos em geral são de muito interesse para os alunos, e relacionados a cargas elétricas.



Como as nuvens se formam?

A origem de uma nuvem está no calor que é irradiado pelo Sol atingindo a superfície de nosso planeta. Este calor evapora a água que sobe por ser menos denso que o ar ao nível do mar. Ao encontrar regiões mais frias da atmosfera o vapor se condensa formando minúsculas gotinhas de águas que compõem então as nuvens.

que para o vapor tornar-se uma gotinha d'água ele precisa encontrar na atmosfera partículas sólidas sobre as quais se condensam. Essas partículas estão sempre em suspensão no ar, mesmo nas regiões onde o ar é muito puro.

Todas as nuvens produzem relâmpagos?

Não. Somente as nuvens de tempestades, conhecidas como cumulonimbus, possuem os ingredientes necessários para produzir relâmpagos: ventos intensos, grande extensão vertical e partículas de gelo e água em diversos tamanhos.

.....
 Marcelo M.F. Saba
 Pesquisador do Grupo de Eletricidade Atmosférica
 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
 C.P. 515 - 12201-970
 S. José dos Campos, SP, Brasil
 e-mail: saba@dge.inpe.br



A Física das Tempestades e dos Raios

Questões e
 dúvidas
 frequentes

Basta então calor e umidade?

Não. Na atmosfera a temperatura do ar diminui com a altura. Dependendo de quão rápida é esta diminuição, o crescimento de uma nuvem pode ser acelerado ou inibido. Alguns outros fatores podem também dar uma "mãozinha" para que a nuvem cresça: as montanhas, onde ventos batem forçando o ar quente subir, e as frentes frias, camadas de ar frio que funcionam como uma cunha empurrando o ar quente para cima. Sabemos ainda

Que aspecto têm as nuvens de tempestade?

Estas nuvens são enormes. Elas têm sua base em 2 ou 3 km e o topo em até 20 km de altitude! Podem ter 10 ou mesmo 20 km de diâmetro. Normalmente têm a sua base escura, pois a luz solar é absorvida e espalhada pelas partículas de água e gelo de que são formadas. O seu topo muitas vezes atinge a base da estratosfera (camada da atmosfera logo acima da troposfera, onde vivemos). Ao atingir a base da estratosfera, a nuvem não consegue mais subir, pois a tempe-

Neste artigo explicam-se diversos aspectos sobre a física envolvida na formação de nuvens de tempestades e relâmpagos, fenômenos que por milhares de anos assustaram a humanidade e com os quais devemos ter alguns cuidados.

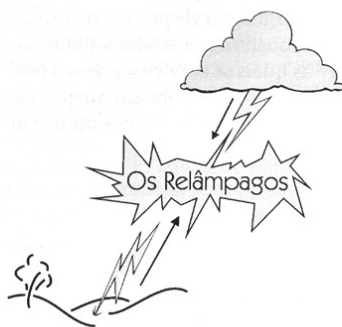
ratura nessa camada tende a aumentar devido à absorção do ultravioleta pela camada de ozônio. Assim ela se espalha horizontalmente na direção dos ventos nessa altitude, fazendo que a nuvem tenha o aspecto de uma bigorna. As nuvens de tempestade geralmente estão associadas a: chuvas torrenciais e enchentes, granizo ou “chuva de pedra”, ventos intensos ou “rajadas de vento”, e eventualmente os temíveis tornados. A quantidade de energia envolvida em apenas uma tempestade modesta é assustadora. Ela é várias vezes superior à energia liberada pela primeira bomba atômica detonada em um deserto dos Estados Unidos em 1945. A diferença é que a bomba atômica libera toda sua energia em uma fração de segundo, enquanto uma tempestade o faz durante um período de muitos minutos ou várias horas.

Qual o efeito das tempestades sobre o clima?

As tempestades são como grandes trocadores de calor. Ou seja, o ar que próximo ao chão encontrava-se, em dias de verão, a quase 40 °C, pode ser transportado até o topo da tempestade onde pode chegar com a temperatura de -70 °C. Existem estimativas de que o nosso planeta sem essas nuvens trocadoras de calor teria uma temperatura média 10 °C maior.

Por que as nuvens se eletrificam?

Ainda não há uma teoria definitiva que explique a eletrificação da nuvem. Há, no entanto, um consenso entre os pesquisadores de que a eletrificação surge da colisão entre partículas de gelo, água e granizo no interior da nuvem. Uma das teorias mais aceitas nos diz que o granizo, sendo mais pesado, ao colidir com cristais de gelo, mais leves, fica carregado negativamente, enquanto os cristais de gelo ficam carregados positivamente. Isso explicaria o fato de a maioria das nuvens de tempestade ter um centro de cargas negativas embaixo e um centro de cargas positivas na sua parte superior. Algumas nuvens apresentam também um pequeno centro de cargas positivas próximo à sua base.



Por que existem relâmpagos?

Quando a concentração de cargas no centro positivo e negativo da nuvem cresce muito, o ar que os circunda já não consegue isolá-los eletricamente. Acontecem então descargas elétricas entre regiões de concentração de cargas opostas que aniquilam ou pelo menos diminuem essas concentrações. A maioria das descargas (80%) ocorre dentro das nuvens, mas como as cargas elétricas na nuvem induzem cargas opostas no solo, as descargas podem também se dirigir a ele.

Quando e quem descobriu que os raios eram enormes descargas (faíscas) elétricas?

Em 1752, Benjamin Franklin propôs uma experiência para verificar se as nuvens possuíam eletricidade. Sugeriu que uma pessoa subisse no alto de uma montanha em um dia de tempestade e verificasse se de uma haste metálica isolada do chão pulariam faíscas em direção aos dedos da sua mão. Era uma experiência arriscadíssima que ele mesmo não a realizou, talvez por não haverem montanhas suficientemente altas na Filadélfia, onde morava. Quem a realizou pela primeira vez foi Thomas François Dalibard, na França, em maio de 1752. Um mês depois, sem saber do sucesso da experiência na França, Franklin conseguiu uma maneira de a realizar na Filadélfia. Em um dia de tempestade empinou uma pipa e observou faíscas pularem de uma chave amarrada próximo da extremidade da linha à sua mão. Tanto uma

como outra experiência não devem ser repetidas por ninguém. Várias pessoas morreram tentando repeti-las!

Como funciona o pára-raios?

Um pára-raios nem atrai nem repele os raios. Ele também não descarrega a nuvem como pensava Benjamin Franklin. Ele simplesmente oferece ao raio um caminho fácil até o solo que é ao mesmo tempo seguro para nós e para o que pretendemos proteger.

Quais os tipos de relâmpagos?

Aqueles que tocam o solo (80%) podem ser divididos em descendentes (nuvem-solo) e ascendentes (solo-nuvem). Os que não tocam o solo podem ser basicamente de três tipos: dentro da nuvem, da nuvem para o ar e de uma nuvem para outra. O tipo mais freqüente dos raios é o descendente. O raio ascendente é raro e só acontece a partir de estruturas altas no chão (arranha-céus) ou no topo de montanhas (torres, antenas). Os raios ascendentes têm sua ramificação voltada para cima.

O que é um raio bola?

O raio bola é o mais misterioso dos raios e, portanto o que mais intriga os cientistas. Ele já foi observado por milhares de pessoas e, no entanto não há até hoje medidas suficientes que possam comprovar qualquer uma das várias teorias elaboradas para explicá-lo. Normalmente o seu tamanho varia entre o de uma bola de ping-pong e o de uma grande bola de praia, e sua duração é em média 15 segundos; possui um colorido na maioria das vezes amarelado e luminosidade menor do que uma lâmpada de 100 W. Flutua pelo ar não muito longe do chão, e não segue necessariamente a direção do vento. Costuma desaparecer silenciosamente ou acompanhado de uma explosão.

Existem raios positivos e negativos?

Sim. Os raios têm a sua polaridade atribuída conforme o tipo de carga que neutralizam na nuvem. Portanto, se um raio neutralizar cargas negativas na nuvem ele é um raio negativo. Na prática não pode-

mos dizer com certeza se um raio é positivo ou negativo a não ser com o auxílio de instrumentos adequados.

Quais as fases de um raio?

Um raio começa com pequenas descargas dentro da nuvem. Estas descargas liberam os elétrons que começarão seu caminho de descida em direção ao solo. Esse caminho de descida é tortuoso e truncado em passos de 50 metros, como que buscando o caminho mais fácil. Esta busca de uma conexão com a terra é muito rápida (330.000 km/h) e pouco luminosa para ser visto a olho nu. Quando essa descarga, conhecida como 'líder escalonado', encontra-se a algumas dezenas de metros do solo, parte em direção a ela uma outra descarga com cargas opostas, chamada de 'descarga conectante'. Forma-se então o que é conhecido como o canal do raio, um caminho ionizado e altamente condutor. Por ele passa um gigantesco fluxo de cargas elétricas denominado 'descarga de retorno'. É neste momento que o raio acontece com a máxima potência, liberando grande quantidade de luz.

O raio pisca?

Se houver cargas disponíveis na nuvem, uma outra descarga intensa (chamada 'subseqüente') pode acontecer logo após a primeira. Aproximadamente metade dos raios possui descargas subseqüentes. Eles são chamados de raios múltiplos. Em média o número de descargas subseqüentes em raios múltiplos é três, mas já foram observadas mais de 50 descargas subseqüentes em um mesmo raio. O tempo entre uma descarga e outra é às vezes suficientemente longo possibilitando ao olho humano ver não uma, mas várias descargas acontecendo no mesmo local; é quando vemos o raio piscar.

Sobe ou desce?

As duas coisas. Se pensarmos em termos das cargas elétricas que fluem no raio, concluiremos, como foi explicado anteriormente, que as cargas descem um bom trecho do caminho antes de se encontrarem com uma descarga que parte do solo subindo

em direção a ela para formar o caminho do raio.

Por que os raios se ramificam?

A primeira descarga do raio geralmente apresenta-se muito ramificada pois no seu caminho até o solo as cargas elétricas buscam o caminho mais fácil (em termos de menor resistência do ar) e não o mais curto (que seria uma linha reta). O caminho mais fácil, geralmente em zig-zague, é determinado por diferentes características elétricas da atmosfera, que não é homogênea.

Qual a duração de um raio?

Um raio composto de várias descargas pode durar até 2 segundos. No entanto, cada descarga que compõe o raio dura apenas frações de milésimos de segundo.

Qual a sua voltagem e corrente?

A voltagem de um raio encontra-se entre 100 milhões a 1 bilhão de Volts. A corrente é da ordem de 30 mil Ampères, ou seja, a corrente utilizada por 30 mil lâmpadas de 100 W juntas. Em alguns raios a corrente pode chegar a 300 mil Ampères!

Qual a energia envolvida em um raio?

Grande parte da energia de um raio é transformada em calor, luz, som e ondas de rádio. Apenas uma fração dela é convertida em energia elétrica. Sabemos que a duração de um raio é extremamente curta, assim, apesar dos grandes valores de corrente e voltagem envolvidos a energia elétrica média que um raio gasta é de 300 kWh, ou seja, aproximadamente igual à de uma lâmpada de 100 W acesa durante apenas quatro meses.

É possível utilizar a energia de um raio?

Para que pudéssemos utilizar essa energia, necessitaríamos não só capturá-la mas também armazená-la, o que é ainda impossível. Para capturar raios seria necessária uma quantidade muito grande de hastes metálicas para aumentar a chance de que fossem atingidas. No entanto, encontram-se em andamento pesquisas que

tentam drenar as cargas elétricas das nuvens de tempestade com o auxílio de potentíssimos raios laser. A idéia é tentar, com o auxílio do laser, guiar o raio até um local onde fosse possível armazenar a sua energia.

Qual a sua espessura e comprimento?

O raio pode ter até 100 km de comprimento. Raios com esse comprimento geralmente envolvem mais de uma nuvem de tempestade. Apesar de seu grande comprimento, a espessura do canal de um raio é de apenas alguns centímetros.

Qual a temperatura de um relâmpago?

A temperatura é superior a cinco vezes a temperatura da superfície solar, ou seja, a 30.000 graus Celsius. Quando um raio atinge e penetra solos arenosos a sua alta temperatura derrete a areia, transformando-a em uma espécie de tubo de vidro chamado fulgurito.

O que é o trovão?

Muita gente acha que o trovão é o barulho causado pelo choque entre nuvens. Esta idéia é errada e muito antiga. Lucrécio (98-55 a.C.) acreditava que tanto o raio como o trovão eram produzidos por colisões entre nuvens. Na verdade é o rápido aquecimento do ar pela corrente elétrica do raio que produz o trovão. Assim como uma corrente elétrica aquece a resistência de nossos aquecedores, a corrente do raio, ao passar pelo ar (que é um péssimo condutor), aquece-o e ele se expande com violência, produzindo um som intenso e grave. Nos primeiros metros a expansão ocorre com velocidade supersônica. Um trovão intenso pode chegar a 120 decibéis, ou seja, uma intensidade comparável à que ouve uma pessoa nas primeiras fileiras de um show de rock.

Como saber se o raio "caiu" perto?

A luz produzida pelo raio chega quase que instantaneamente na vista de quem o observa. Já o som (trovão) demora um bom tempo, pois a sua velocidade é aproximadamente um milhão de vezes menor. Para saber a

que distância aconteceu o raio, comece a contar os segundos ao ver o seu clarão e pare de contar ao ouvir o seu trovão. Divida o número obtido por três e você terá a distância aproximada do raio até você em quilômetros. Essa conta se explica se tivermos em conta que a velocidade do som é de aproximadamente 330 m/s, ou seja, um terço de quilômetro por segundo.

Se o raio dura apenas frações de segundo, porque o trovão é tão longo?

O som do trovão inicia-se com a expansão do ar produzida pelo trecho do raio que estiver mais próximo do observador e termina com o som gerado pelo trecho mais distante (sem considerar as reflexões que possa ter). Como vimos, o canal do raio pode ter dezenas de quilômetros. Assim, o som gerado por uma extremidade que esteja muito distante pode chegar dezenas de segundos depois de ouvirmos o som gerado por um trecho do canal que estiver mais próximo.

A que distância pode-se ouvir o trovão?

Um trovão dificilmente pode ser ouvido se o raio acontecer a uma distância maior do que 25 quilômetros. Isso deve-se à tendência que o som tem de curvar-se em direção a camadas de ar com menor temperatura (refração). Como a temperatura da atmosfera geralmente diminui com a altura, o som do trovão curva-se para



Foto do primeiro raio artificial induzido no Brasil.

cima passando por cima do observador.

Além da luz, o raio produz alguma outra radiação?

Além de produzir luz, o raio produz ondas eletromagnéticas em várias outras frequências, inclusive raios-X. É comum ouvirmos ruídos e chiados ao sintonizarmos uma rádio AM em dia de tempestade. Isso ocorre porque o raio também produz ondas nesta faixa de frequência. Graças a essa característica, antenas sincronizadas

podem localizar o local de sua ocorrência com precisão simplesmente recebendo a onda eletromagnética produzida pelos raios.

O que são os raios induzidos?

Uma grande dificuldade no estudo dos raios é não poder reproduzi-los em laboratório. Como a natureza não avisa onde e quando o raio vai ocorrer, uma maneira alternativa de estudá-lo consiste em provocar o raio para que aconteça próximo aos instrumentos de medida e no momento em que estiverem preparados. Para que isso aconteça, foguetes especialmente preparados são lançados em direção à base de uma nuvem de tempestade. Eles têm aproximadamente 1 metro de comprimento e levam consigo uma bobina de fio de cobre que se desenrola ao longo da subida. O fio de cobre atua como um gigante pára-raios cuja presença induz a ocorrência do raio. A corrente elétrica do raio passa pelo fio e por instrumentos de medida na base de lançamentos. Outras medidas podem ser feitas também ao redor da base. Raios induzidos foram feitos pela primeira vez no Brasil na sede do INPE em Cachoeira Paulista, em novembro de 2000.

Notas

Mais informações sobre o assunto podem ser encontradas na internet: www.lightning.dge.inpe.br e com o autor, Marcelo Saba, pelo e-mail: saba@dge.inpe.br.

Osmar Pinto Jr. e Iara de A. Pinto. *Relâmpagos*. Ed. Brasiliense, 1996.

Roteiro do aluno 20 – Atrações e repulsões

Atividade 1

Material utilizado:

- Pente de plástico
- Folha de papel
- Pedaco de lã ou seda

Corte o papel em pequenos pedaços e coloque em cima da mesa. Aproxime o pente dos pedaços de papel. Agora atrite o pente no pedaco de lã ou seda e o recolque perto deles.

Responda:

- a) Você notou alguma diferença antes e após atritar o pente e colocá-lo perto dos pedaços de papel?
- b) Se você chegar a lã ou seda perto dos pedaços de papel, o que deverá acontecer?
- c) Pense se já aconteceu com você de, em um dia seco, seu cabelo se arrepiar quando você o escovou, ou você ouvir uns estalos e seus pêlos do corpo arrepiarem quando você tirou um casaco de lã ou passou perto da tela da televisão logo depois dela ter sido desligada. Você acha que estes fenômenos e os da experiência feita por você estão relacionados?
- d) O que você espera que aconteça se ao invés de atritar o pente usando a lã ou a seda você utilizar seus cabelos?
- e) Existe uma propriedade da matéria que é responsável por este comportamento. Converse com seus colegas e tente pensar em um nome para está propriedade. Agora pergunte ao seu professor qual o nome que foi dado a ela.
- f) Seus cabelos ficam arrepiados quando são escovados em dias muito secos, isto é, os fios se afastam uns dos outros. Você poderia dizer que a força elétrica pode ser tanto atrativa quanto repulsiva?

Atividade 2

Material utilizado:

- Pente de plástico
- Folha de papel
- Pedaco de lã ou seda
- Peneira de plástico
- Peneira de metal

Refaça a atividade 1, mas agora coloque uma peneira de plástico por cima dos papéis.

Responda:

- a) A peneira afetou o comportamento observado anteriormente?
- b) E se ao invés da peneira de plástico, você usar a peneira de metal, você espera observar a mesma coisa?
- c) Você acha que há diferença no comportamento do plástico e do metal em relação a esta propriedade da matéria?
- d) Pense em algumas situações que podem estar relacionadas a esta propriedade, em que é melhor usar metal e em outras em que é melhor usar plástico. Faça uma lista junto com seus colegas de outros materiais que se comportam como o plástico.
- e) Como poderíamos chamar materiais do tipo do plástico e materiais do tipo metálico associados a esta diferença que eles apresentam? Pergunte ao seu professor que nomes são utilizados para classificar estes dois tipos de materiais.

ROTEIRO 21 – CIRCUITOS ELÉTRICOS

Roteiro do professor 21

Na discussão de circuitos elétricos, a utilização de experimentos facilita a compreensão da associação de circuitos em série e em paralelo pelos alunos.

Dividimos este roteiro em duas partes. Na primeira parte, pensamos que, por serem conceitos de difícil visualização, a utilização de circuitos com lâmpadas antes da introdução de resistores ôhmicos pode ajudar os alunos a prever alguns dos comportamentos da corrente nestes circuitos. Além disso, os alunos podem identificar que uma lâmpada é um tipo de resistor e associar vários componentes elétricos da sua casa a resistores. Na segunda parte, a introdução de resistores ôhmicos permite que os alunos façam medidas e possam analisar quantitativamente o comportamento desses circuitos e de resistores ôhmicos.

Nas duas partes, a idéia é que os alunos tentem prever algum tipo de comportamento baseado em conhecimentos prévios, e após observarem a realidade, analisem suas previsões e tentarem chegar a uma regra geral para aquele tipo de circuito.

Ao final, propomos uma última atividade, um experimento virtual sobre esses conceitos.

Primeira Parte (Atividades 1 e 2)

Material

- quatro lâmpadas de 40 W (ou menor potência), 127V
- quatro bocais para lâmpadas
- dois interruptores
- quatro metros de fio
- duas tomadas machos
- dois pedaços de madeira de 20cm x 20cm

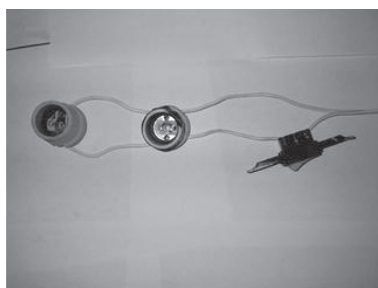
Estas duas atividades usam a rede elétrica. É necessário que os alunos tenham cuidado, por causa de choques. Não usamos lâmpadas de potência diferentes para que, no caso do circuito em série, eles não fiquem tentados a achar que as correntes são diferentes por causa da luminosidade diferente. Nestas duas atividades nossa sugestão é que somente sejam discutidos aspectos qualitativos dos circuitos em série e paralelo, dando ênfase a necessidade de se ter um circuito fechado para que haja o aparecimento da corrente; que o fato de abrirmos um circuito em série em qualquer ponto extingue a corrente do mesmo em todos os pontos; que em um circuito em paralelo, a abertura de um dos ramos do mesmo não impede a passagem da corrente pelo outro ramos. É importante lembrar que um filamento de tungstênio, como o utilizado nas lâmpadas, tem resistência que varia com a temperatura. Desse modo, não é

possível comparar o valor da resistência obtida usando-se um ohmímetro (feita com a lâmpada apagada e fria) com o valor obtido usando-se a relação entre potência, tensão e resistência (supõe-se a lâmpada acesa, o que significa uma temperatura elevada). **Não é conveniente que os alunos utilizem aparelhos de medida em circuitos ligados à rede elétrica.**

Para a confecção da atividade em questão: utilize os dois bocais, monte a associação em série (como na foto abaixo) e fixe num pedaço de madeira. Ligue em uma das pontas o interruptor, coloque a tomada na ponta.



Utilizando os dois bocais, monte a associação em paralelo conforme indicado na figura abaixo e fixe num pedaço de madeira. Ligue em uma das pontas o interruptor, coloque a tomada na ponta.



Observação: para desconectar uma lâmpada quente do bocal, utilize a embalagem para não tocá-la diretamente e poder desenroscá-la.

Uma exploração adicional seria a criação de um circuito misto, com ramos em série e em paralelo, utilizando os já feitos pelo professor. Estes circuitos, também, podem ser utilizados para uma discussão qualitativa do efeito Joule e da potência. No caso do efeito Joule, pode-se utilizar a lista elaborada por eles, para outros aparelhos eletrodomésticos que poderiam ser colocados no lugar das lâmpadas, para mostrar como algumas vezes queremos que este efeito seja grande e outras vezes preferimos o contrário. Para o caso do estudo da potência, sugerimos o uso de lâmpadas com potências diferentes no circuito em paralelo. Como somente nas atividades 3 e 4 serão introduzidos os conceitos de mesma diferença de potencial para circuitos em paralelo, sugerimos que isso seja deixado como uma atividade posterior a estas últimas.

Segunda Parte (Atividades 3 e 4)

Material:

- dois resistores ôhmicos de resistência 100Ω
- dois resistores ôhmicos de resistência 56Ω
- uma fonte de tensão contínua de 12 V
- dois interruptores
- dois metros de fio
- dois pedaços de eucatex de aproximadamente $20\text{cm} \times 20\text{cm}$
- um multímetro digital ou analógico

Estas duas atividades usam uma bateria de tensão contínua e baixa, de modo que, neste caso, não há problema em relação a choques. Nem sempre as fontes de tensão contínua apresentam a mesma tensão com carga (circuito fechado) e sem carga (circuito aberto). Pode-se chamar a atenção para isto ou evitar que eles façam as medidas para a determinação da lei de Ohm com a fonte de tensão sem carga.

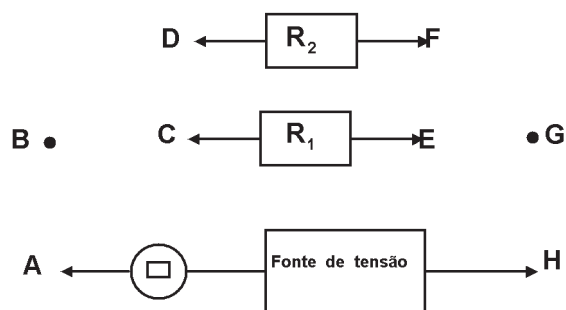
Antes de começar, o professor deve ensiná-los a medir corrente nos ramos do circuito e diferenças de potencial nos terminais dos resistores. Pode-se utilizar um multímetro analógico ou digital. Lembre-se de discutir incertezas em medidas experimentais.

Nestas duas atividades, nossa sugestão é que também sejam discutidos aspectos quantitativos dos circuitos em série e paralelo, dando ênfase à corrente ser a mesma em todos os ramos de um circuito em série; a diferença de potencial ser a mesma em todos os ramos de um circuito em paralelo; e chegando à Lei de Ohm para resistores ôhmicos e a resistências equivalentes em circuitos em série e em paralelo, utilizando-se dos dados experimentais.

Para a montagem do circuito em série, sugerimos que os resistores R_1 e R_2 sejam soldados a terminações garras e presos à placa de eucatex por parafusos e arruelas que estarão nos pontos B, C, D e E. A fonte de tensão pode estar presa por solda ao interruptor e no final a terminações garras que, também estarão presas por meio de parafusos e arruelas ao eucatex. Com três fios com terminações jacaré, o circuito pode ser fechado entre os pontos A e B, C e D, e E e F. Desta maneira fica mais fácil colocar o multímetro entre estes pontos, para a medida de corrente.



Para a montagem do circuito em paralelo, sugerimos o mesmo esquema anterior em relação as soldas. Os parafusos e arruelas estarão presos à placa de eucatex nos pontos A, B, C, D, E, F, G e H. Com seis fios com terminações jacaré, o circuito pode ser fechado entre os pontos A e B, B e C, B e D, E e G, F e G, e G e H. Desta maneira, é possível fazer a medida das correntes em todos os ramos os circuito.



No roteiro do aluno, o desenho do circuito utiliza os símbolos para resistores ôhmicos e fontes de tensão contínua. Como nas duas primeiras atividades foi pedido que os alunos fizessem seus desenhos de circuito a partir de um circuito real, sem o conhecimento desses símbolos, achamos que para as atividades 3 e 4 ele deve fazer o exercício oposto: a partir do circuito esquematizado, reconhecer os elementos reais e utilizá-los na montagem.

Atividade virtual - circuitos

Tanto para a atividade com lâmpadas como para a atividade com resistores, há simuladores na internet que podem ser utilizados pelo professor para ter circuitos em série e em paralelo mais variados.

Na página www.if.ufrj.br/~marta/aplicativos/circuito1.html encontramos um circuito com uma fonte de tensão de 12 V, um interruptor, duas chaves e 8 resistores de resistência variável (de 0 a 100 Ω variando de 5 em 5 Ω) que podem ser colocados em série e em paralelo. Ao entrar, aperte a tecla F11 para utilizar toda a tela do computador. Para acrescentar resistores ao circuito, basta clicar com o mouse sobre o resistor em questão. Para alterar os valores, utilize

as setas que aparecem ao lado da tabela de resistores. Para fechar ou abrir uma determinada chave, clique com o mouse em cima das mesmas. Se o circuito estiver em curto, o interruptor desligará automaticamente, indicando o problema aos alunos.

Na página www.if.ufrj.br/~marta/aplicativos/circuito1.html encontramos um circuito com uma bateria, um amperímetro, três chaves e 5 lâmpadas (com resistência constante) que podem ser colocados em série e em paralelo. Ao entrar, aperte a tecla F11 para utilizar toda a tela do computador. Para acrescentar lâmpadas ao circuito, basta clicar com o mouse sobre a lâmpada em questão. Para fechar ou abrir uma determinada chave, clique com o mouse em cima das mesmas. Se o circuito estiver em curto, o amperímetro acusará a passagem de corrente infinita.

Roteiro do aluno 21 – Circuitos elétricos

Atenção! Os experimentos que você vai utilizar agora podem dar choque se você não tiver cuidado. Preste atenção enquanto estiver trabalhando com eles.

Atividade 1

Material:

- duas lâmpadas de mesma potência
- dois bocais
- interruptor
- tomada
- fios

Observe o circuito formado pelos elementos acima. Este circuito tem o nome de circuito em série. Antes de ligarmos o interruptor, não há passagem de corrente pelo circuito e as lâmpadas não acendem.

Responda:

- a) Antes de ligar o interruptor, diga qual das duas lâmpadas deve ter a maior luminosidade ou se elas terão a mesma luminosidade. Compare sua previsão com o que acontece quando você liga o interruptor.
- b) Desligue o interruptor. Tire uma das lâmpadas do bocal. Cuidado porque ela pode estar muito quente. Antes de ligar o interruptor, diga o que deve acontecer com a outra lâmpada. Compare sua previsão com o que acontece quando você liga o interruptor.
- c) Faria diferença se você tivesse optado por tirar a outra lâmpada do bocal?
- d) Desenhe um esquema do circuito que você está trabalhando. Compare com os esquemas criados pelos seus colegas.
- e) Após a lâmpada esfriar, identifique na mesma os dois pontos que a conectam ao circuito. O que acontece quando a lâmpada queima?

Atividade 2

Material:

- duas lâmpadas de mesma potência
- dois bocais

- interruptor
- tomada
- fios

Observe o circuito formado pelos elementos acima. Este circuito tem o nome de circuito em paralelo. Antes de ligarmos o interruptor, não há passagem de corrente pelo circuito e as lâmpadas não acendem.

Responda:

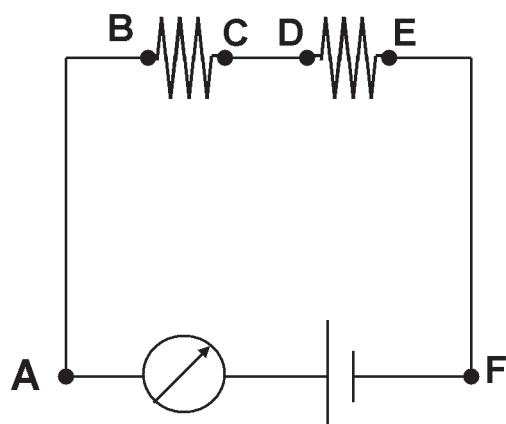
- Antes de ligar o interruptor, diga qual das duas lâmpadas deve ter a maior luminosidade ou se elas terão a mesma luminosidade. Compare sua previsão com o que acontece quando você liga o interruptor.
- Desligue o interruptor. Tire uma das lâmpadas do bocal. Cuidado porque ela pode estar muito quente. Antes de ligar o interruptor, diga o que deve acontecer com a outra lâmpada. Compare sua previsão com o que acontece quando você liga o interruptor.
- Faria diferença se você tivesse optado por tirar a outra lâmpada do bocal?
- Desenhe um esquema do circuito que você está trabalhando. Compare com os esquemas criados pelos seus colegas.
- Compare o que acontece em um circuito em série com o que acontece em um circuito em paralelo.
- Tirar uma lâmpada do bocal é como se a lâmpada tivesse queimado. Se você tivesse que colocar várias lâmpadas ligadas para iluminar sua casa, qual dos dois tipos de ligação você escolheria?
- Que outro tipo de equipamento existe na sua casa que poderia trocar pelas lâmpadas?

Atividade 3

Material:

- resistores ôhmicos
- bateria de corrente contínua
- fios
- multímetro

Observe o esquema de um circuito em série formado pelos resistores no lugar das lâmpadas e dos bocais e da bateria no lugar da rede elétrica. Repare que os resistores têm valores diferentes.



Depois de aprender como se usa o multímetro como voltímetro e como amperímetro, faça as seguintes medições:

1. Sem ligar o interruptor, meça a corrente que passa entre os pontos A e B, C e D, e E e F do circuito.
2. Ligue o interruptor e refaça as medidas.
3. Meça as diferenças de potencial entre B e C, D e E, e A e F.

Responda:

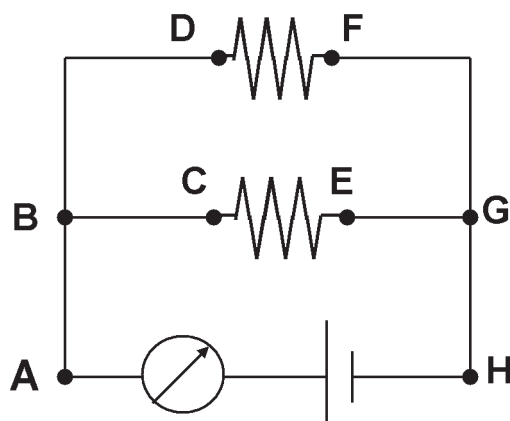
- a) As correntes em um circuito em série são diferentes nos diversos percursos do circuito?
- b) E as diferenças de potencial?
- c) Você notou alguma relação entre estas diferenças de potencial?
- d) Divida o valor da diferença de potencial entre os terminais de cada um dos resistores pela corrente que passa por eles. Você espera que estes dois valores sejam diferentes?

Atividade 4

Material:

- resistores ôhmicos
- bateria de corrente contínua
- fios
- multímetro

Observe o esquema de um circuito em paralelo formado pelos resistores no lugar das lâmpadas e dos bocais, e da bateria no lugar da rede elétrica. Repare que os resistores têm valores diferentes.



Depois de aprender como se usa o multímetro como voltímetro e como amperímetro, faça as seguintes medições:

1. Sem ligar o interruptor, meça a corrente que passa entre os pontos A e B, B e C e B e D do circuito.
2. Ligue o interruptor e refaça as medidas.
3. Meça as diferenças de potencial entre C e E, D e F, e A e H.

Responda:

- a) As diferenças de potencial em um circuito em paralelo são diferentes nos diversos percursos do circuito?
- b) E as correntes?
- c) Você notou alguma relação entre estas correntes?
- d) Divida o valor da diferença de potencial entre os terminais de cada um dos resistores pela corrente que passa por eles. Você espera que estes dois valores sejam diferentes?
- e) Compare estes valores com o que você obteve na atividade 3. Chame esta razão entre a diferença de potencial (V) no resistor e a corrente (I) que passa por ele de resistência ôhmica (R). Você pode pensar em uma relação que valha para todos os resistores ôhmicos, em qualquer circuito em que eles estejam?
- f) Como você definiria o valor da resistência de um resistor que devesse ser colocado no lugar dos dois resistores em série para que a corrente total do circuito seja a mesma obtida na atividade 3?
- g) Como você definiria o valor da resistência de um resistor que devesse ser colocado no lugar dos dois resistores em paralelo para que a corrente total do circuito seja a mesma obtida na atividade 4?
- h) O que é um curto-circuito? O que acontece com a corrente neste caso?

ROTEIRO 22 – MAGNETISMO

Roteiro do professor 22

Este roteiro propõe-se a introduzir o magnetismo primeiramente usando ímãs que geram campos magnéticos e bússolas como aparelhos que detetam a presença desses campos. A seguir, utilizando a experiência de Oersted, mostra-se que as mesmas cargas elétricas que geram os campos elétricos através das correntes geradas por elas são responsáveis pelo campo magnético.

Atividade 1

Material:

- Dois ímãs (de preferência em forma de barra)
- Bússola

Nesta atividade os alunos usam a bússola para detetar a presença de um campo magnético quando coloca-se um dos ímãs próximo a ela. Longe do ímã, a bússola só detecta a presença do campo magnético terrestre, mantendo a mesma posição quando movimentada sobre a mesa. Não é necessário falar, inicialmente, do campo magnético terrestre. Pode-se deixar para comentá-lo depois que já houver sido feita a discussão sobre os pólos do ímã. É importante enfatizar a diferença de existirem dois tipos de cargas elétricas que podem ser encontradas separadamente na natureza, mas só terem sido encontrados até hoje os dois tipos de pólos magnéticos juntos. Depois que os alunos tentarem definir nomes para os extremos do ímã, usando mais uma vez a agulha da bússola, pode-se definir corretamente os pólos norte e sul dos ímãs. A introdução da idéia de linhas de campo magnético pode ser feita usando-se a bússola para mapeá-lo.

Atividade 2

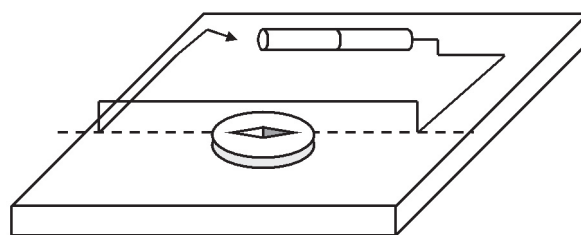
Material:

- Duas pilhas alcalinas grandes de 1,5V
- Suporte para as pilhas
- Peça de madeira
- Fio de cobre esmaltado ou encapado (com diâmetro de 1,5mm e cerca de 20cm)
- Fio encapado com terminações jacaré
- Bússola

Esta atividade é a reprodução simplificada da experiência de Oersted. Espera-se que os alunos associem o movimento da agulha da bússola à existência de um campo magnético em torno do

fio, quando faz-se passar corrente por ele. Ao colocar a bússola sobre o fio, ela passa a apontar no sentido contrário, de modo que usando a simetria do fio, possa-se inferir que as linhas do campo magnético criadas pela corrente elétrica em um condutor retilíneo são circunferências concêntricas ao condutor. Com a inversão da corrente elétrica no circuito, pode-se mostrar que o sentido do campo magnético se inverte.

O circuito a ser montado se encontra esquematizado na figura. As pilhas não devem estar conectadas ao fio de cobre. Isso só deverá ser feito no momento da observação pois como a resistência deste circuito é pequena, o contato deverá ser feito rapidamente, caso contrário a pilha descarregará. Sugere-se que os fios com terminação em jacaré sejam soldados aos terminais do suporte de pilha. Desta maneira pode-se fazer um contato rápido com o fio de cobre (que deverá ter suas pontas descascadas), e facilmente se pode trocar o sentido da corrente no fio.



Atividade 3

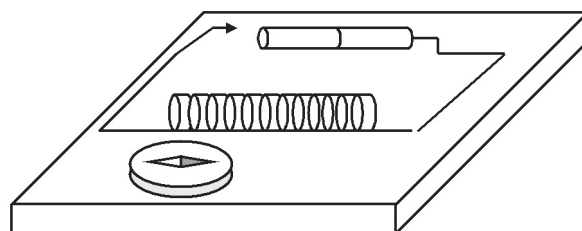
Material:

- Duas pilhas alcalinas grandes de 1,5V
- Suporte para as pilhas
- Peça de madeira
- Fio de cobre fino (diâmetro de 0,5mm) esmaldado ou encapado (aproximadamente 1m)
- Fio encapado com terminações jacaré
- Bússola
- Um pedaço de ferro (pode ser um prego grande)
- Vários objetos pequenos (clipes, alfinetes ou pregos pequenos, pedaços de papel, pequenos objetos plásticos ou de madeira)

Para fazer o solenóide, enrole o fio de cobre em torno do prego de modo a obter umas 40 voltas. Isso deve ser feito de maneira que seja fácil retirar o prego do interior do solenóide e recolocá-lo quando necessário. Raspe ou desencape o fio nas duas pontas do solenóide para poder haver contato entre o fio de cobre e as terminações jacaré. Como na atividade anterior, sugerimos que os fios com terminação jacaré seja soldados ao suporte da pilha. Nesta atividade

os alunos devem comparar o comportamento do eletroímã com o do ímã utilizado na atividade 1. Para isso, será feito o mapeamento do campo magnético em torno do solenoíde. A inversão da corrente elétrica do circuito mostra que os pólos do eletroímã se invertem, também. A colocação do núcleo de ferro será usada para mostrar que há materiais que aumentam o campo magnético e que esses materiais sentem mais fortemente a presença do campo magnético.

Sugere-se que ao final desta atividade seja feita uma discussão sobre o comportamento de materiais ferromagnéticos, de modo que fique claro que os ímãs são feitos desse tipo de material, que guardam em sua estrutura uma memória de um campo magnético. Sugere-se também que sejam dados exemplos de objetos feitos de materiais ferromagnéticos nos quais informações são impressas usando campos magnéticos e depois lidas; exemplos são cartões com tarja magnética e fitas cassete.



Roteiro do aluno 22 – Magnetismo

Atividade 1

Material:

- Dois ímãs (de preferência em forma de barra)
- Bússola

Coloque a bússola sobre a mesa, bem afastada dos ímãs, e movimente-a. Coloque, agora um dos ímãs sobre a mesa e movimente a bússola em volta do mesmo.

Responda:

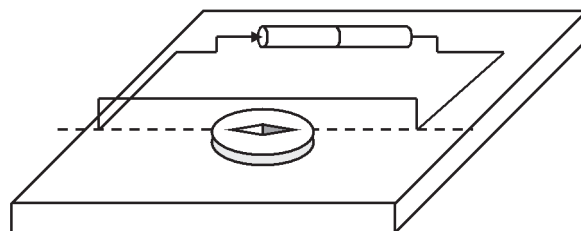
- a) Antes da colocação do ímã, o que a agulha da bússola apontava?
- b) Após a colocação do ímã, qual o comportamento da agulha da bússola? Você tem alguma explicação para isso?
- c) Você notou diferença no comportamento da agulha nas proximidades dos dois extremos do ímã? Que diferença foi essa?
- d) Se há diferença de comportamento entre estes extremos, dê um nome para cada um deles e coloque um adesivo numa das pontas para diferenciá-los. Faça o mesmo com o outro ímã.
- e) Aproxime os extremos dos dois ímãs, faça todas as combinações possíveis. Qual a conclusão que você pode tirar do comportamento observado?
- f) Faça uma analogia entre o fato de termos dois tipos de carga elétrica (positiva e negativa) e pergunte ao seu professor qual o nome que utilizamos para esses extremos.
- g) Tente pensar no que aconteceria se partíssemos a barra do ímã ao meio. Será que conseguiríamos separar os dois extremos diferentes, ou criaríamos um novo ímã menor mas com os mesmos dois extremos diferentes?

Atividade 2

Material:

- Duas pilhas alcalinas grandes de 1,5V
- Suporte para as pilhas
- Peça de madeira
- Fio de cobre esmaldado ou encapado
- Bússola

Antes de ligar as pilhas ao circuito, coloque a agulha da bússola alinhada com o fio, embaixo do mesmo, conforme pode ser visto no esquema abaixo. Ligue, então, as pilhas ao circuito, **mas cuidado, como a resistência deste circuito é pequena, faça o contato rapidamente, caso contrário a pilha descarregará.**



Responda:

- A partir do movimento da agulha da bússola, como você explicaria o que aconteceu em torno do fio quando você fez passar corrente pelo mesmo?
- Segure a bússola na mesma posição mas agora acima do fio e faça contato dos fios com a pilha novamente. O que aconteceu com a agulha da bússola?
- O que acontecerá se você inverter a polaridade das pilhas no circuito (isto é, se a corrente percorrer em sentido inverso o circuito)?
- Refaça o experimento com a polaridade da pilha trocada e compare o resultado experimental com sua previsão.
- Faça um resumo do que você observou e de suas conclusões, e leia sobre a experiência de Oersted. Quem é o agente que criou o campo magnético?

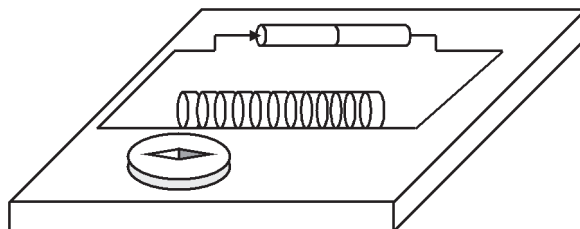
Atividade 3

Material:

- Duas pilhas alcalinas grandes de 1,5V
- Suporte para as pilhas
- Peça de madeira
- Fio de cobre esmaldado ou encapado
- Bússola
- Um pedaço de ferro (pode ser um prego grande)
- Vários objetos pequenos (clipes, alfinetes ou pregos pequenos, pedaços de papel, pequenos objetos plásticos ou de madeira)

O fio foi enrolado de modo a ter uma forma espiral (chamamos esta forma de solenóide). Do experimento anterior, já vimos que a passagem de corrente elétrica por um condutor cria, em

torno do condutor, um campo magnético. Vamos ligar nosso solenóide às pilhas para ver como se comporta o campo magnético criado pela corrente elétrica que passa por ele. Lembre-se de que as pilhas não devem ficar ligadas ao solenóide por muito tempo, pois elas descarregam. Use a bússola para ver como se comporta este campo. Movimente-a em volta do solenóide de modo que você possa mapear o campo magnético em torno dele.



Responda:

- a) Você notou diferença no comportamento da agulha nas proximidades dos dois extremos do solenóide? Que diferença foi essa?
- b) Faça uma analogia entre esta atividade e a atividade 1, onde você usou um ímã. Há alguma diferença entre o comportamento da agulha da bússola em torno do ímã e em torno do solenóide?
- c) Você pode identificar os pólos norte e sul do solenóide quando há corrente passando por ele?
- d) O que você espera que aconteça com estes pólos se invertemos o sentido da corrente elétrica que passa pelo solenóide?
- e) Troque o sentido da corrente e refaça o mapeamento do campo magnético. Compare seu resultado experimental com sua previsão.
- f) Chegue alguns dos objetos próximos do solenóide e veja se algum deles é atraído por ele.
- g) Coloque agora o pedaço de ferro dentro do solenóide e religue a corrente elétrica do circuito. Que diferença você notou entre o solenóide com e sem um núcleo de ferro?
- h) O que você pode dizer sobre o que aconteceu com o campo magnético do solenóide depois que você colocou o núcleo de ferro?
- i) Repare que há materiais que sentem muito mais fortemente a força magnética. Você poderia dizer um desses materiais?
- j) Chamamos eletroímã a um solenóide feito de um material condutor por onde fazemos passar uma corrente elétrica. Você vê alguma diferença entre um ímã e um eletroímã?
- k) Você pode pensar em algum aparelho ou objeto de uso comum que utilize ou eletroímãs ou materiais que podem guardar a informação de um campo magnético?

ONDAS

INTRODUÇÃO

O último tema abordado, ao final do terceiro ano, é a física ondulatória. Este tema fornece as bases para a atual descrição física do mundo microscópico (o “mundo dos quanta”). Segundo o documento de reorientação curricular,

“A Física Moderna não foi incluída no currículo proposto, contrariando algumas tendências recentes. Esta opção deve-se em boa parte ao fator tempo, pois tal inclusão só poderia se dar com o sacrifício de tópicos essenciais à própria compreensão do tema.”

Os tópicos sugeridos estão listados a seguir. Eles são divididos em três subitens: fenômenos ondulatórios, luz e som.

Fenômenos ondulatórios

- Ondas mecânicas e eletromagnéticas.
- Velocidade de propagação.
- Frequência e comprimento de onda.
- Princípio da superposição e interferência.
- Ondas estacionárias. *
- Reflexão e refração de ondas.
- Difração.

Luz

- Natureza ondulatória da luz.
- O espectro eletromagnético.

Som

- A velocidade do som.
- Intensidade, altura e timbre. Escalas musicais. Ultrasom.
- Instrumentos musicais. *
- Efeito Doppler. *

A maior parte destes temas foi discutida durante as atividades. No entanto, há menos roteiros produzidos, o que provavelmente servirá de incentivo a todos os professores para superar esta lacuna (provisória).

Há um roteiro sobre a determinação do diâmetro de um fio de cabelo, e um roteiro (da revista Física na Escola) propondo um outro experimento interessante sobre a luz.

ROTEIRO 23 – MEDINDO O DIÂMETRO DE UM FIO DE CABELO

Roteiro do professor 23

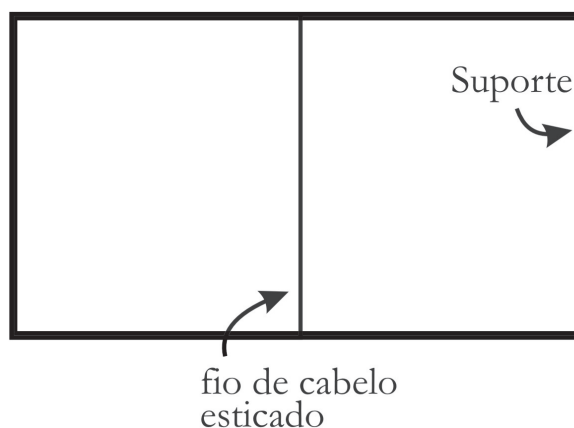
O modelo geométrico não é capaz de explicar todos os comportamentos apresentados pela luz. A difração é um deles. Este experimento permite avaliar qualitativa e quantitativamente esse fenômeno ótico.

Material

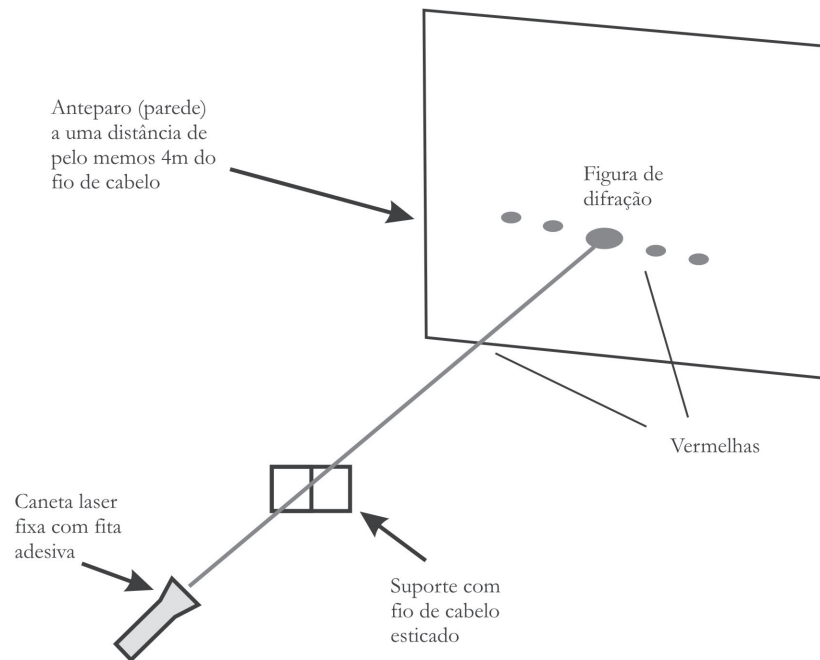
- 1 caneta laser
- 1 fio de cabelo longo de aproximadamente 10 cm
- 1 anteparo para projetar o laser (pode ser uma parede)
- 1 suporte firme para a caneta laser (prendê-la, por exemplo, com uma fita adesiva a um livro apoiado sobre uma mesa).
- 1 suporte vazado para o fio de cabelo (moldura de porta-retrato).

Atividade Experimental

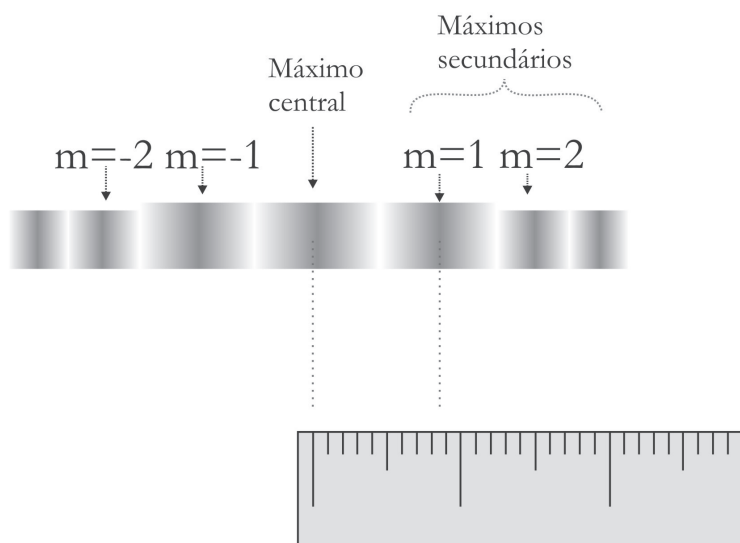
1. Amarre o fio de cabelo a um suporte, algo como a moldura de um porta-retratos, por exemplo, de forma que o fio fique bem esticado, conforme a figura.



2. Fixe a caneta laser com uma fita adesiva a um livro ou outro objeto que sirva como base.
3. Incida o feixe de luz diretamente sobre o fio de cabelo. Você pode ajustá-lo visualmente.
4. Afaste o suporte com o fio de cabelo de pelo menos quatro metros de um anteparo, por exemplo, uma parede branca.
5. Aparecerão na parede uma mancha bastante intensa, na parte central, chamada de máximo central ou máximo de ordem zero, e outras manchas menos intensas que a central, chamadas de máximos secundários, conforme a figura a seguir.



6. A seqüência de manchas intercaladas observada é chamada de figura de difração. Os máximos secundários aparecem devido ao desvio da luz ao incidir no fio de cabelo. Este desvio pode ser medido através de um ângulo, que chamaremos θ . A distância entre estes máximos depende do comprimento de onda do laser, que representamos pela letra grega λ , da espessura d do fio de cabelo, e da distância D do anteparo ao fio de cabelo. A figura observada será parecida com a da figura a seguir.



7. Para verificar que a distância entre os máximos depende de D , afaste ou aproxime o suporte com o fio de cabelo e observe o que acontece com a figura de difração.

8. Com o auxílio de uma régua comum, peça aos alunos que meçam as distâncias entre o máximo central e cada um dos máximos secundários. Peça que anotem as medidas numa tabela similar à tabela seguinte:

Ordem (m)	Distância ao máximo central (x)
1
2
3	...
4

Análise dos dados

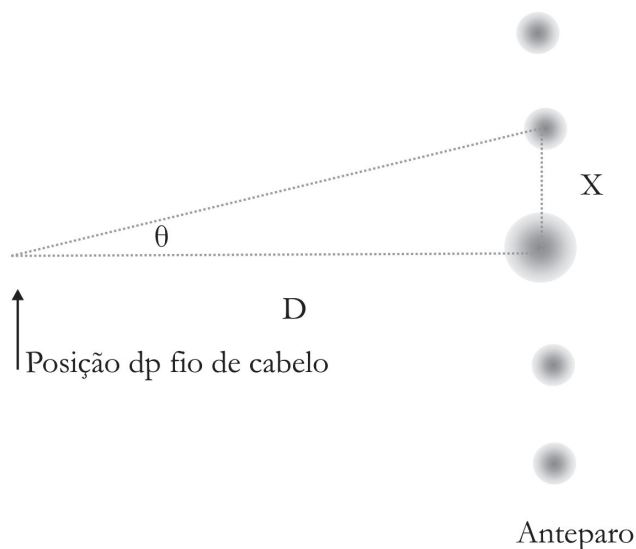
9. A relação entre o diâmetro do fio de cabelo d , a sua distância ao anteparo D , o comprimento de onda do laser λ e a distância entre os máximos x é igual a:

$$d \sin \theta = m \lambda$$

Qual é o comprimento de onda do laser?

10. Geralmente o fabricante informa o comprimento de onda λ do feixe de laser (veja se não está escrito na parte lateral da caneta ou em um manual, por exemplo). Geralmente, o comprimento de onda está na faixa de 630 a 680 nm (1 nanômetro = 1 nm = 10^{-9} m, ou seja, 1 nm = 0,000000001 m)

11. Determinação do ângulo θ : observe a figura a seguir.



Da figura acima, as distâncias x e D definem um triângulo retângulo onde a tangente do ângulo θ vale:

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{x}{D}$$

Como θ é um ângulo pequeno, podemos aproximar a tangente de θ pelo seno θ (verifique com uma calculadora!). Ou seja,

$$\operatorname{sen}\theta \approx \frac{x}{D}$$

Finalmente, podemos determinar a espessura do cabelo usando:

$$d = \frac{\lambda D}{x}$$

ROTEIRO 24 – EXPERIMENTO DE INTERFERÊNCIA DA LUZ

Apresentamos um artigo da Revista Física na Escola, volume 5 (2004), número 2, página 20.

Francisco Catelli

Universidade de Caxias do Sul,
Pontifícia Universidade Católica do RS
fcatelli@ucs.br

Fernanda Lazzari

Universidade de Caxias do Sul,
Instituto de Educação Cecenista Angelo
Antonello, RS
flazzar3@ucs.br

Descrição da Montagem

A simplicidade e eficiência desta montagem estão relacionadas à fonte de luz: um laser de diodo, destes usados como apontadores de transparências em sala de aula. Seu custo é muito baixo (da ordem de 5 reais) e suas características ópticas são perfeitas para esta aplicação. Quando a lente de colimação é retirada, sua luz intensa e monocromática apresenta-se fortemente divergente. O primeiro passo da montagem consiste então em retirar a ponteira do laser e, com a ajuda de um alicate, remover

com cuidado o plástico que retém a lente. Tente não danificá-la: ela poderá ser útil depois. Uma vez retirada a lente, a luz do laser será fortemente divergente, o que é adequado para as nossas necessidades. Para manter o laser ligado, use uma fita adesiva colada sobre a chave, ou um prendedor de roupa.

Quanto à alimentação, se desejado, substitua as pilhas originais (pequenas e de durabilidade exígua) por uma alimentação externa. Sugerimos um soquete para três pilhas comuns, pequenas (1,5 V), com os terminais munidos de garras jacaré pequenas. Coloque as pilhas no soquete e conecte a garra jacaré correspondente ao pólo negativo

O “espelho de Lloyd” é uma das formas possíveis para demonstrar a interferência da luz. Os resultados obtidos são empolgantes e é muito fácil verificar que as franjas observadas são devidas à interferência da luz oriunda dos dois feixes. Os alunos normalmente manifestam grande interesse e motivação pelo assunto

na pequena mola que está localizada no interior do laser. O pólo positivo é ligado em qualquer ponto da carcaça. Com esta alimentação, o laser poderá ser usado continuamente por um tempo muito longo.

A montagem proposta aqui é conhecida na literatura

como “espelho de Lloyd” (Hecht, 1987, p. 343–344), e propicia uma ocasião rara de ver em ação (simultaneamente!) a Óptica Geométrica e a Óptica Física. Com ela é possível visualizar franjas de interferência obtidas através de uma sobreposição de duas fontes: uma, real e a outra, sua

Uma das várias formas possíveis para demonstrar a interferência da luz é o conhecido “espelho de Lloyd”, o qual pode ser usado para ilustrar uma curiosa transição da óptica geométrica para a Óptica Física. Neste trabalho é descrita uma versão deste dispositivo de simples execução e de muito baixo custo. A fonte de luz é um laser de diodo sem a lente colimadora, e o espelho, uma lâmina de vidro comum. Os resultados obtidos são empolgantes: o contraste das franjas claras e escuras é surpreendente e, adicionalmente, é muito fácil verificar que as franjas observadas são devidas à interferência da luz oriunda dos dois feixes. Provavelmente, trata-se de uma das demonstrações diretas mais simples de interferência da luz. Adicionalmente, esta montagem oferece a vantagem de uma transição bastante natural da Óptica Geométrica para a Óptica Física: os alunos descobrem que as franjas de interferência resultam da sobreposição de duas fontes: uma real e a outra virtual. Nos testes feitos até o momento em sala de aula, os alunos manifestaram grande interesse e motivação pelo assunto.

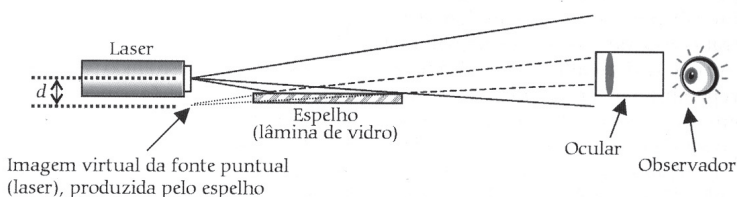


Figura 1. A ocular recebe parte da luz diretamente do laser (linhas cheias), e o restante é o reflexo na lâmina de vidro (linhas pontilhadas). O prolongamento dos raios refletidos no espelho forma a imagem virtual da fonte pontual do laser; d é a distância entre a imagem (virtual) e a fonte (real).

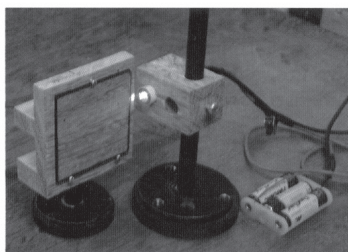


Figura 2. O laser, sem a lente colimadora, foi provido de uma alimentação externa (três pilhas AA). O “espelho” é uma lâmina de vidro, cuja borda foi revestida com uma tira estreita de fita isolante. Uma lente (ocular de 15 X ou a própria lente colimadora do laser) é colocada a 80 cm de distância, apontando para o laser.

imagem especular. Uma parcela da luz da fonte (o laser diodo adaptado como descrito acima) ilumina diretamente uma lente (falaremos dela mais adiante). A outra parcela também ilumina a lente, mas só após ter sido refletida por um espelho. Neste momento ocorre o que mais intriga os estudantes: a luz “interfere com seu reflexo” e as franjas aparecem, ampliadas pela lente (veja o esquema da montagem na figura e a foto de uma das montagens realizadas pelos autores na Fig. 2).

Há alguns detalhes da montagem que merecem uma explanação mais detalhada. Prepare o laser como sugerido acima. Providencie três pedaços de madeira (ou improvise com outros materiais) e prenda num deles o laser com fita adesiva. Prenda no outro pedaço de madeira o “espelho”: uma lâmina de vidro comum com dimensões aproximadas de 5 cm por 5 cm. Para uma melhor proteção na hora de manipular a lâmina de vidro, envolva-a com fita isolante cobrindo as bordas, e recorte o excesso de fita com uma lâmina afiada, por exemplo, um estilete. O resultado pode ser visto na foto da Fig. 2. Se você estranhar o uso de um vidro transparente como espelho, lembre que, em incidências rasantes, praticamente toda a luz é refletida (Hecht, 1987, p. 103).

O terceiro pedaço de madeira servirá para fixar uma ocular de microscópio de 15 X, caso você tenha acesso a uma. Com ela, as franjas de interferência são vistas com extrema

facilidade e apresentam alto contraste, como na foto da Fig. 4. Caso a ocular não esteja disponível, é possível improvisar com a própria lente colimadora retirada do laser: as franjas podem ser distinguidas perfeitamente; porém, devido ao reduzido diâmetro da lente, a visualização não é tão confortável. Um suporte adequado para esta lente pode ser feito seguindo o desenho da Fig. 3.

A montagem é bastante simples e rápida: em primeiro lugar, ajuste o laser de modo que a mancha de luz, que lembra a forma de uma elipse bastante achatada, fique com seu eixo maior paralelo à superfície da mesa de apoio. Com isto, são evitados problemas de baixa visibilidade das franjas, devido à polarização do feixe de laser. Aponte em seguida o feixe divergente do laser da direção da lente ocular e, por fim, use a lâmina de vidro para direcionar a luz refletida também sobre a ocular. A lâmina de vidro deve ter seu plano colocado paralelamente ao laser, e bem próximo ao eixo deste. Veja novamente a Fig. 1 e a foto da Fig. 2 para maior clareza. Procure executar a montagem sobre uma mesa firme; apesar deste dispositivo ser pouco sensível às vibrações mecânicas, estas podem atrapalhar bastante no ambiente de sala de aula, onde há em geral bastante “tráfego” de pessoas.

Resultados

O maior proveito a ser retirado desta montagem é sem dúvida a

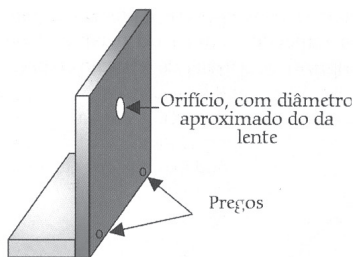


Figura 3. Caso uma lente ocular de 15 X não esteja disponível, a própria lente colimadora do laser de diodo pode ser usada. Um suporte como o da figura pode ser confeccionado em madeira. O orifício com a lente e o laser devem ser montados na mesma altura.

interferência da luz. Em sala de aula, exploramos a montagem da seguinte maneira: cada um dos alunos observou as franjas na ocular; imediatamente após vê-las, o feixe direto de luz foi obstruído (com um pedaço de papel), restando apenas o feixe refletido. O observador continua a ver luz, mas as franjas desaparecem. Uma vez retirado o papel, elas reaparecem. Obstruindo desta vez o feixe refletido (coloque o papel diretamente sobre a face do vidro), o observador vê a luz direta do laser, mas novamente as franjas desaparecem. A partir destas observações, o professor pode explorar as idéias de interferência de dois feixes de luz e o experimento de fenda dupla de Young, a partir de um modelo ondulatório da luz, o qual é de compreensão mais simples.

Uma vez explorado o conceito que leva à fenda dupla de Young (Hewitt, 2002, p. 498 e seguintes), é interessante variar a distância do espelho ao laser: quanto menor for esta distância, maior será o espaçamento entre as franjas. Isto se deve ao fato de que a distância (d na Fig. 1) entre a fonte real e sua imagem especular ter um comportamento em muitos aspectos semelhante ao das duas fendas do experimento de Young¹.

Conclusão

Esta montagem alternativa para o experimento do espelho de Lloyd,

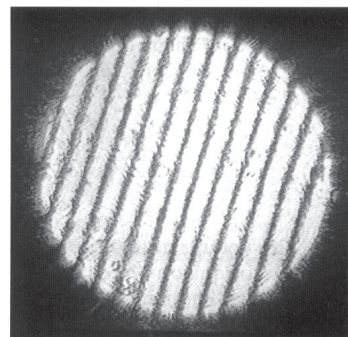


Figura 4. As franjas de interferência, observadas com uma ocular de 15 X. Uma câmara de microscópio foi acoplada à ocular, e a imagem (vista acima) foi fotografada diretamente do monitor (uma TV) com uma câmera digital.

além de ser de muito baixo custo – com aproximadamente R\$ 10,00, é possível adquirir todo o material necessário – pode ser facilmente executada. Há outras demonstrações de execução ainda mais simples (Mahoney, 2003, p. 250, ou Sawicki, 2001, p. 16), porém elas não possibilitam a obstrução alternada dos feixes que produzem a interferência da luz, o que as torna (do ponto de vista dos estudantes) menos convincentes.

A investigação deste “cruzamento” entre a Óptica Geométrica e a Óptica Física é um momento precioso para explorar a curiosidade e a motivação

dos alunos. Além disso, é um ótimo recurso para ser explorado em disciplinas introdutórias de cursos superiores de graduação de Física e de Engenharia.

Nota

¹O ângulo θ de afastamento entre dois máximos de interferência adjacentes é dado pela expressão

$$\theta = \text{arc sen } \lambda/d.$$

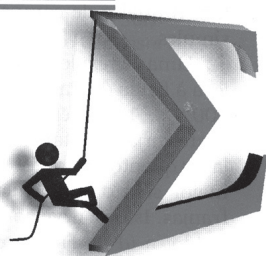
Para obter franjas de interferência mais afastadas umas das outras, deve-se reduzir a distância d entre as fontes (conforme Fig. 1). O compri-

mento de onda λ dos lasers de diodo fica em torno de $0,64 \mu\text{m}$, mas pode variar de alguns poucos por cento de um laser para outro.

Bibliografia

- Eugene Hecht, *Optics* (Addison Wesley, Reading, Massachusetts, 1987), 2ª ed.
- Paul Hewitt, *Física Conceitual* (Bookman, Porto Alegre, 2002), 9ª ed.
- James Mahoney. The Physics Teacher (seção “From Our Files”, editada por Thomas B. Greenslade) **41**, 250 (2003).
- Charles A. Sawicki, The Physics Teacher **16**, 16 (2001).

Desafios



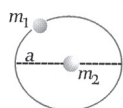
Problemas Olímpicos

Novos Problemas

1 O período T de uma lua de massa m_1 que descreve uma órbita elíptica cujo eixo maior vale a , ao redor de um planeta de massa m_2 , depende de m_1 , m_2 , a e G .

a) Determine a relação mais geral possível entre estas quantidades.

b) Como esse período se compara com o período T' de um outro sistema cujas massas são $2m_1$, $2m_2$ mas de mesmo eixo maior?



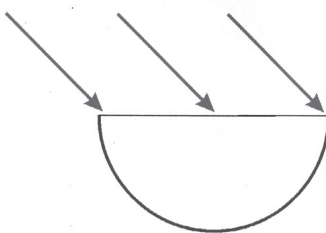
2 Um volume de 300 cm^3 de tolueno líquido a 0°C está em um béquer, enquanto uma outra quantidade de 110 cm^3 de tolueno a 100°C está em um outro béquer (o volume combinado é de 410 cm^3). Determine o volume total da mistura dos dois líquidos após serem misturados. Considere o coeficiente de expansão volumétrico $\beta = 0.001 \text{ C}^{-1}$, e

despreze qualquer outra forma de perda de calor.

*II Olimpíada Internacional de Física
Budapeste, Hungria, 1968*

3 Um raio de luz paralelo incide sobre a superfície plana de um prisma semi-circular com ângulo de incidência de 45° . O raio sofre refração na superfície plana e atinge a superfície curva do prisma (veja figura). Se o índice de refração do prisma é $\sqrt{2}$, analise todos os raios que emergem da superfície curva.

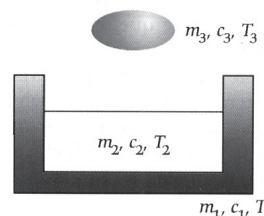
*II Olimpíada Internacional de Física
Budapeste, Hungria, 1968*



Interferência da Luz e o Espelho de Lloyd

4 Um calorímetro de cobre de massa m_1 contém uma massa m_2 de água. A temperatura do conjunto água e calorímetro é T_{12} . Um pedaço de gelo de massa m_3 e temperatura T_3 é colocado gentilmente dentro do calorímetro. Sabendo que as temperaturas são dadas em graus centígrados, que o calor latente do gelo vale $L \text{ kcal/kg}$ e que os calores específicos do calorímetro, da água e do gelo são respectivamente c_1 , c_2 e $c_3 \text{ kcal/kg.C}$, determine todas as temperaturas da mistura se T_3 for negativo.

*III Olimpíada Internacional de Física
Brno, Czechoslovakia, 1969*



Física na Escola, v. 5, n. 2, 2004

