

Vivian Machado de Menezes (org.)

Claudio Clauderson Xavier

Daniele Guerra da Silva

Bruna Lange Martins

$$E=MC^2$$

MÃOS À OBRA

EXPERIMENTOS DE FÍSICA
ECONÔMICOS E DESCOMPLICADOS


UFFS
EDITORA

MÃOS À OBRA

EXPERIMENTOS DE FÍSICA
ECONÔMICOS E DESCOMPLICADOS

Vivian Machado de Menezes (Org.)

Claudio Clauderson Xavier

Daniele Guerra da Silva

Bruna Lange Martins



SUMÁRIO

LISTA DE UNIDADES DE MEDIDA	4
APRESENTAÇÃO	5
INTRODUÇÃO	7
1 MECÂNICA	9
2 FLUIDOS	64
3 MOVIMENTO ONDULATÓRIO	112
4 FENÔMENOS TÉRMICOS	126
5 ELETROMAGNETISMO	165
6 ÓPTICA	191
REFERÊNCIAS	230
SOBRE OS AUTORES	235
AGRADECIMENTOS	237

LISTA DE UNIDADES DE MEDIDA

A – ampère

cm – centímetro

cm³ – centímetro cúbico

°C – graus Celsius

g – grama

kg/m³ – quilograma por metro cúbico

m³ – metro cúbico

g/cm³ – grama por centímetro cúbico

J/kg·K – joule por quilograma por kelvin

J/mol·K – joule por mol por kelvin

kJ/mol – quilojoule por mol

K – kelvin

m – metro

m/s – metro por segundo

m/s² – metro por segundo ao quadrado

mL – mililitro

N – Newton

N/m – Newton por metro

Pa – pascal

s – segundo

V – volt

Ω – ohm

Ω.m – ohm metro

APRESENTAÇÃO

Nesta obra, exploramos alguns princípios fundamentais da Física utilizando experimentos e modelos didáticos construídos com materiais de baixo custo e recursos acessíveis a todos, sem comprometimento de orçamento. Nosso objetivo é proporcionar uma abordagem prática e técnica para a demonstração de fenômenos físicos, permitindo que estudantes, educadores e curiosos explorem conceitos complexos com materiais simples e econômicos. Sabemos que nem sempre é viável contar com equipamentos sofisticados de um laboratório didático, mas acreditamos que a falta de recursos não deve ser um obstáculo para a exploração e a descoberta científicas.

Neste livro, está disponível uma ampla variedade de experimentos e modelos projetados para demonstrar teorias e conceitos da Física, que vão desde a Mecânica até a Óptica, passando por tópicos como Termodinâmica e Eletromagnetismo, oferecendo uma oportunidade única de aprendizado prático. Ao utilizarmos materiais de baixo custo e reciclados, exploramos conceitos como força, pressão, energia, movimento e eletricidade. Com instruções detalhadas e explicações teóricas, o leitor será capaz de compreender os fenômenos físicos relacionados a cada experimento e observar sua aplicação no cotidiano.

Além de fornecer um recurso para estudantes em busca de atividades complementares, nosso livro também é uma ferramenta para professores que desejam tornar suas aulas de Física mais interessantes. Ao estimularmos a participação ativa dos alunos e promovermos a experimentação prática, poderemos cultivar o interesse pela Ciência e incentivar o pensamento crítico. Ele se baseia nos frutos de um projeto de iniciação científica intitulado *Experimentos de Física utilizando materiais de baixo*

custo realizado na Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Laranjeiras do Sul, sob a coordenação da professora doutora em Física Vivian Machado de Menezes.

Vivian Machado de Menezes, organizadora, é autora da obra, juntamente com Claudio Clauderson Xavier, licenciado em Educação do Campo: Ciências Naturais, Matemática e Ciências Agrárias e estudante de Engenharia de Alimentos, Daniele Guerra da Silva, técnica do laboratório de Física da universidade e professora de Física da Educação Básica e Bruna Lange Martins, acadêmica do curso de graduação em Ciências Biológicas.

Desejamos que as práticas de baixo custo sejam facilitadoras do processo ensino-aprendizagem em Física e motivadoras da popularização da Ciência. Desejamos que a Física esteja ao alcance de todos.

INTRODUÇÃO

As atividades práticas desempenham um papel fundamental no ensino de Física. É fato que essas atividades são praticamente inexistentes na rotina escolar, por falta de recursos ou tempo, especialmente nos primeiros anos da Educação Básica, período em que as atividades são essenciais para a construção de uma visão científica. É nesse momento da vida escolar que os alunos começam a compreender as leis, os fatos e fenômenos naturais.

A qualidade da Educação depende de diversos elementos, incluindo a infraestrutura escolar, o desempenho dos professores, a integração da comunidade escolar e o funcionamento adequado da instituição (Andrade; Massabni, 2011). No atual cenário educacional, em que recursos e infraestrutura são grandes desafios, é fundamental buscar soluções criativas e acessíveis para tornar o ensino de Ciências, em especial o da Física, mais próximo e compreensível para os estudantes.

As atividades práticas e experimentais são importantes porque permitem que os alunos construam conhecimento a partir de situações do cotidiano. Essas atividades estimulam a participação dos discentes, pois incentivam que interajam com os materiais, explorem sua curiosidade e assumam um papel ativo na ampliação e consolidação do seu aprendizado (Gonçalves *et al.*, 2020). Os laboratórios de Ciências são reconhecidos como espaços essenciais para o desenvolvimento de aulas experimentais, conforme destacado por Blosser (1988), sendo que eles proporcionam oportunidades de observação e estimulam o interesse dos alunos. Entretanto, sabemos que contar com um laboratório didático não é a realidade de muitas escolas brasileiras.

Este livro é um guia prático e também uma ferramenta para educadores e estudantes interessados em explorar a Física; é apresentada uma

abordagem inovadora para o ensino de Física, por meio de experimentos de baixo custo, que são práticos, acessíveis e envolventes. Nosso principal objetivo é oferecer essa alternativa viável através de roteiros para a prática experimental, mesmo em ambientes com recursos limitados, como escolas sem laboratórios especializados.

Cada experimento foi cuidadosamente selecionado e elaborado, tendo como base estudos teóricos detalhados em bases confiáveis para garantir sua relevância e eficácia didática. Os experimentos foram elaborados considerando a sua viabilidade econômica, prática e também sua capacidade de ilustrar conceitos físicos de forma clara e interessante para os alunos.

Além da descrição do passo a passo de cada experimento, este livro oferece um embasamento teórico sólido, possibilitando uma compreensão aprofundada dos fenômenos estudados. Para ampliar ainda mais o alcance e a utilidade deste material, desenvolvemos vídeos explicativos que complementam os experimentos descritos no livro; eles estão disponíveis gratuitamente no canal *Fiscalha* no YouTube e em nossa página no Instagram, oferecendo aos educadores e estudantes uma forma dinâmica e interativa de explorar os conceitos científicos abordados nos experimentos. Essa abordagem multimídia visa enriquecer a experiência de aprendizado e facilitar o acesso ao conhecimento científico de forma atrativa.

Esperamos que os experimentos aqui apresentados motivem novas descobertas e contribuam para a disseminação do pensamento científico em nosso país.

ATIVIDADE 1.1: AÇÃO E REAÇÃO

Objetivo

Demonstrar na prática o fenômeno de ação e reação (terceira lei de Newton).

Materiais utilizados:

1. dois elásticos;
2. duas esferas de aço de, aproximadamente, 14 g cada;
3. dois lápis;
4. papel pardo (opcional);
5. três parafusos;
6. suporte de madeira (aproximadamente 12 cm x 14 cm);
7. pedaço de barbante (aproximadamente 20 cm);
8. parte interior de uma caixa de fósforo (gaveta);
9. fita crepe;
10. cola instantânea.

Figura 1 – Materiais utilizados no experimento “ação e reação”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Primeiramente, deve-se cortar um pedaço de madeira de aproximadamente 12 cm x 14 cm, que servirá como base. Em seguida, colam-se os parafusos de cabeça para baixo com a cola instantânea, de modo que formem um triângulo. Se julgar necessário, pode-se encapar a base com o papel pardo (nesse caso, foi encapado), para melhorar a aparência. Feito isso, deve-se emendar dois elásticos um no outro, amarrando-os pelas pontas, considerando-os como um único elástico, que agora tem um comprimento maior, e fixar cada uma de suas pontas nos parafusos que formam a base do triângulo. A Figura 2 mostra os detalhes da montagem do experimento.

Figura 2 – Parafusos fixados no suporte de madeira formando um triângulo

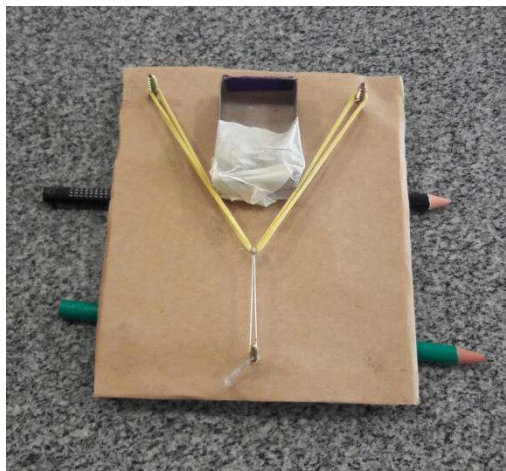


Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Em seguida, devemos amarrar uma linha no ponto central em relação ao comprimento dos elásticos já emendados e esticá-los até que seja possível prender a linha no terceiro parafuso. Essa linha atuará como gatilho, conforme a Figura 3.

Depois de montar esse “sistema de propulsão”, devemos posicionar dentro do triângulo formado pelos parafusos, próximo ao vértice formado pelo elástico, as duas esferas de aço que serão fixadas dentro da caixa de fósforo com fita crepe. Essa caixa, junto com as esferas, servirá como um projétil que será lançado após o acionamento do gatilho. Para demonstrar com melhor eficiência alguns fenômenos físicos relacionados à terceira lei de Newton, será necessário colocar esse sistema em cima de dois lápis paralelos, para que funcionem como “rodas”, diminuindo o atrito com a mesa onde está montado, como nos mostra a figura a seguir.

Figura 3 – Experimento já montado, faltando apenas acionar o “gatilho”

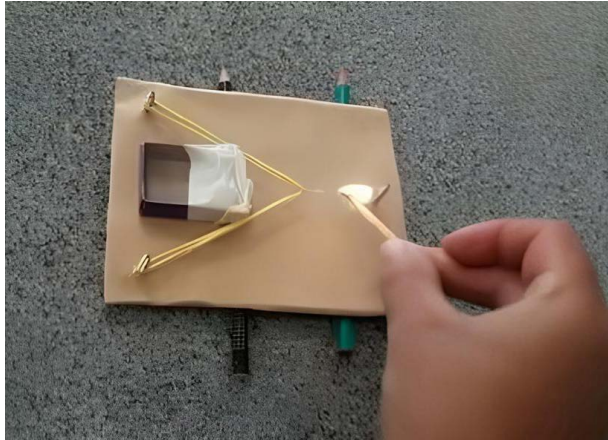


Fonte: elaborada pelos autores (2023).

PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Com esse sistema já montado, devemos acionar o “gatilho”, o que irá disparar a caixa e as esferas (em conjunto), fazendo com que entrem em movimento. Ao acionar o “gatilho”, o suporte também realizará um movimento, mas em sentido oposto ao do projétil. O “gatilho” é acionado com o uso de um palito de fósforo: deve-se queimar a linha (também pode-se cortar a linha com qualquer objeto cortante) para que comecem a agir forças horizontais nesse sistema. Ao romper-se a linha, a força exercida pelo elástico deixa de sofrer sua contraposição, que era exercida pela linha e mantém o repouso do sistema, e passa a impulsionar o projétil em um sentido e o suporte em sentido contrário, demonstrando, assim, o Princípio da Ação e Reação.

Figura 4 – Experimento já montado sendo acionado o “gatilho”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Ao acionarmos o “gatilho” e dispararmos o projétil, o projétil e o suporte realizam movimentos em sentidos opostos, tendo características próprias como suas massas e suas relações com as forças dissipativas de movimento. Nesse caso, atuam principalmente a força de atrito e a resistência do ar, com valores diferentes entre o projétil e o suporte.

Com esse experimento, é possível verificar conceitos físicos relacionados à terceira lei de Newton (Princípio da Ação e Reação), pois, ao disparar-se o gatilho, percebe-se uma movimentação em ambas as partes do sistema, demonstrando que, quando o suporte exerce uma força sobre o projétil através dos elásticos, esse projétil também exerce uma força sobre o suporte em sentido oposto, o que também explica o estado de repouso antes de disparar-se o gatilho.

A terceira lei de Newton, também conhecida como Princípio da Ação e Reação, afirma que, para toda ação, há sempre uma reação de igual magnitude, mas em sentido contrário. Em outras palavras, quando um objeto exerce uma força sobre outro objeto, o segundo objeto reage exer-

cendo uma força de mesma intensidade, mesma direção, mas em sentido oposto, sobre o primeiro objeto. Vale ressaltar que essa interação entre dois corpos origina forças de mesma natureza, porém as forças atuam em corpos diferentes e, por isso, elas não se anulam. Dessa forma, os efeitos das forças são distintos. As forças de ação e reação ocorrem sempre aos pares e uma força não existe sem a outra (Gaspar, 2010b; Hewitt, 2015). Essa lei descreve a natureza simétrica das interações entre dois corpos e é fundamental para compreender o movimento dos objetos.

Figura 5 – Execução do experimento “ação e reação”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Nesse experimento, também podemos comparar e relacionar o momento linear com a massa de cada uma das partes do sistema, demonstrando a relação de proporção entre quantidade de movimento e massa. O momento linear, também conhecido como quantidade de movimento, é uma grandeza física que descreve o estado de movimento de um objeto, sendo definido como o produto da massa de um objeto pela sua velocidade (Gaspar, 2010b). No experimento, é visível que, ao mudar-se a massa do projétil, também se altera a sua velocidade após o acionamento do gatilho. Também poderíamos abordar nesse experimento tópicos como o princípio da conservação do momento linear: em um sistema isolado, a quantidade total de movimento antes de uma interação é igual à quantidade total de

movimento após a interação. Essa conservação do momento linear é um importante princípio na Física e é aplicada em várias áreas, como colisões de objetos, propulsão de foguetes, entre outras (Hewitt, 2015). Aqui não ampliaremos as discussões nesse sentido, pois nosso foco foi explicar o experimento em termos da terceira lei de Newton.

ATIVIDADE 1.2: DISCO SEM ATRITO

Objetivo

Demonstrar a existência do atrito e sua oposição ao movimento de um disco de papelão.

Materiais utilizados:

1. tubo de uma caneta (parte externa);
2. pedaço de papelão (20 cm x 20 cm);
3. tesoura;
4. dois balões;
5. pedaço de cartolina ou papel cartão;
6. cola instantânea;
7. tampinha da parte de trás do tubo de uma caneta.

Figura 6 – Materiais utilizados no experimento “disco sem atrito”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

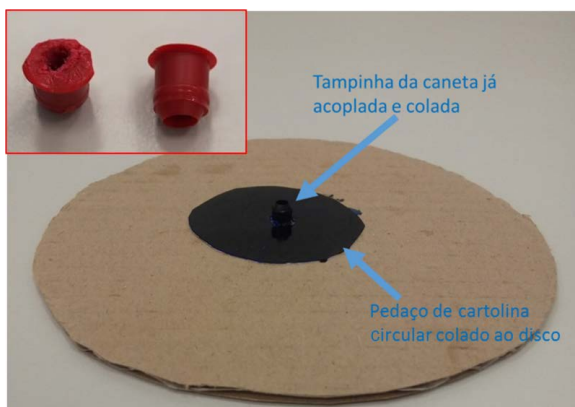
Montagem do experimento

Primeiramente, com a ajuda de uma tesoura, devemos recortar o papelão para que ele fique em formato de um disco de aproximadamente 20 cm de diâmetro. Após isso, devemos fazer um furo no centro do disco com o mesmo diâmetro do eixo (parte interior) da tampinha de trás do tubo da caneta utilizada, que mede em torno de 4 mm. A tampinha deve ser furada com a mesma medida de seu diâmetro interior, para possibilitar a saída de ar do sistema. Em seguida, com o uso da cola instantânea, devemos colar a tampinha no furo feito no papelão, de maneira que depois seja possível encaixar a tampinha no tubo da caneta – ver os detalhes do encaixe da tampinha no disco na Figura 7. Após a fixação da tampinha, devemos recortar um pedaço circular de cartolina com 6 cm de diâmetro.

Esse pedaço de cartolina servirá para ajudar a prender e fixar a tampinha da caneta no papelão com a base do experimento.

Após a montagem da base do experimento, devemos acoplar o balão na extremidade do tubo da caneta oposta ao encaixe da tampinha. Esse balão é fixado ao tubo com a extremidade de um segundo balão, que é recortado e serve como um elástico. Feito isso, devemos encaixar a caneta na base. As Figuras 8 e 9 ilustram os detalhes dessa montagem.

Figura 7 – Disco com a tampinha e o pedaço de cartolina já colado, com o furo na tampinha detalhado



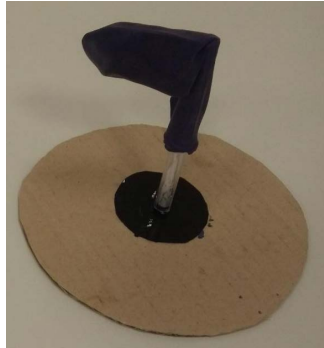
Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 8 – Balão preso ao tubo da caneta



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 9 – Experimento “disco sem atrito” completamente montado



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Procedimentos experimentais

Devemos encher o balão com ar e, para isso, retirar a caneta da base e inflar com a boca pela extremidade livre da caneta. Feito isso, encaixar a caneta novamente à base, cuidando para que escape o mínimo de ar possível do balão. Com o balão inflado, devemos colocar a base do experimento em contato com uma superfície plana lisa, soltar e provocar movimentos no experimento (através de pequenos empurrões).

Figura 10 – Experimento “disco sem atrito” em funcionamento



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Análise dos resultados

Ao liberarmos o experimento na superfície lisa, percebemos que, enquanto o ar estiver saindo do balão, o aparato experimental pode ser movimentado facilmente; quando o ar “acaba”, aumenta a aderência do aparato sobre a superfície, havendo uma maior resistência à movimentação. Isso acontece porque o escoamento do ar proveniente da bexiga entre a base de papelão e a superfície faz com que a base tenha uma menor aderência sobre a mesa e acabe se movimentando sobre uma camada de ar: o atrito é reduzido e a resistência ao movimento proveniente do contato entre a base e a mesa torna-se menor.

Atrito é uma força resistiva que age entre dois objetos em contato quando um dos objetos tenta mover-se ou já está em movimento em relação ao outro (Kazuhito; Fuke, 2010). Essa força age na direção oposta à do movimento relativo dos objetos e depende das propriedades das superfícies em contato, da força normal entre os objetos e de outros fatores, como a presença de lubrificantes. Nesse experimento, é possível observar que existe a força de atrito entre o disco de papelão e a mesa, mas que essa força é reduzida enquanto estiver saindo ar do balão.

ATIVIDADE 1.3: TORQUE E CONTRAPESOS

Objetivo

Demonstrar a relação entre a distância do eixo de rotação de um sistema e a força aplicada na intensidade de um torque.

Materiais utilizados:

1. régua;
2. bateria de 9V;
3. calculadora;
4. três moedas (não precisam ser iguais);
5. balança.

Figura 11 – Materiais utilizados no experimento “torque e contrapesos”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Utilizando a balança e a régua, devemos medir a massa das moedas e anotar os valores. Em seguida, devemos posicionar a bateria horizontalmente sobre uma mesa, de maneira que fique voltada para cima a dimensão que tem a segunda maior área superficial. Devemos posicionar a régua sobre a pilha, fazendo com que um ponto central na face de cima da pilha coincida com o ponto central em relação ao comprimento da régua (ver Figura 12), para que a régua possa ficar equilibrada sobre a pilha (o sistema ficará parecido com uma gangorra). Nesse experimento, as moedas servirão de peso para que se consiga analisar fisicamente o torque.

Figura 12 – Eixo de rotação do sistema (o ponto central na régua e na bateria coincidem)



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Procedimentos experimentais

Nesse experimento, conhecendo os valores das massas das moedas, podemos indicar matematicamente qual deve ser a posição das moedas sobre a régua para que, devido à igualdade de torque realizado em cada uma das duas extremidades, o sistema entre em equilíbrio. Nessa análise, para dar uma maior diferença entre os contrapesos que equilibrarão o torque, foram utilizadas três moedas: uma de 10 centavos (de menor massa) e outras duas de 25 centavos (de massa maior), que foram sobrepostas no mesmo ponto.

Para executarmos o experimento, devemos escolher uma posição para colocar o centro da primeira moeda – que pode ser a de 10 centavos, por exemplo – e, com base nos cálculos de torque, colocar o centro das moedas restantes na posição calculada de forma a equilibrar os torques nos dois lados da régua. Deve-se observar a situação de equilíbrio do sistema e mudar as posições das moedas para verificar situações em que não há o equilíbrio dos torques.

Na tabela a seguir, estão listados os valores aferidos de massa de cada uma das moedas, medidos em centímetros e gramas, respectivamente, para posterior cálculo do torque.

Tabela 1 – Dados das moedas utilizadas no experimento “torque e contrapesos”

Moeda	Massa (g)
10 centavos	4,8
25 centavos	7,6
25 centavos	7,6

Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Uma definição simplificada de torque indicaria que é a tendência que um objeto tem de girar em torno de um eixo específico, sendo que sua fórmula matemática é dada por:

$$T = F \cdot X \cdot \text{sen } \alpha \quad (1)$$

onde:

T equivale ao torque (medido em N.m, no SI);

F é a força aplicada ao ponto determinado (medida em N, no SI);

X é a distância do ponto em que será aplicada a força e o eixo de rotação (medida em m, no SI);

sen é a operação trigonométrica seno;

α é o ângulo entre a direção da força aplicada e uma reta imaginária que cruza o eixo e o ponto onde será aplicada a força (em graus).

Essa definição leva em consideração tanto a magnitude da força aplicada quanto a sua direção e o braço de alavanca, que é a distância perpendicular entre o eixo de rotação e a linha de ação da força (Kazuhito; Fuke, 2010).

Inicialmente foi escolhida uma distância de 14 cm do eixo localizado no centro da régua (que coincide com o centro da bateria) para colocar a moeda de 10 centavos. Partindo do raciocínio matemático para acharmos a posição em que deveríamos colocar as duas moedas de 25 centavos, chegamos à conclusão de que, para que o sistema entre em equilíbrio, o

torque exercido de um lado deve ser igual ao torque exercido do outro lado. Então temos:

$$T_{\text{de um lado}} = T_{\text{do outro lado}}$$

Logo,

$$F_{10 \text{ centavos}} \cdot X_{10 \text{ de centavos}} \cdot \text{sen}90^\circ = F_{25 \text{ centavos}} \cdot X_{25 \text{ centavos}} \cdot \text{sen}90^\circ$$

Como, de um lado do sistema, temos uma moeda de 10 centavos e, do outro lado, temos duas de 25 centavos, devemos multiplicar por dois a massa da moeda de 25.

$$4,8 \text{ g} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 14 \text{ cm} \cdot \text{sen}90^\circ = (2 \cdot 7,6 \text{ g}) \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot X_{25 \text{ centavos}} \cdot \text{sen}90^\circ$$

$$4,8 \text{ g} \cdot 14 \text{ cm} \cdot 1 = 15,2 \text{ g} \cdot X_{25 \text{ centavos}} \cdot 1$$

$$67,2 \text{ g.cm} = 15,2 \text{ g} \cdot X_{25 \text{ centavos}}$$

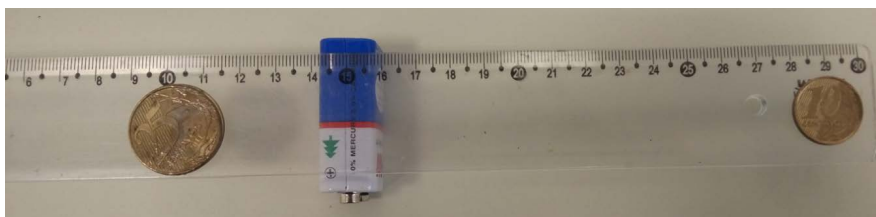
$$X_{25 \text{ centavos}} = 4,42 \text{ cm}$$

Realizando os cálculos matemáticos, chegamos ao resultado indicando que as duas moedas de 25 centavos devem ser postas a uma distância de aproximadamente 4,4 cm do eixo, devendo ser colocadas uma sobre a outra.

Análise dos resultados

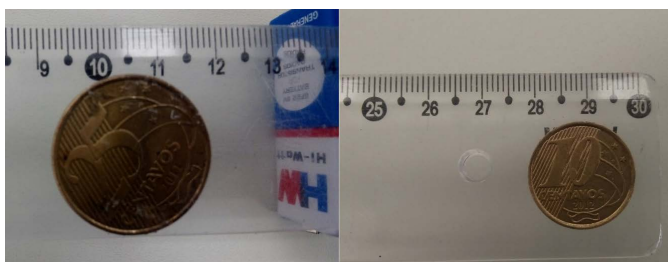
Após acharmos o ponto em que, teoricamente, as moedas devem ser posicionadas, realizamos o teste na prática. Nesse teste experimental, não podemos esquecer que a posição na qual devem estar as moedas tem que coincidir com seus centros de massa. Observando a Figura 13, podemos comprovar que o valor encontrado matematicamente foi o que de fato equilibrou o sistema na prática.

Figura 13 – Experimento “torque e contrapesos” na situação de equilíbrio



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 14 – Detalhes da Figura 13 ampliados



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

ATIVIDADE 1.4: VELOCIDADE TERMINAL DE UMA ESFERA NO ÓLEO

Objetivos:

- analisar e identificar o movimento retilíneo uniforme (MRU) de uma partícula;
- relacionar graficamente as grandezas físicas do movimento;
- determinar o valor da velocidade terminal de uma partícula que se move em óleo de cozinha.

Materiais utilizados:

1. borracha de câmara de pneu;
2. caneta hidrográfica;
3. celular;

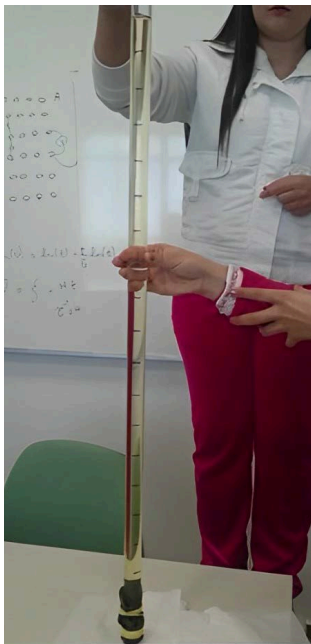
4. elástico de dinheiro;
5. esferas de aço (duas de diâmetros diferentes);
6. ímã;
7. óleo de cozinha;
8. régua ou trena;
9. seringa;
10. tubo de material transparente, preferencialmente com comprimento maior que 1,00 m;
11. computador com o programa Tracker instalado ou celular com aplicativo de análise de vídeo.

Figura 15 – Objetos utilizados no experimento de MRU
“velocidade terminal de uma esfera no óleo”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 16 – Montagem do experimento “velocidade terminal de uma esfera no óleo”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

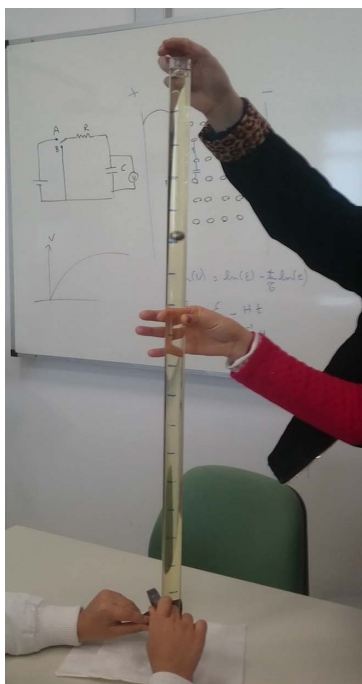
Primeiramente, deve-se colocar a borracha de pneu na parte inferior do tubo transparente e amarrar com o elástico de dinheiro, de maneira que uma das extremidades do tubo fique bem vedada. Logo após, pegar a caneta hidrográfica e a régua e fazer uma marcação no tubo a cada 5 cm. Suspender o tubo na posição vertical com a extremidade fechada para baixo e depois colocar o óleo no tubo, deixando aproximadamente 5 cm sem encher para que não transborde durante a realização do experimento. Também reservar uma seringa para, se for necessário, adicionar ou retirar óleo do tubo.

Procedimentos experimentais

Depois de feita a montagem do experimento, deve-se soltar duas esferas de tamanhos diferentes na parte superior da coluna de óleo do tubo; primeiramente, soltar a esfera de diâmetro menor e, logo depois, a de

diâmetro maior. Pedir para que outra pessoa se posicione em frente ao sistema e filme a queda de cada esfera pelo óleo com um celular. Depois, com o auxílio do programa Tracker, observar quanto tempo as esferas levam para chegar a cada marcação do tubo ou de outras posições que possam ser facilmente analisadas através do aplicativo (no nosso caso, foram medidos os tempos de seis marcações ao longo do tubo). Observe-se que queremos analisar a situação em que a esfera atinge a velocidade terminal, que é uma velocidade constante. A esfera inicialmente se deslocará pelo óleo com certa aceleração, até um determinado ponto em que cai com velocidade constante. Por esse motivo, iniciamos nossas medidas tomando o ponto de referência nulo, a sétima marcação (contando de baixo para cima), e desprezamos o movimento da esfera nas partes superiores a esse ponto.

Figura 17 – Experimento “velocidade terminal de uma esfera no óleo”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Repetir esse procedimento três vezes para cada esfera, de modo a obter uma análise mais precisa do experimento. Retirar as esferas do tubo com o auxílio do ímã, fazendo o ímã atrair as esferas que estarão na parte inferior do tubo, elevando-as até a extremidade superior.

Preencher as Tabelas 2, 3, 4, 5, 6 e 7 com os valores de tempo medidos e calcular as velocidades médias do movimento das duas esferas. Construir os gráficos da posição em função do tempo referente a cada esfera e, através da inclinação do gráfico, obter a velocidade do movimento.

Análise dos resultados

O tempo para a passagem das esferas de aço pelas diferentes marcações no tubo com óleo foi cronometrado três vezes: para cada lançamento da esfera, foram feitas seis medidas. As Tabelas 2, 3, 4, 5, 6 e 7 mostram as medidas de tempo para as respectivas posições das duas esferas, analisadas através do programa Tracker. Devido a algumas dificuldades em conseguir parar o vídeo no tempo exato em que a esfera passa pelas posições marcadas no tubo, os tempos foram medidos através do uso do Tracker em diferentes posições. Mesmo com essa dificuldade, a medida no programa se faz necessária, devido à rapidez com que as esferas caem no óleo, como pode ser observado pelos tempos medidos a seguir, que são menores do que um segundo.

Tabela 2 – Medidas de tempo para respectivas posições observadas para a esfera pequena (amostra 1)

Posição (cm)	5,00	11,00	16,00	24,00	31,00	35,00
Tempo 1 (s)	0,084	0,185	0,270	0,438	0,539	0,623

Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Tabela 3 – Medidas de tempo para respectivas posições observadas para a esfera pequena (amostra 2)

Posição (cm)	6,00	11,00	15,00	20,00	36,00	40,00
Tempo 2 (s)	0,101	0,185	0,270	0,354	0,623	0,707

Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Tabela 4 – Medidas de tempo para respectivas posições observadas para a esfera pequena (amostra 3)

Posição (cm)	5,00	10,00	21,00	26,00	30,00	35,00
Tempo 3 (s)	0,084	0,168	0,354	0,438	0,522	0,606

Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Tabela 5 – Medidas de tempo para respectivas posições observadas para a esfera grande (amostra 1)

Posição (cm)	5,00	10,00	15,00	20,00	30,00	35,00
Tempo 1 (s)	0,101	0,202	0,303	0,404	0,590	0,691

Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Tabela 6 – Medidas de tempo para respectivas posições observadas para a esfera grande (amostra 2)

Posição (cm)	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	40,00
Tempo 2 (s)	0,101	0,202	0,303	0,387	0,488	0,792

Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Tabela 7 – Medidas de tempo para respectivas posições observadas para a esfera grande (amostra 3)

Posição (cm)	9,00	15,00	20,00	40,00	45,00	51,00
Tempo 3 (s)	0,185	0,303	0,388	0,792	0,893	0,994

Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Para a realização dos cálculos da velocidade, foram utilizados os valores das tabelas e a seguinte equação (Halliday *et al.*, 2009c):

$$v = \frac{x - x_0}{t - t_0} \quad (2)$$

onde:

v é a velocidade (média ou instantânea) da partícula (medida em m/s, no SI);

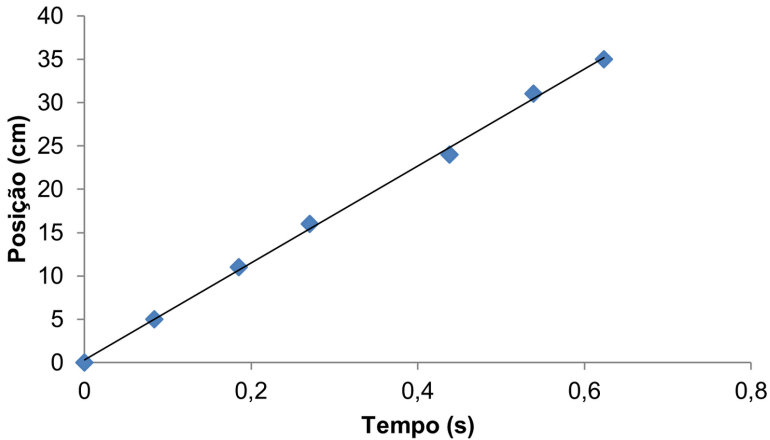
x é a posição da partícula num dado tempo t (medida em m, no SI);

x_0 é a posição inicial da partícula, para o tempo t_0 (medida em m, no SI).

Foram calculadas as velocidades das esferas ao passarem pelas diferentes posições e observou-se um valor aproximadamente constante, o que caracteriza um movimento retilíneo uniforme. Como os valores para as seis medidas eram aproximadamente os mesmos, foi tomada a velocidade média de cada lançamento, obtida através da média aritmética simples entre os seis valores de cada amostra (lançamento). Foram obtidos, para a esfera pequena, os valores de 57,79 cm/s, 57,55 cm/s e 58,83 cm/s para a velocidade média das amostras 1, 2 e 3, respectivamente, sendo a média dessas velocidades igual a 58,05 cm/s. Já para a esfera grande, os valores estimados para a velocidade média foram 49,92 cm/s, 50,32 cm/s e 50,32 cm/s para amostras 1, 2 e 3, respectivamente, sendo a média dessas velocidades igual a 50,19 cm/s.

Adiante, os gráficos das Figuras 18, 19, 20, 21, 22 e 23 ilustram o comportamento da posição variando com o tempo para todas as amostras de queda das esferas no óleo; observa-se, em todos os casos, o comportamento linear, característico do movimento retilíneo uniforme. A inclinação da reta num gráfico de posição x tempo, no MRU, fornece a velocidade do movimento (Halliday *et al.*, 2009c) e, por isso, determinamos a velocidade também dessa forma, conforme a legenda de cada figura.

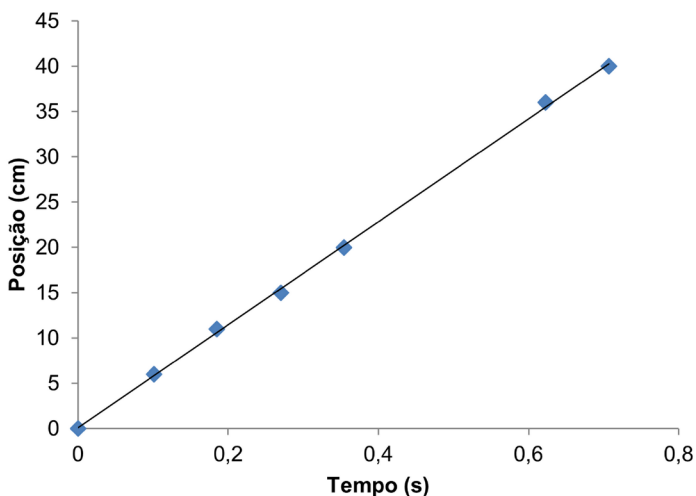
Figura 18 – Gráfico da posição x tempo para o experimento “velocidade terminal de uma esfera no óleo”, para a esfera pequena, amostra 1 – pela inclinação do gráfico, a velocidade do movimento dessa esfera é de 55,956 cm/s



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

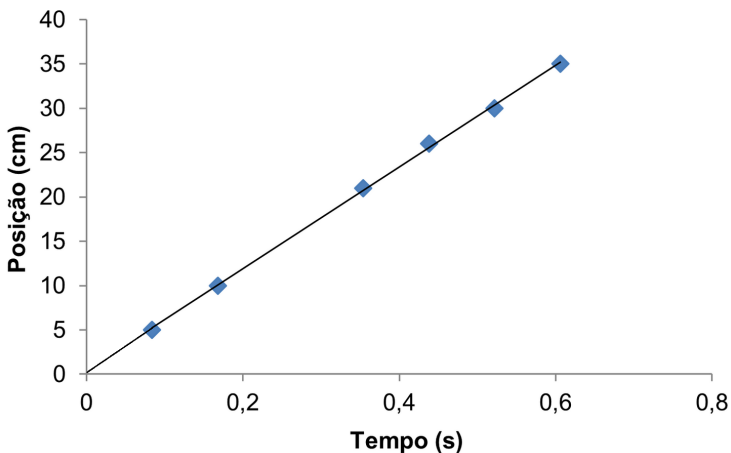
O deslocamento em linha reta das esferas, e sem aceleração, ocorre devido à condição de equilíbrio das forças que atuam na esfera em questão. As forças de atuação são o peso, para baixo, o empuxo, para cima, e uma terceira força de resistência ao movimento da esfera no fluido, a força de arraste (Serway; Jewett, 2012a). Essas três forças se compensam, de modo que a esfera (em todos os casos) atinge a velocidade terminal ao se deslocar pelo fluido, sendo essa uma velocidade constante e a máxima velocidade do movimento. Considerando que a observação desse tipo de comportamento na natureza é difícil, os experimentos estudados demonstraram-se eficientes para a abordagem e a visualização do movimento retilíneo uniforme.

Figura 19 – Gráfico da posição x tempo para o experimento “velocidade terminal de uma esfera no óleo”, para a esfera pequena, amostra 2 – pela inclinação do gráfico, a velocidade do movimento dessa esfera é de 56,83 cm/s



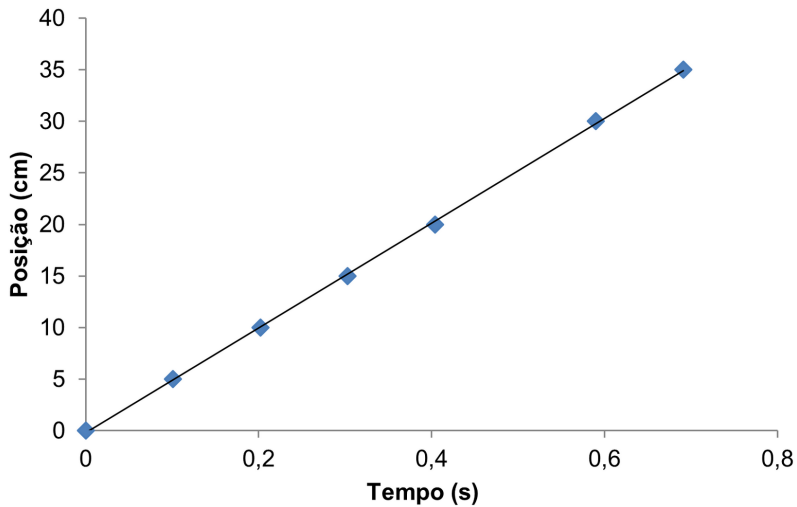
Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 20 – Gráfico da posição x tempo para o experimento “velocidade terminal de uma esfera no óleo”, para a esfera pequena, amostra 3 – pela inclinação do gráfico, a velocidade do movimento dessa esfera é de 57,77 cm/s



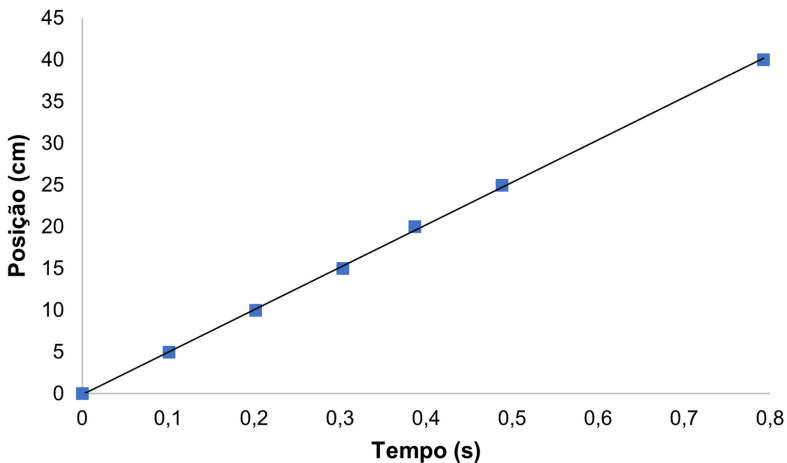
Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 21 – Gráfico da posição x tempo para o experimento “velocidade terminal de uma esfera no óleo”, para a esfera grande, amostra 1 – pela inclinação do gráfico, a velocidade do movimento dessa esfera é de 50,80 cm/s



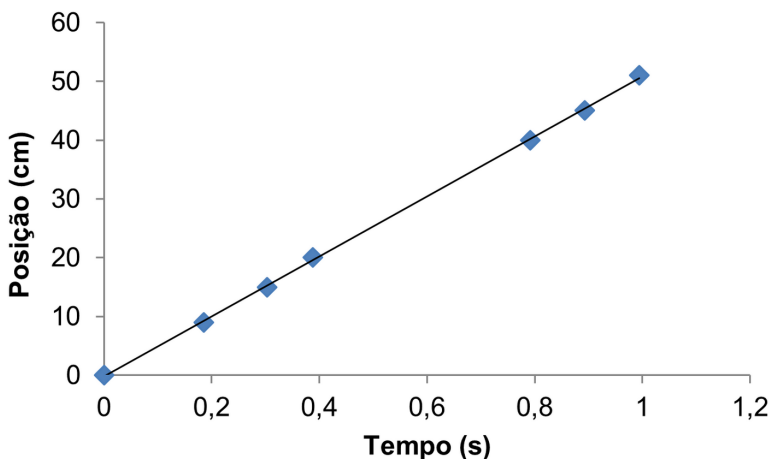
Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 22 – Gráfico da posição x tempo para o experimento “velocidade terminal de uma esfera no óleo”, para a esfera grande, amostra 2 – pela inclinação do gráfico, a velocidade do movimento dessa esfera é de 50,84 cm/s



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 23 – Gráfico da posição x tempo para o experimento “velocidade terminal de uma esfera no óleo”, para a esfera grande, amostra 3 – pela inclinação do gráfico, a velocidade do movimento dessa esfera é de 51,04 cm/s



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

ATIVIDADE 1.5: CENTRO DE GRAVIDADE

Objetivo

Demonstrar como se comportam o centro de gravidade e o ponto de equilíbrio de um objeto de formato irregular.

Materiais utilizados:

1. dois garfos;
2. um copo;
3. um palito de dente.

Figura 24 – Materiais utilizados no experimento “centro de gravidade”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Na montagem deste experimento, precisamos inicialmente unir os dois garfos, de maneira que seguramos um em cada uma das mãos e juntamos a ponta (extremidade onde se encontram os “dentes”) de um com a ponta de outro; devemos nos certificar de que eles estão presos entre si, como é visível na Figura 25.

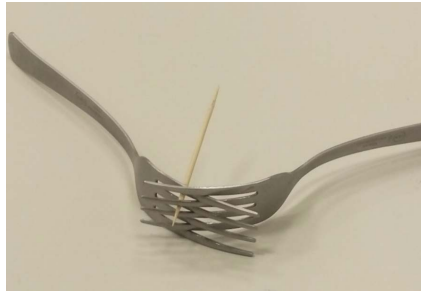
Figura 25 – Encaixe entre os garfos do experimento “centro de gravidade”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Na sequência, devemos acoplar o palito entre os dois garfos, deixando o palito na posição mais próxima possível da região central da junção entre os garfos, posicionado de forma que fique perpendicular ao sistema, como demonstra a Figura 26.

Figura 26 – Encaixe entre os garfos com o palito acoplado no experimento “centro de gravidade”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Procedimentos experimentais

Deve-se suspender no copo o sistema de garfos encaixados no palito, apoiando-se o palito na borda do copo, conforme a Figura 27, e observar como ele se comporta.

Figura 27 – Experimento “centro de gravidade” em funcionamento



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Análise dos resultados

Ao colocarmos os garfos e o palito acoplados sobre o copo, o sistema irá se ajustar a uma posição de equilíbrio. Nessa conformação, os cabos dos garfos atuam como contrapeso em relação à parte central (dos “dentes”), fazendo, assim, com que o experimento tenha a tendência de equilibrar-se no ponto de encontro do copo com o palito, que é o ponto de equilíbrio do sistema. O ponto de equilíbrio refere-se a um ponto em um objeto no qual as forças atuantes estão balanceadas, resultando em um estado de equilíbrio estável; nesse ponto, não há tendência para o objeto se mover ou girar, desde que não haja a aplicação de uma força externa. Para um objeto sólido, o ponto de equilíbrio é geralmente o centro de massa ou o centro de gravidade, que é o ponto no qual todo o peso de um objeto é considerado concentrado ou em que se considera que a força gravitacional esteja aplicada. Em objetos simétricos e homogêneos, o centro de gravidade está localizado no centro geométrico do objeto, mas, em objetos irregulares e/ou assimétricos, o centro de gravidade pode estar localizado em um ponto diferente (Halliday *et al.*, 2009; Kazuhito; Fuke, 2010).

Podemos observar que, no caso do experimento em questão, o ponto de equilíbrio do sistema coincide com o centro de gravidade. Isso ocorre quando o objeto é homogêneo (o material do garfo é homogêneo) e simétrico em relação à distribuição de massa (conseguimos a simetria utilizando dois garfos). Nesses casos, o centro de gravidade está localizado no centro de massa do objeto, que no experimento aqui descrito é o ponto de encontro do copo com o palito.

ATIVIDADE 1.6: GANGORRA PERPÉTUA

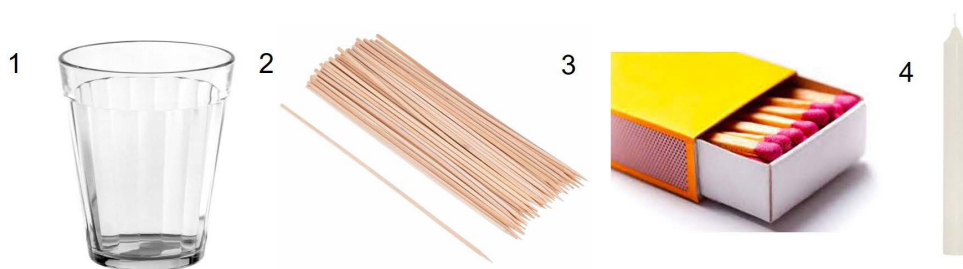
Objetivos:

- evidenciar o movimento de gangorra em uma vela;
- demonstrar a ação da força gravitacional sobre um corpo.

Materiais utilizados:

1. dois copos do mesmo tamanho;
2. palito de churrasco;
3. fósforos (ou isqueiro);
4. vela.

Figura 28 – Objetos utilizados para a montagem do experimento “gangorra perpétua”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Primeiramente, deve-se raspar a extremidade inferior da vela, para que seu pavio fique exposto. A vela ficará com dois pavios expostos nas suas extremidades, conforme a Figura 29.

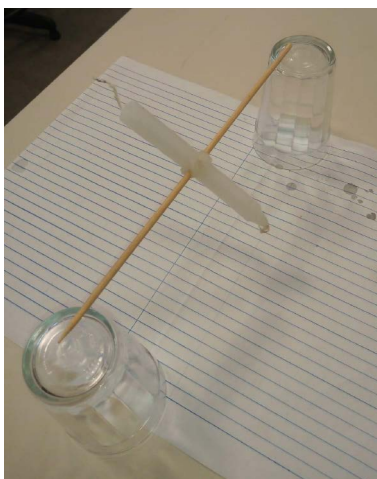
Figura 29 – Vela utilizada no experimento “gangorra perpétua”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Após a preparação da vela, deve-se colocar o palito de churrasco no meio (atravessando a vela) e ajustá-lo na borda dos dois copos, de maneira que encontre seu ponto de equilíbrio, em repouso, horizontalmente, conforme Figura 30.

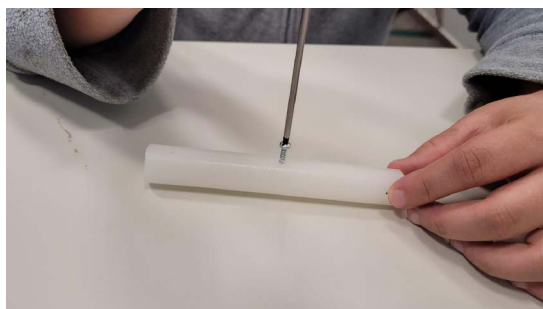
Figura 30 – Montagem do experimento “gangorra perpétua”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

A vela pode ser perfurada diretamente com o palito de churrasco ou pode-se perfurá-la antes de colocar o palito, com o auxílio de um parafuso e uma chave de fenda ou do tipo Phillips, como no exemplo da Figura 31.

Figura 31 – Perfuração da vela para a montagem do experimento “gangorra perpétua”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Procedimentos experimentais

Depois de feita a montagem do experimento, deve-se atear fogo nas duas extremidades da vela. Observa-se que a vela irá começar a balançar devagar, com o movimento semelhante ao de uma gangorra, e esse movimento ficará mais rápido no decorrer da queima da vela.

Análise dos resultados

Depois de ateadado fogo na vela, inicia-se o processo de combustão, que faz com que a vela balance com um movimento semelhante ao de uma gangorra. Esse movimento inicia devagar e, no decorrer do tempo, vai acelerando. Quando a chama está próxima do corpo da vela, a parafina começa a derreter rápido e um dos lados acaba perdendo parafina mais rápido do que o outro, havendo uma diferença de massa entre os dois lados da vela. O lado que perde parafina mais rápido tem o peso menor, o que altera o equilíbrio da gangorra, que começa a pender para o lado de maior peso, sendo, nesse caso, o torque diferente de zero. Devido ao posicionamento

da vela e cada chama, a extremidade que está na parte inferior da gangorra e está com a chama mais próxima do corpo da vela começará a queimar a parafina mais depressa e, conseqüentemente, ficará com o peso menor em relação à outra extremidade.

Diante do exposto, observa-se que a vela não queima igualmente suas extremidades; o fato de queimar antes uma das extremidades diminui a massa desta e desequilibra o sistema, gerando um torque que faz com que a vela rotacione em um determinado sentido. Esse processo se repetirá continuamente; assim, a vela realizará um constante balançar de um lado para o outro. Tal processo é diretamente influenciado pela diferença entre as massas das extremidades. Podemos observar que a queima da parafina também diminui a distribuição de massa em relação ao eixo de rotação, o que também influencia na geração de um torque.

Figura 32 – Execução do experimento “gangorra perpétua”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Em outras palavras, o desequilíbrio causado no sistema resulta em um momento angular resultante, fazendo com que a vela comece a balançar. O momento angular é uma grandeza física que descreve a rotação de um objeto em torno de um eixo; ele está relacionado à quantidade de rotação que um objeto possui e é definido como o produto do momento de inércia pela velocidade angular, sendo que o momento de inércia de um objeto

depende da distribuição de massa em relação ao eixo de rotação. A lei de conservação do momento angular é um princípio fundamental na Física: afirma que, em um sistema isolado (ou seja, sem a influência de forças externas), o momento angular total do sistema permanece constante ao longo do tempo. Isso significa que, se nenhum torque externo for aplicado, a quantidade de momento angular do sistema não muda (Halliday *et al.*, 2009; Serway; Jewett, 2012; Young; Freedman, 2013).

De acordo com a conservação de momento angular, à medida que a cera continua a derreter e a vela balança, o momento angular total do sistema deve ser conservado, já que o sistema não está sob a ação de forças externas. Conseqüentemente, quando uma das extremidade da vela balança para um lado, o palito de churrasco e o restante da vela balançam para o outro lado, para compensar o momento angular. Esse movimento de balanço ocorre de forma oscilatória e vai se tornando mais rápido à medida que a cera derrete e a queima da vela continua. Isso ocorre porque a distribuição de massa da vela continua a mudar à medida que mais cera derrete, alterando o momento de inércia do sistema e, conseqüentemente, a velocidade angular.

ATIVIDADE 1.7: CORPO EM QUEDA LIVRE

Objetivos:

- calcular o valor experimental da aceleração gravitacional;
- comparar o valor encontrado para a aceleração gravitacional com o valor teórico.

Materiais utilizados:

1. papel pardo (de comprimento igual ou superior a 2,50 m);
2. caneta hidrográfica;
3. celular com câmera fotográfica;
4. régua;

5. lápis;
6. caneta;
7. borracha;
8. fita métrica;
9. esfera de plástico;
10. tesoura;
11. fita adesiva;
12. computador com o programa Tracker instalado ou celular com aplicativo de análise de vídeo.

Figura 33 – Materiais utilizados no experimento “corpo em queda livre”

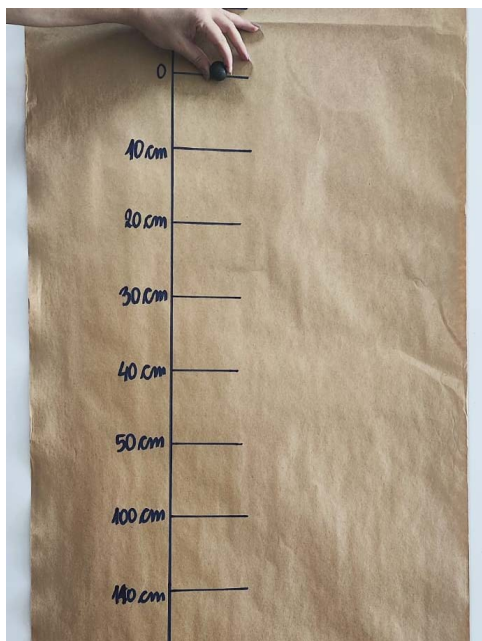


Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Deve-se cortar um pedaço de papel pardo de, aproximadamente, 2,50 m de comprimento. Em seguida, construir uma escala no papel fazendo marcações a cada 10 cm: iniciando em 0 e indo até 240 cm, ou 2,40 m (de cima para baixo). Depois, fixar o papel com fita adesiva em uma parede lisa, posicionando-o com o 0 da escala na parte superior, de onde será lançada a esfera. Cuidar para que a escala seja posicionada de forma que fique totalmente em contato com a parede e vertical. A Figura 34 ilustra a montagem do experimento.

Figura 34 – Montagem do experimento “corpo em queda livre”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Procedimentos experimentais

Deve-se acionar a câmera do celular tomando-se o cuidado para que toda a escala apareça na filmagem e que seja filmado o movimento do início ao fim (passando pelo 0 e por todas as marcações até 240 cm). Abandonar a esfera do ponto zero da escala (Figura 34), observando que ela deve cair verticalmente passando pelas marcações da escala. Se necessário, utilizar uma cadeira para auxiliar no lançamento da esfera. Repetir esses procedimentos 3 vezes, para a obtenção de resultados mais confiáveis, reduzindo a influência de fatores aleatórios e erros experimentais.

Análise dos resultados

Para a análise dos resultados, utilizamos o *software* de análise de vídeo Tracker para a medição dos tempos, e os gráficos foram confeccionados em um *software* editor de planilhas (Br Office Calc), mas poderiam ser traçados à mão em papel milimetrado. Com auxílio do programa Tracker, foram analisados os 3 vídeos da queda livre da esfera estudada; obtiveram-se as posições e os respectivos tempos de queda da esfera, conforme valores listados nas Tabelas 8, 9 e 10, a seguir. Subsequentemente, essas medidas foram utilizadas para calcular a aceleração da gravidade através da inclinação da reta dos gráficos da posição pelo tempo (Figuras 35, 36 e 37), que foram feitos através do programa Br Office Calc.

O experimento resume-se a analisar o movimento de uma esfera que é solta em queda livre em frente a uma escala centimétrica colada na parede. Em teoria, todos os corpos que caem em queda livre, quando soltos simultaneamente de certa altura, atingem o solo ao mesmo tempo e com a mesma velocidade, independentemente das massas, do formato ou do material de quais são feitos, se desprezarmos a resistência do ar (Carron; Guimarães, 1997). Devido à força gravitacional, os corpos “caem”; caso não houvesse essa força, os corpos iriam permanecer no ar flutuando – essa força se deve à atração que a Terra exerce sobre os corpos, e vice-versa. A queda livre trata-se de uma trajetória retilínea cuja aceleração é constante. A aceleração de queda livre, ou aceleração da gravidade, será representada pela letra g , cujo valor teórico é $9,80665 \text{ m/s}^2$. Esse valor é considerado no nível do mar e em locais de latitude de 45 graus (Sampaio; Calçada, 2005a).

Para entrar em queda livre, um corpo pode ser abandonado do seu repouso ou lançado verticalmente para baixo com determinada velocidade inicial v_0 no instante $t = 0 \text{ s}$. A equação horária da velocidade para o movimento de queda livre é dada por uma equação linear:

$$v = v_0 + gt \quad (3)$$

onde:

v é a velocidade final do movimento do corpo (medida em m/s, no SI);

v_0 é a velocidade inicial do corpo (medida em m/s, no SI);

g é a aceleração da gravidade (medida em m/s^2 , no SI);

t é o tempo de queda do corpo (medido em s, no SI).

A equação horária da posição vertical é dada por uma equação de segundo grau (Halliday *et al.*, 2009c):

$$y - y_0 = v_0 t + \frac{gt^2}{2} \quad (4)$$

onde:

y_0 é a altura de lançamento da esfera (medida em m).

y é a altura da esfera em outro ponto (medida em m).

Em nosso experimento, foi tomada a posição de referência (y_0) como sendo igual a zero, e a velocidade de lançamento (v_0) nula também (a esfera foi apenas solta):

$$y = \frac{gt^2}{2}$$

A equação horária da posição no movimento de queda livre é uma equação de 2º grau, portanto o gráfico apresenta um comportamento parabólico. Manipulando a equação anterior, temos o seguinte:

$$2y = gt^2$$
$$g = \frac{2y}{t^2} \quad (5)$$

Uma forma de linearizar o gráfico de posição pelo tempo no movimento de queda livre é tomando-se o dobro da posição e o quadrado do tempo; a inclinação desse gráfico ($2y$ versus t^2) fornece a aceleração gravitacional, como podemos observar pela equação 5.

A Tabela 8 mostra os dados do movimento (já manipulados para a posterior confecção do gráfico) em queda livre no primeiro lançamento da esfera: $2y$ é a altura em metros e t^2 é o tempo de queda de uma esfera em segundos ao quadrado, referentes à equação 5, para o cálculo da aceleração gravitacional através do gráfico.

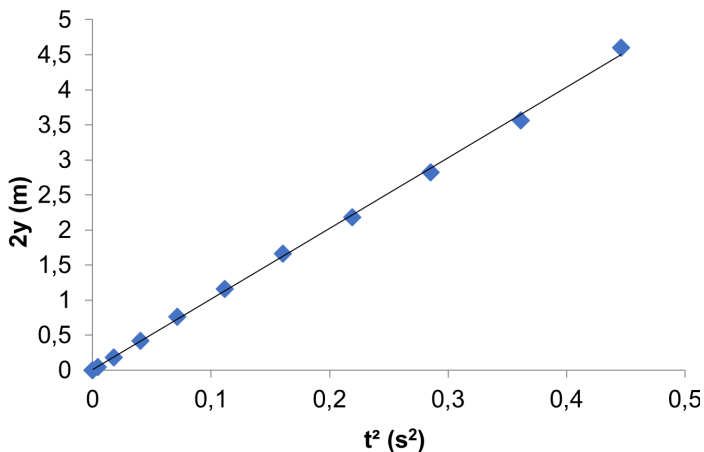
Tabela 8 – Valores obtidos para a posição ($2y$) e o tempo (t^2) de queda livre no primeiro vídeo

t^2 (s ²)	$2y$ (m)
0,00000	0,00
0,004489	0,04
0,017956	0,18
0,040401	0,42
0,071289	0,76
0,111556	1,16
0,160801	1,66
0,219024	2,18
0,285156	2,82
0,361201	3,56
0,446224	4,60

Fonte: elaborada pelos autores (2023).

De acordo com os valores obtidos no primeiro vídeo, que podem ser observados na Tabela 8, foi traçado o gráfico da Figura 35; através da equação da reta, foi obtido o valor da aceleração da gravidade de $10,075 \text{ m/s}^2$, sendo este o coeficiente angular da reta. A equação da reta foi fornecida pelo *software* Br Office Calc.

Figura 35 – Gráfico de posição ($2y$) pelo tempo (t^2) de queda livre no primeiro vídeo



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

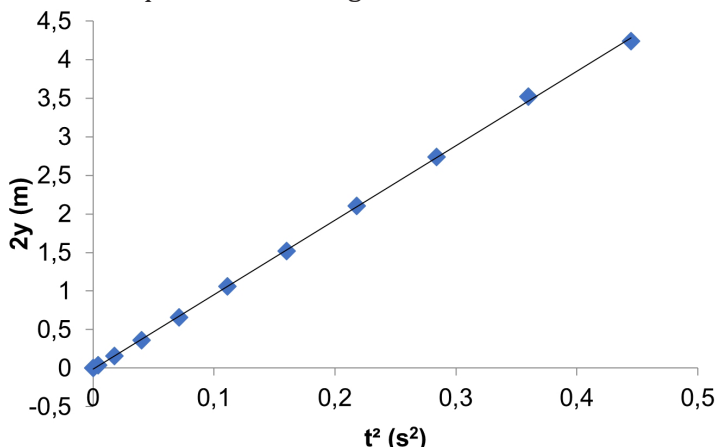
A Tabela 9 contém os dados obtidos para o segundo lançamento da esfera, de onde foi traçado o gráfico da Figura 36, com o valor da aceleração da gravidade de $9,6544 \text{ m/s}^2$, obtido através da equação da reta.

Tabela 9 – Valores obtidos para a posição ($2y$) e o tempo (t^2) de queda livre no segundo vídeo

t^2 (s ²)	$2y$ (m)
0,00000	0,00
0,004356	0,04
0,01769	0,16
0,04000	0,36
0,07129	0,66
0,110889	1,06
0,16000	1,52
0,218089	2,10
0,284089	2,74
0,36000	3,52
0,44489	4,24

Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 36 – Gráfico de posição ($2y$) pelo tempo (t^2) de queda livre no segundo vídeo analisado



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

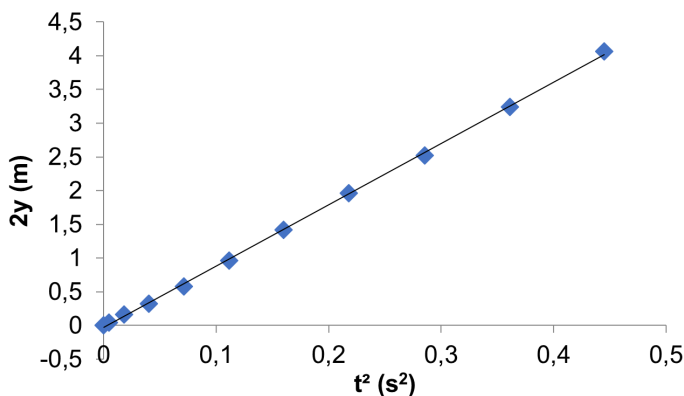
Na Tabela 10, estão os dados para o terceiro vídeo analisado de queda livre da esfera. No gráfico da Figura 37, plotado com os dados da Tabela 10, o valor do coeficiente angular da reta foi de $9,0842 \text{ m/s}^2$, sendo este o valor da aceleração gravitacional da esfera lançada no vídeo 3.

Tabela 10 – Valores obtidos para a posição ($2y$) e o tempo (t^2) de queda livre no terceiro vídeo analisado

t^2 (s ²)	$2y$ (m)
0,00000	0,00
0,004489	0,04
0,017956	0,16
0,04000	0,32
0,071289	0,58
0,111556	0,96
0,16000	1,42
0,218089	1,96
0,285156	2,52
0,361201	3,24
0,444889	4,06

Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 37 – Gráfico de posição ($2y$) pelo tempo (t^2) de queda livre no terceiro vídeo de queda livre da esfera



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Comparando-se os resultados obtidos para os três vídeos, o valor da aceleração da gravidade média, obtido através da média aritmética simples, foi de $9,6045 \text{ m/s}^2$. Ao confrontar-se esse valor obtido experimentalmente para a aceleração gravitacional com o valor da literatura ($9,80665 \text{ m/s}^2$), encontra-se um erro relativo percentual de 2,06 %, demonstrando que o valor experimental tem um desvio pequeno em relação ao valor teórico (Vuolo, 1996). Logo, pode-se afirmar que o experimento obteve um resultado satisfatório, visto que o aparato experimental é de baixo custo e que também deve-se considerar que Laranjeiras do Sul, no Paraná (cidade onde foi realizado o experimento) não está no nível do mar.

ATIVIDADE 1.8: DINAMÔMETRO CASEIRO

Objetivos:

- construir um dinamômetro de baixo custo;
- analisar e compreender a lei de Hooke;
- construir uma escala apropriada, em Newton (N), para o dinamômetro;
- determinar os pesos utilizados no experimento.

Materiais utilizados:

1. duas garrafas PET pequenas e com diâmetro uniforme;
2. mola de plástico (utilizada para encadernação);
3. corretivo;
4. fita adesiva;
5. pedaço de arame;
6. elástico de dinheiro;
7. régua;
8. caneta;
9. papel milimetrado;
10. alicate;
11. massas a serem suspensas;
12. balança digital;
13. martelo;
14. cola instantânea;
15. prego;
16. estilete;
17. tesoura;
18. calculadora científica.

Figura 38 – Materiais utilizados na construção do dinamômetro



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Primeira etapa: determinação da constante elástica da mola (k)

Com a régua, deve-se medir o comprimento da mola em sua posição relaxada, ou seja, sem sofrer deformação. Em seguida, aferir, utilizando a balança digital, a massa de alguns objetos que serão utilizados para deformar a mola. Então, é necessário calcular o peso das referidas massas, utilizando a equação a seguir:

$$P = m \cdot g \quad (6)$$

onde:

P é o peso das massas que serão utilizadas para distender a mola (medido em N, no SI);

m é a massa dos corpos a serem suspensos pela mola (medida em kg, no SI);

g é a aceleração gravitacional (constante que vale, aproximadamente, 9,8 m/s², no SI).

Segurar a mola na posição vertical por uma das extremidades com a mão e, depois, suspender uma massa aferida e medir o novo comprimento da mola devido ao peso desse objeto. Calcular a deformação sofrida pela mola, fazendo a diferença entre o valor obtido para o comprimento da mola deformada e a mola na posição de equilíbrio (relaxada). Repetir esse procedimento para objetos de diferentes massas. A partir dos dados coletados, e utilizando a equação da Lei de Hooke (equação 7) calcular a constante elástica da mola.

Uma mola é um corpo elástico que, quando submetido à ação de uma força, sofre uma deformação. Após cessar a força aplicada, ele tende a voltar à sua configuração original. A Lei de Hooke relaciona matematicamente a força elástica de uma mola à deformação sofrida por ela, sendo que, em módulo, a força elástica é igual à força aplicada para deformar a mola. Essa relação demonstra que a força aplicada em uma mola é diretamente

proporcional à deformação sofrida por ela (Gaspar, 2005). A Lei de Hooke é calculada através desta equação:

$$F = k \cdot \Delta x \quad (7)$$

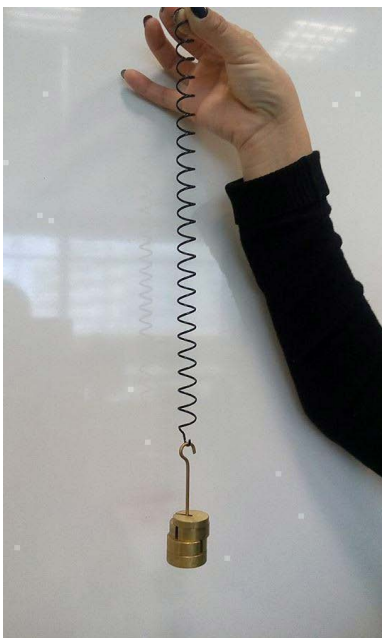
onde:

F é módulo da força elástica (ou da força aplicada) (medida em N);

Δx é a elongação da mola (medida em m, no SI);

k é a constante elástica da mola, uma medida da rigidez, cujo valor depende das propriedades da mola utilizada (medida em N/m, no SI).

Figura 39 – Mola deformada por uma massa suspensa



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Ao ser retirada a força que resultou na deformação da mola, esta tende a voltar ao seu comprimento inicial; se isso acontecer, a deformação é elástica e a mola obedece a Lei de Hooke. Contudo, vale destacar que a mola tem uma ação elástica até um determinado valor de elongação, que

se diferencia de acordo com a mola utilizada. A partir desse valor, a mola perde a elasticidade inicial e, dependendo da força deformante aplicada, pode ocorrer sua ruptura. Por esta razão, a Lei de Hooke só é válida enquanto a relação entre a força aplicada e a elongação da mola for linear (Sampaio; Calçada, 2005a). Com base nesse conhecimento, deve-se utilizar o aparato construído apenas para fazer medidas de pesos deformantes que não sejam suficientes para romper a elasticidade da mola.

Para este experimento, foram feitas nove medidas, que estão expressas na Tabela 11, a seguir. Utilizamos a deformação da mola em cm e a constante elástica em N/cm para melhor representação dos valores das medidas. A constante elástica da quarta coluna foi obtida utilizando-se a equação 7, em que a força é o peso das massas deformantes da tabela:

$$P = k \cdot \Delta x$$

$$k = \frac{P}{\Delta x}$$

Tabela 11 – Resultados experimentais para a determinação da constante elástica da mola

Massa (kg)	Peso (N)	Deformação Δx (cm)	Constante elástica K (N/cm)
0,0493	0,483	2,6	0,1858
0,0991	0,971	5,1	0,1904
0,1489	1,459	7,7	0,1895
0,1687	1,653	8,8	0,1878
0,1889	1,851	9,8	0,1886
0,2085	2,043	10,9	0,1874
0,2185	2,141	11,8	0,1814
0,2287	2,242	12,4	0,1807
0,2339	2,292	13,2	0,1736

Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Como a constante elástica da mola foi calculada para nove medidas (com um valor aproximadamente constante), foi feito o cálculo da média aritmética simples dessa grandeza:

$$\bar{k} = \frac{\sum_{i=0}^n k_i}{n}$$

$$\bar{k} = \frac{0,1858 + 0,1904 + 0,1895 + 0,1878 + 0,1886 + 0,1874 + 0,1814 + 0,1807 + 0,1736}{9}$$

$$\bar{k} = \frac{1,6652}{9}$$

$$\bar{k} = 0,1850 \text{ N/cm}$$

O valor médio obtido para a constante elástica da mola foi de 0,1850 N/cm ou 18,50 N/m.

Segunda etapa: construção da escala do dinamômetro

Após a determinação do valor médio da constante elástica da mola, deve-se determinar a equação da mola utilizando a equação da Lei de Hooke (equação 7).

Para a mola utilizada em nosso experimento, chegamos à seguinte equação:

$$F = 0,1850 \cdot \Delta x$$

Em módulo, a força elástica é igual à força deformante, que, neste caso, é o peso dos objetos suspensos na extremidade inferior da mola.

$$F = P$$

$$P = 0,1850 \cdot \Delta x \quad \text{(8)}$$

Desta forma, ao suspendermos objetos de massas (e pesos) desconhecidas(os), se conhecermos a deformação sofrida pela mola, com a equação 8, poderemos determinar o peso dos objetos.

Deve-se utilizar a equação da mola (equação 8) para determinar o peso de massas suspensas diferentes. Para isso, segurar a mola verti-

calmente e medir seu comprimento com uma régua em sua posição de equilíbrio (antes de suspender alguma massa). A seguir, colocar diferentes massas na extremidade inferior da mola, medir o comprimento da mola deformada e calcular a elongação.

Na verdade, esta medida de peso, através da equação 8, é um passo preliminar para a construção da escala do dinamômetro, pois é preciso saber se a constante elástica da mola foi determinada corretamente, para que haja precisão nas medidas posteriores. Para testar se as medidas de peso estão corretas e se, conseqüentemente, a constante elástica está correta, deve-se determinar as massas correspondentes aos pesos de cada medida utilizando a equação 6, e aferir na balança se o resultado está de acordo. No nosso experimento, medimos seis amostras de massas, conforme os dados da Tabela 12.

Tabela 12 – Resultados dos testes de medidas de pesos e massas utilizando a equação 6

Deformação Δx (cm)	Peso (N)	Massa ($\times 10^{-3}$ kg) (experimental)	Massa ($\times 10^{-3}$ kg) (aferida na balança)
4,2	0,7770	79,2	80,4
4,7	0,8695	88,7	85,1
7,1	1,3135	134,0	134,4
7,9	1,4615	149,1	149,0
9,5	1,7575	179,3	179,5
10,1	1,8685	190,6	188,9

Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Como pode ser observado nos dados da tabela, foi comprovado que a equação da mola estava correta (massa medida experimentalmente e massa medida na balança).

Uma vez definida e testada a equação que relaciona o peso à deformação da mola, há que definir uma escala para o dinamômetro (medida de peso) fazendo uma relação entre o comprimento da mola e a divisão da escala que se quer adotar (Gref, 1998).

Como nossa equação da mola é $P = 0,1850 \cdot \Delta x$ e adotamos a divisão da escala de 0,1 em 0,1 N, determinamos que cada divisão da escala teria 0,54 cm de distância entre duas marcações.

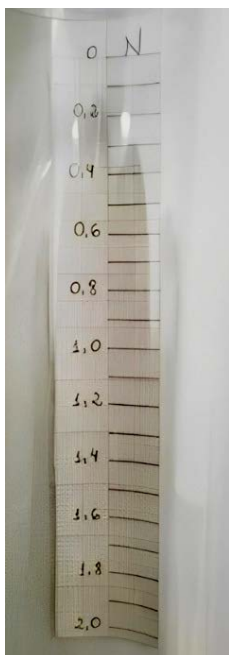
$$\Delta x = \frac{P}{0,1850} = \frac{0,1 \text{ N}}{0,1850 \text{ N/cm}} = 0,54 \text{ cm}$$

A escala que adotamos tem o valor máximo de 2,0 N (cuidar para que a escala vá até um valor que não rompa a elasticidade da mola), e todos os espaçamentos das divisões da escala (medimos a partir do zero) encontram-se na Tabela 13.

Terceira etapa: construção do dinamômetro

Deve-se escrever a escala em Newton no papel milimetrado, considerando-se a divisão de escala determinada na segunda etapa da montagem do experimento.

Figura 40 – Escala do dinamômetro



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Tabela 13 – Escala adotada para o dinamômetro

Correspondência em centímetro para cada marcação da escala em Newton
0,1 / 0,1850 = 0,54 cm
0,2 / 0,1850 = 1,08 cm
0,3 / 0,1850 = 1,62 cm
0,4 / 0,1850 = 2,16 cm
0,5 / 0,1850 = 2,70 cm
0,6 / 0,1850 = 3,24 cm
0,7 / 0,1850 = 3,78 cm
0,8 / 0,1850 = 4,32 cm
0,9 / 0,1850 = 4,86 cm
1,0 / 0,1850 = 5,40 cm
1,1 / 0,1850 = 5,94 cm
1,2 / 0,1850 = 6,48 cm
1,3 / 0,1850 = 7,02 cm
1,4 / 0,1850 = 7,56 cm
1,5 / 0,1850 = 8,10 cm
1,6 / 0,1850 = 8,64 cm
1,7 / 0,1850 = 9,18 cm
1,8 / 0,1850 = 9,72 cm
1,9 / 0,1850 = 10,27 cm
2,0 / 0,1850 = 10,81 cm

Fonte: elaborada pelos autores (2023).

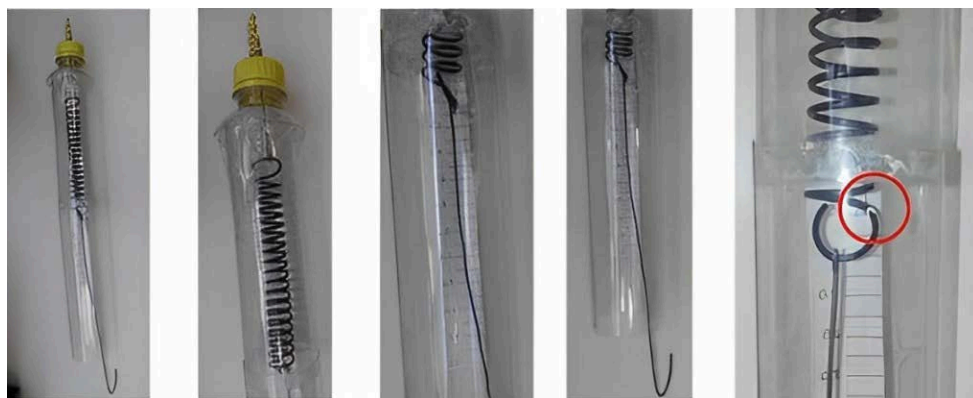
Deve-se cortar as garrafas PET utilizando estilete e tesoura. Em seguida, fixar as extremidades das garrafas com auxílio de uma cola instantânea, de modo a formar um tubo, e emendar os dois tubos um no outro, formando um tubo único, mais comprido. Perfurar a tampa de uma das garrafas com um prego. Confeccionar dois ganchos de arame com a ajuda de um alicate e fixar um dos ganchos na tampa, envolvendo-o com

o elástico de dinheiro. Fixar a mola ao gancho preso à tampa. O segundo gancho serve como suporte para suspender as massas cujo peso se quer determinar. Por fim, colar a escala no lado externo do tubo, com auxílio de uma fita adesiva, observando que a emenda dos tubos não deve dificultar a visualização da escala. Com a mola na posição relaxada, observar qual parte está alinhada com o zero da escala e, com o corretivo, marcar um ponto branco nessa posição. Esse ponto branco servirá como referência para analisar as medidas de peso no dinamômetro, como pode ser observado na Figura 41, que ilustra o dinamômetro finalizado.

Procedimentos experimentais

Para fazer a leitura do peso no dinamômetro, há que suspender uma massa qualquer e observar o valor da escala alinhado com o ponto branco marcado na mola. No entanto, deve-se observar que a massa suspensa não pode ultrapassar a medida de 2 N, pois, ao exceder esse valor, a mola deforma-se de modo a não voltar ao seu estado original. Além disso, a medida máxima da escala é de 2 N.

Figura 41 – Detalhes do dinamômetro caseiro construído



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 42 – Observação de como medir o peso utilizando o ponto de referência no dinamômetro



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Análise dos resultados

Com o dinamômetro caseiro, podem-se realizar leituras de pesos de massas quaisquer desde que o valor limite da escala não seja excedido. No nosso experimento, foram suspensas três massas diferentes no dinamômetro, e fizemos as leituras dos valores dos seus pesos, conforme a Tabela 14. Para averiguar se as medidas fornecidas pelo dinamômetro caseiro estavam corretas (e nossa escala construída adequadamente), as mesmas massas tiveram seus pesos medidos por uma balança digital, que estava programada para fazer a leitura em N. As Figuras 43, 44 e 45 ilustram as medições de peso realizadas com os dois equipamentos, e a Tabela 14 mostra os valores medidos para os três casos, juntamente com o erro relativo percentual da medida do dinamômetro (o valor de referência foi tomado sendo o da balança) (Helene; Vanin, 1991; Vuolo, 1996).

Tabela 14 – Medidas de peso utilizando o dinamômetro caseiro e a balança digital

Peso (N) (dinamômetro)	Peso (N) (balança)	Erro relativo per- centual (%)
0,60	0,59	1,695
0,96	0,92	4,348
1,62	1,61	0,621

Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 43 – Primeira medida do experimento



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 44 – Segunda medida do experimento



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 45 – Terceira medida do experimento



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Em todos os casos, o erro relativo percentual das medidas de peso teve um valor inferior a 5%, sendo 2,22% o valor médio do erro percentual, que pode ser considerada margem de erro pequena, principalmente por se tratar de um equipamento de baixo custo. Sendo assim, foi obtido um resultado satisfatório, demonstrando que o referido dinamômetro está funcionando adequadamente para medidas de peso de diferentes objetos.

Observação: esse experimento foi publicado em: ZAMPOLI, Jessica; BRAGA, Luci; OLIVEIRA, Dirlene; SILVA, Daniele; MENEZES, Vivian Machado de. Dinamômetro didático de baixo custo. Cippus: revista de iniciação científica, Canoas, v. 7, p. 45-54, 2017. Mais de 50% do texto do experimento apresentado neste livro é inédito.

ATIVIDADE 2.1: DENSIDADES DE SUBSTÂNCIAS

Objetivos

Demonstrar as variações na densidade de diferentes substâncias e soluções aquosas.

Materiais utilizados:

1. naftalina;
2. água (480 mL);
3. recipiente para armazenar a água;
4. garrafa de vidro;
5. açúcar (180 g);
6. proveta (capacidade de 100 mL).

Figura 46 – Materiais utilizados no experimento “densidades de substâncias”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Primeiramente devemos, em um recipiente qualquer com a capacidade adequada, preparar uma solução aquosa com, aproximadamente, 180 g de açúcar e 180 mL de água. Devemos misturar bem essa solução para que o açúcar se dissolva por completo. Após isso, devemos colocar uma naftalina no fundo da garrafa de vidro e, com a naftalina devidamente depositada no fundo da garrafa, despejamos toda a solução (água + açúcar) sobre a naftalina. O próximo passo consiste em despejar o restante (300 mL) da água sobre a solução e a naftalina dentro da garrafa. Devemos ter bastante cuidado neste último passo para evitarmos ao máximo que a água colocada posteriormente se misture com a solução colocada anteriormente.

Procedimentos experimentais

Observar o movimento da naftalina ao serem colocados os ingredientes dentro da garrafa.

Figura 47 – Experimento “densidades de substâncias” montado



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Análise dos resultados

Ao prepararmos a solução com água e açúcar, acabamos aumentando a massa específica da água. A massa específica, também conhecida como densidade absoluta, é uma propriedade física que se refere à quantidade de massa por unidade de volume de uma substância. É definida como a razão entre a massa de uma substância e o seu volume, sendo calculada pela equação 9:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (9)$$

onde:

ρ é a massa específica da substância (medida em kg/m^3 , no SI);

m é a massa da substância (medida em kg, no SI);

V é o volume ocupado pela substância (medido em m^3 , no SI).

A massa específica é uma característica intrínseca a cada substância e pode variar dependendo da temperatura e da pressão. É uma importante grandeza para descrever o comportamento dos fluidos, como a flutuação de objetos em líquidos e a determinação de pressões hidrostáticas (Martini *et al.*, 2013a; Sampaio; Calçada, 2005b).

Para entendermos como se dá a flutuação dos objetos, vamos definir a força de empuxo. Empuxo é a força vertical para cima exercida por um fluido em um objeto submerso total ou parcialmente nele. Essa força é uma consequência do Princípio de Arquimedes; segundo Arquimedes, um corpo, ao ser imerso em fluido, sofre a ação de uma força dirigida de baixo para cima, igual ao peso do fluido deslocado. Para o caso em que o empuxo é maior que o peso do corpo, a força resultante que atua sobre o corpo é dirigida para cima, portanto, o corpo será acelerado para cima. Caso o peso seja maior que o empuxo, o corpo será acelerado para baixo. Quando o empuxo é igual ao peso do corpo, este permanecerá em repou-

so (equilíbrio), ou seja, o corpo flutuará (Gaspar, 2010b; Hewitt, 2015; Sampaio; Calçada, 2005b).

Quando depositamos a solução de água com açúcar sobre a naftalina, a naftalina flutua sobre a solução, porque a massa específica da naftalina é menor que a da solução. Quando acrescentamos a água “pura” sobre a solução e a naftalina, percebemos que a naftalina fica posicionada no meio da garrafa, entre a solução e a água. Isso acontece porque a naftalina possui maior massa específica que a água e menor massa específica que a solução, ou seja, o empuxo causado pela solução é maior que a força peso da naftalina, mas o empuxo causado pela água é menor que a força peso da naftalina, fazendo com que a naftalina permaneça localizada na superfície da solução e no fundo da água.

Podemos calcular de maneira experimental as densidades (massas específicas) da solução (de concentração 1 g de açúcar para 1 de água), da água, do açúcar e da naftalina, e compará-las com os valores da literatura, identificando o erro relativo percentual. Para a determinação da densidade da naftalina e do açúcar separadamente, primeiro medimos suas massas em uma balança e anotamos os valores. Em seguida, colocamos em uma proveta (de capacidade de 100 mL) 50 mL de água e, a partir daí, colocamos o açúcar (50 g) ou a naftalina e anotamos quanto o volume variou dentro dessa proveta. Utilizamos essa forma para descobrir o volume, uma vez que o açúcar e a naftalina são sólidos que não ocupam o fundo do recipiente como os líquidos. A densidade da substância da naftalina ou do açúcar corresponde à razão entre suas respectivas massas e volumes, conforme a equação 9. O cálculo da densidade da água e da solução (água com açúcar) é mais simples: medimos suas massas e dividimos o valor pelo seu volume observado na proveta, lembrando de descontar a massa da proveta do resultado mostrado pela balança. Observar que 1 mL (medido na proveta) equivale a 1 cm³.

Tabela 15 – Densidades calculadas de maneira experimental

Substância	Massa (g)	Volume (cm ³)	Densidade (g/cm ³)
Açúcar	54,0	34	1,59
Água	50,5	50	1,01
Solução de água e açúcar (concentração de 1 g de açúcar para 1 mL de água)	200	163	1,23
Naftalina	17,5	15	1,17

Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Tabela 16 – Valores das densidades da literatura

Substância	Densidade (g/cm ³)
Açúcar cristal	1,58
Água	1,00
Naftalina	1,16

Fonte: Biosev Alouis Dreyfus Commodities Company. Ficha de informações de segurança de produtos químicos; Carmo *et al.* (2013).

Comparando os valores obtidos experimentalmente com os valores da literatura, chegamos aos valores da Tabela 16 para os erros relativos percentuais das substâncias estudadas (Helene; Vanin, 1991; Vuolo, 1996). Devemos mencionar que os valores da literatura para o açúcar cristal e a naftalina podem sofrer algumas variações dependendo do fabricante e outras questões como compactação, temperatura e presença de impurezas. De qualquer forma, observamos erros relativos percentuais pequenos para as densidades obtidas através do experimento de baixo custo aqui apresentado, sendo todos os erros menores ou iguais a 1%.

Tabela 17 – Erro relativo percentual para os valores de densidade das substâncias obtidos experimentalmente em relação aos valores da Tabela 16

Substância	Erro relativo percentual (%)
Açúcar Cristal	0,63
Água	1,00
Naftalina	0,86

Fonte: elaborada pelos autores (2023).

ATIVIDADE 2.2: MASSA DO AR

Objetivos:

- demonstrar que o ar possui massa;
- demonstrar que, aumentando a pressão sobre o ar, aumenta-se sua massa específica.

Materiais utilizados:

1. cinco palitos de sorvete;
2. dois balões de mesma massa;
3. linha fina de costura;
4. tesoura;
5. pedaço de fio de cobre (de aproximadamente 5 cm);
6. cola instantânea;
7. um prego.

Figura 48 – Materiais utilizados no experimento “massa do ar”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Como primeiro passo, devem-se colar os palitos de sorvete fazendo um suporte, conforme a Figura 49. Serão utilizados três palitos para fazer uma base horizontal e será colado um palito verticalmente, no qual será fixado o fio de cobre com a cola instantânea. Esse fio de cobre é colado na ponta superior da haste vertical, formando um eixo, para que possa ser acoplado o palito horizontal que sofrerá o torque exercido pelas bexigas. O prego deve ser colado em cima do palito do eixo principal da base de palitos, com o intuito de fazer o contrapeso no momento de pendurar as bexigas. A Figura 49 ilustra os detalhes da montagem do suporte para o experimento “massa do ar”.

Figura 49 – Estrutura e detalhes do suporte do experimento “massa do ar”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

O quinto palito de sorvete servirá como a “balança” do experimento. Para isso, ele deve possuir um furo no meio. Se necessário, deve ser ajustada a posição do furo para que os pesos exercidos nas duas extremidades do palito exerçam o mesmo torque, deixando a “balança” em equilíbrio ao ser encaixada no eixo formado pelo fio de cobre. O palito da “balança” deverá conter dois vincos simétricos em relação ao eixo, um em cada extremidade. Nesses vincos, serão encaixadas as linhas com os balões pendurados.

Figura 50 – Palito que será acoplado horizontalmente no eixo de fio de cobre no experimento “massa do ar”, formando uma “balança”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

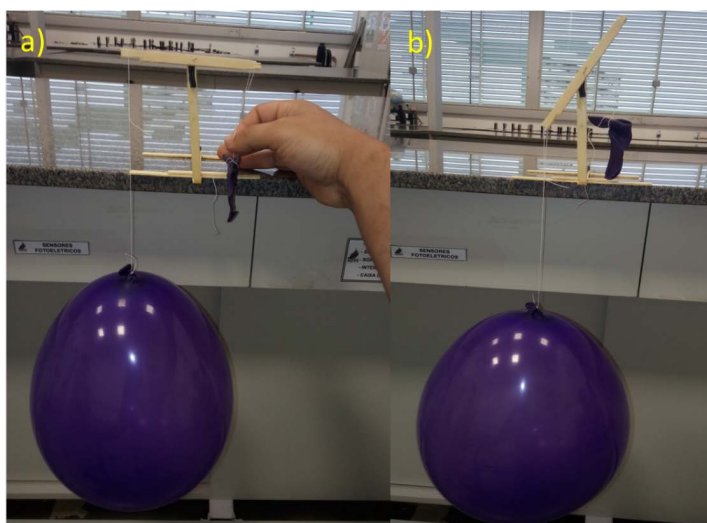
O passo seguinte consiste em amarrar os balões individualmente com a linha de costura. Deverão ser cortados dois pedaços de linha com o mesmo tamanho, para que não influenciem na diferença de massas totais dos balões (se os dois pedaços têm o mesmo comprimento, considerando que são de mesma densidade, eles terão a mesma massa). Um dos balões deve ser inflado (cheio) com ar, e o outro, mantido vazio. Em seguida,

devemos colocar os balões nos vincos da “balança”, para que haja a comparação do peso entre eles.

Procedimentos experimentais

Após a montagem do experimento, deve-se colocar cada balão em um vinco da extremidade do palito horizontal e compará-los para verificar qual possui maior massa total, através de observações do torque da “balança”. Para fazermos um teste da eficiência do experimento, podemos inverter a posição das bexigas na “balança”; o resultado deverá ser igual.

Figura 51 – Experimento em funcionamento: (a) balões suspensos com a intervenção do operador; (b) resultado prático do experimento



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Análise dos resultados

Ao colocar-se o balão inflado e o balão vazio na posição correta no palito horizontal da “balança”, percebe-se que o balão cheio exerce um peso maior do que o balão vazio, indicando que a massa total do balão cheio é maior que a do balão vazio. Esse acréscimo de massa tem origem no ar no

qual o balão foi enchido, demonstrando que o ar também possui massa. Além da comprovação da existência de massa do ar e, por consequência, a ação da força peso que exerce o torque da “balança”, pode-se comparar e explicar por que, nesse caso, o empuxo exercido pelo ar no balão cheio é menor que a força peso. Isso é percebido quando, ao soltar o balão cheio, ele tende a cair, e se deve ao fato de a pressão dentro do balão ser maior que a pressão atmosférica, fazendo com que o ar dentro do balão adquira uma massa específica maior que a do ar do meio externo.

ATIVIDADE 2.3: ELEVADOR DE NAFTALINAS

Objetivos

Demonstrar o comportamento da densidade de um sistema composto por parte sólida (naftalina) e parte gasosa (dióxido de carbono) em relação a um meio aquoso.

Materiais utilizados:

1. aproximadamente 60 mL de vinagre etílico $C_2H_4O_2$;
2. bicarbonato de sódio (hidrogenocarbonato de sódio) $NaHCO_3$ (uma colher de sopa);
3. colher de sopa;
4. estilete;
5. copo;
6. garrafa de plástico;
7. algumas naftalinas $C_{10}H_8$;
8. aproximadamente 600 mL de água.

Figura 52 – Materiais utilizados no experimento “elevador de naftalinas”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Deve-se cortar a garrafa de plástico com o estilete, retirando sua parte superior, para facilitar a inserção dos ingredientes. A parte a ser aproveitada para a utilização no experimento é a parte inferior da garrafa.

Figura 53 – Garrafa cortada



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Deve-se encher metade da garrafa com água e, em um recipiente qualquer (pode ser um copo), armazenar o vinagre. Com os materiais à disposição, despejar na garrafa com água o vinagre e, em seguida, misturar um pouco com a colher. A seguir, adicionar o bicarbonato de sódio e misturar mais um pouco. Adicionar as naftalinas a essa mistura.

Figura 54 – Ingredientes (água, bicarbonato de sódio, vinagre e naftalinas) sendo misturados



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Procedimentos experimentais

Observar o movimento das naftalinas ao inseri-las junto aos ingredientes dentro da garrafa.

Análise dos resultados

Quando misturamos os ingredientes, começa uma reação química entre o ácido acético ($C_2H_4O_2$) presente no vinagre e o bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$), que dá origem ao acetato de sódio ($NaH_3C_2O_2$) e ao ácido carbônico (H_2CO_3).



Por sua vez, o ácido carbônico (H_2CO_3) é um composto muito instável e se dissocia rapidamente, dando origem ao gás carbônico dióxido de carbono (CO_2) e à água (H_2O).



No momento em que o gás carbônico começa a ser liberado, ele adere às paredes da naftalina e pequenas bolhas desse gás ficam unidas a ela, fazendo com que a densidade do sistema (naftalina + gás carbônico) seja menor que a densidade do meio líquido (solução aquosa). Isso faz com que a naftalina suba até a superfície da solução, onde as bolhas de gás carbônico se desprendem da naftalina; assim, a densidade do sistema formado com a naftalina é maior que a da solução, o que acaba promovendo a submersão da naftalina. A emersão e a imersão da naftalina continuam acontecendo de forma cíclica, até que a reação química entre o ácido acético e o bicarbonato de sódio entre em equilíbrio químico e diminua quase a zero a formação de gás carbônico (Tito; Canto, 2009).

Figura 55 – Experimento “elevador de naftalinas” em funcionamento



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

ATIVIDADE 2.4: A ÁGUA QUE NÃO SE MISTURA

Objetivo

Demonstrar diferenças de densidade de um líquido e sua relação com a temperatura.

Materiais utilizados:

1. um pedaço de plástico ou uma sacola plástica;
2. corante azul;
3. corante vermelho;
4. água quente e água fria (temperatura ambiente);
5. dois copos transparentes iguais.

Figura 56 – Materiais utilizados no experimento “a água que não se mistura”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Deve-se separar uma quantidade de água à temperatura ambiente, armazenar em um dos copos e colorir a água com o corante azul – essa água chamaremos de água fria. Em seguida, deve-se aquecer a água, a uma

temperatura próxima à do ponto de ebulição para, em seguida, encher o segundo copo e colorir com corante vermelho – vamos nos referir a essa água como água quente. Os dois copos devem ser preenchidos com água até a borda. Recomenda-se realizar este experimento em uma pia ou sobre outra superfície que possa ser molhada.

Figura 57 – Copos com a água já colorida



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Com os dois copos já cheios, deve-se posicionar o copo com o líquido azul em um local (que pode ser uma pia) tendo em mente que esse copo será a parte inferior do experimento. Feito isso, deve-se cortar um pedaço da sacola de plástico no formato quadrado com tamanho de lado de, aproximadamente, o dobro do diâmetro do copo. Pegar esse pedaço de plástico e, com as mãos, deve-se segurá-lo fechando o máximo possível a “boca” do copo com o líquido vermelho, para que seja possível virar esse copo de boca para baixo, e posicioná-lo em cima do copo com o líquido azul. Ao fazer isso, deve-se procurar equilibrar os copos o máximo possível, para minimizar o vazamento de água. O sistema ficará na seguinte configuração: o copo de água quente de boca para baixo posicionado em cima do copo com água fria, estando equilibrados um sobre o outro “boca com boca”. O próximo passo consiste em segurar firme o pedaço de sacola e puxar o

“tampão” do sistema feito com a sacola, com muito cuidado, para reduzir ao máximo os vazamentos.

Figura 58 – Estrutura do experimento já montada, e sendo retirado o plástico



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Agora é feito o processo inverso: deve-se separar mais um copo com água à temperatura ambiente, colorida de azul; e mais um copo com a água quase fervendo, colorida de vermelho. Dessa vez, o copo com líquido vermelho ficará na parte inferior do experimento e o pedaço de sacola utilizado pode ser o mesmo usado anteriormente ou, se necessário, pode-se recortar mais um pedaço de sacola quadrado. Pegar esse pedaço de plástico e segurá-lo fechando o máximo possível a “boca” do copo com o líquido azul, para que seja possível virar esse copo de boca para baixo, e posicioná-lo em cima do copo com o líquido vermelho. Sempre procurar equilibrar os copos para minimizar um possível vazamento de água. A nova configuração do sistema é a seguinte: o copo de água fria de boca para

baixo posicionado em cima do copo com água quente, estando equilibrados um sobre o outro “boca com boca”. Segurar firmemente o pedaço de sacola e puxar o “tampão” do sistema, com muito cuidado, para não haver vazamentos (ou, se houver, que seja o mínimo possível).

Procedimentos experimentais

Observar o movimento da água dos copos ao retirar o plástico nas duas situações.

Análise dos resultados

Na primeira parte do experimento, ao retirar o pedaço de sacola plástica que separava o líquido azul do líquido vermelho (líquido frio do líquido quente, respectivamente), percebemos que os dois líquidos quase não se misturam; o quente permanece em uma posição superior e o frio permanece mais no fundo. Isso acontece porque, devido à diferença de temperatura, ocorre a dilatação da água quente, que se torna menos densa que a água fria. Assim, a água fria possui uma massa específica (ou densidade) maior que a água quente, tendo, por consequência, a tendência de se posicionar abaixo (submersa) em relação ao líquido mais quente. O fato de os líquidos não se misturarem e permanecerem nas posições originais pode ser observado pela coloração da água.

Figura 59 – Experimento em funcionamento, com água quente em cima e água fria embaixo



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Para uma melhor verificação dessa teoria, pode-se repetir o experimento com a seguinte alteração: a água quente na parte inferior e água fria na superior, a fim de analisarmos os resultados confrontando-os com a teoria. Quando repetimos o experimento com a posição da montagem invertida entre a água quente e a água fria, observamos que a água quente se mistura rapidamente com a água fria, formando uma solução com a cor roxa.

Quando a água é aquecida, suas moléculas ganham energia e se movimentam mais rapidamente. Esse aumento na agitação molecular diminui a coesão entre as moléculas, o que faz com que a água quente seja menos densa do que a água fria. Dessa forma, a água quente tende a subir e ocupar a parte superior do recipiente, enquanto a água fria permanece na parte inferior. Esse fenômeno é conhecido como convecção térmica (Halliday et al., 2009b). Dessa forma, a mistura observada no experimento ocorre principalmente devido às correntes de convecção: a água mais quente tende a subir e a água mais fria tende a descer, devido a duas diferentes densidades (Gaspar, 2010c). Nesse processo de convecção, as massas de

água colidem, misturando-se rapidamente, o que torna os dois líquidos de cores diferentes um só, de mesma cor e homogêneo, como pode ser observado na Figura 60.

Figura 60 – Resultado experimental iniciando com a água quente embaixo e a água fria em cima, ocasionando a mistura entre elas ao retirar-se o “tampão”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

ATIVIDADE 2.5: O PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES

Objetivos:

- determinar a massa específica para diferentes sólidos através de conceitos de empuxo;
- investigar o Princípio de Arquimedes (força de empuxo).

Materiais utilizados:

1. béquer (ou outro recipiente para armazenar água);
2. corpo de alumínio (no nosso caso, foi um prumo);

3. dinamômetro caseiro;
4. proveta;
5. corpo de latão;
6. balança;
7. sal;
8. água;
9. régua;
10. fio de costura;
11. calculadora.

Figura 61 – Materiais utilizados no experimento sobre empuxo



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Colocar numa proveta a quantidade de água suficiente para submergir totalmente os corpos de alumínio e latão, sem que toquem o fundo do recipiente. Em um béquer com água, diluir uma grande quantidade de sal, para modificar a massa específica da substância – quanto mais saturada de sal a água ficar, melhor.

Procedimentos experimentais

Parte 1: Determinação do empuxo e da massa específica de um corpo sólido

Dando início ao experimento, deve-se suspender o corpo de latão pelo dinamômetro, no ar, e anotar a leitura (ver Figura 62). Anotado o peso do corpo de latão, introduzir totalmente o corpo (suspenso pelo dinamômetro) em uma proveta com água, sem que o corpo encoste no fundo. Anotar a leitura do dinamômetro (ver Figura 63), que será o peso aparente do corpo. Feito isso, calcular a força de empuxo sobre o corpo, utilizando os valores de peso e peso aparente.

Figura 62 – Latão suspenso pelo dinamômetro no ar para determinar o seu peso



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

O empuxo é definido como a força vertical exercida de baixo para cima por um fluido (líquido ou gás) sobre um objeto imerso ou parcialmente imerso nesse fluido. A força de empuxo é igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo ao ser imerso. O peso aparente é uma medida da força percebida por um objeto em um fluido e pode ser diferente do peso real devido à influência do empuxo. Quando um objeto está totalmente imerso em um fluido, o peso aparente é geralmente menor do que o peso real, devido ao efeito do empuxo. Em termos do peso aparente, o empuxo pode ser definido como a diferença entre o peso real do objeto e o seu peso aparente (Halliday *et al.*, 2009b).

$$P_{ap} = P - E \quad (10)$$

$$E = P - P_{ap} \quad (11)$$

onde:

P_{ap} é o peso aparente do corpo (medido em N, no SI);

P é o peso do corpo (medido em N, no SI);

E é o empuxo exercido pelo fluido (medido em N, no SI).

Figura 63 – Latão suspenso pelo dinamômetro e submerso na água para determinar o seu peso aparente



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Após calcular o empuxo pela equação 3, deve-se variar a profundidade do corpo submerso e verificar o que acontece com o valor do empuxo.

Repetir os procedimentos anteriores utilizando o corpo de alumínio, ou seja, medir no dinamômetro o peso real, o peso aparente e calcular o empuxo, utilizando a equação 3.

Determinar a massa específica do cilindro de alumínio usando o Princípio de Arquimedes e comparar com os valores da literatura. Segundo esse princípio, já discutido anteriormente, um corpo total ou parcialmente imerso em um fluido recebe uma força vertical ascendente, chamada empuxo, igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo. No nosso caso, o fluido é a água.

$$E = P_{\text{fluido}} = m_{\text{fluido}} \cdot g \quad (12)$$

onde:

P_{fluido} é o peso do fluido deslocado pelo corpo ao ser submerso (medido em N, no SI);

m_{fluido} é a massa do fluido deslocado pelo corpo ao ser submerso (medido em kg, no SI);

g é a aceleração gravitacional (medida em m/s^2 , no SI).

Lembrando da definição da massa específica de um corpo dada pela equação 9, temos que

$$\begin{aligned} m_{fluido} &= \rho_{fluido} \cdot V \\ E &= \rho_{fluido} \cdot V_{fluido} \cdot g \end{aligned} \quad (13)$$

onde:

ρ_{fluido} é a massa específica do fluido (medida em kg/m^3 , no SI);

V_{fluido} é o volume do fluido deslocado ao submergir o corpo (medido em m^3 , no SI).

Utilizando o cilindro de alumínio, deve-se refazer a medida no dinamômetro do peso real, do peso aparente e calcular o empuxo utilizando a equação 3, mas substituindo a água por um líquido com massa específica diferente (que será a mistura de água e sal). Comparar os valores do empuxo obtidos para esses dois líquidos.

Parte 2: Determinação do empuxo

Agora será feito um novo cálculo de empuxo. Para isso, deve-se anotar o volume V_1 de água na proveta. Colocar a proveta com água sobre a balança e, logo após, tarar a balança. Por meio de um fio, deixar o corpo de latão submerso, sem tocar o fundo do recipiente. Anotar o volume V_2 correspondente ao nível de água, e também a leitura da balança, m_1 .

Através do Princípio de Arquimedes (equação 13), calcular o empuxo na situação anterior, utilizando o volume de líquido deslocado observado na proveta (que é a diferença entre V_2 e V_1). Além disso, calcular o peso

de líquido deslocado (utilizando a massa de líquido deslocado m_1) e compará-lo com os outros resultados obtidos anteriormente para o empuxo, lembrando que a fórmula do peso está descrita na equação 6.

Análise dos resultados

Parte 1: Determinação do empuxo e da massa específica de um corpo sólido

A leitura no dinamômetro obtida para o corpo de latão suspenso no ar foi de 0,46 N, lembrando que esse valor corresponde ao peso do corpo. Em seguida, o corpo foi introduzido totalmente na proveta que continha água pura; nesse caso, a leitura observada no dinamômetro foi de 0,42 N, sendo este o valor do peso aparente do corpo. Já para o caso do corpo de alumínio, foram obtidos os valores de 1,13 N para o peso, e 0,73 N para o peso aparente. Foram encontrados os valores do empuxo exercido pela água pura para os dois casos, e constam na Tabela 18.

Tabela 18 – Valores do peso, peso aparente e empuxo obtidos para os corpos de latão e alumínio imersos em água

Cilindro	P (N)	P _{ap} (N)	E (N)
Latão	0,46	0,42	0,04
Alumínio	1,13	0,73	0,40

Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Foi observado que, mesmo variando a profundidade do corpo imerso na água, os valores de peso aparente (leitura do dinamômetro) permaneciam constantes e, conseqüentemente, o empuxo também não variava. Isso mostra que o empuxo exercido pelo fluido só depende do volume de líquido deslocado pelo corpo quando submerso, e não depende da profundidade em que o corpo se encontra (desde que não toque o fundo do recipiente).

Com base nos dados da Tabela 18 e utilizando a equação 13, foi encontrada a massa específica do alumínio:

$$E = \rho_{H_2O} \cdot V_{H_2O} \cdot g$$

Uma vez que o corpo foi totalmente submerso, o volume de fluido deslocado era igual ao volume do corpo e, com base na definição de massa específica da equação 1, temos:

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V_{H_2O} = V_{Al} = \frac{m_{Al}}{\rho_{Al}}$$

$$E = \rho_{H_2O} \cdot \frac{m_{Al}}{\rho_{Al}} \cdot g$$

Uma vez que o peso de um corpo é (equação 6), a massa do corpo de alumínio pode ser determinada utilizando-se o valor do peso:

$$m_{Al} = \frac{P_{Al}}{g}$$

$$E = \rho_{H_2O} \cdot \frac{P_{Al}}{\rho_{Al} \cdot g} \cdot g$$

$$E = \rho_{H_2O} \cdot \frac{P_{Al}}{\rho_{Al}}$$

$$\rho_{Al} = \rho_{H_2O} \cdot \frac{P_{Al}}{E}$$

$$\rho_{Al} = 1 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1,13\text{N}}{0,40\text{N}} = 2,85 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Nesse cálculo, foi utilizado o valor da massa específica da água da literatura $1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, e foi encontrado o valor de $2,85 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ para a massa específica do alumínio, sendo $2,70 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ o valor da literatura (Young; Freedman, 2007). Comparando-se o resultado experimental com o resultado teórico, é encontrado um erro relativo percentual de 5,55% (Helene; Vanin, 1991; Vuolo, 1996).

Repetindo as medidas de peso, peso aparente e cálculo de empuxo da parte 1 dos procedimentos experimentais para o corpo de alumínio submerso em água com sal, foram obtidos os dados da Tabela 19.

Tabela 19 – Valores do peso, peso aparente e empuxo obtidos para o corpo de alumínio submerso em água salgada

Cilindro Alumínio	P (N)	P _{ap} (N)	E (N)
Água	1,13	0,73	0,40
Água + sal	1,13	0,68	0,45

Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Observa-se que a água salgada exerce um empuxo maior no corpo de alumínio do que a água pura, com o valor de 0,45 N. Isso se deve ao fato de a água com sal ter uma maior massa específica, e o empuxo é diretamente proporcional à massa específica do fluido (não depende da massa específica do objeto). Neste caso, o peso aparente do alumínio é menor do que quando comparado à água pura.

Parte 2: Determinação do empuxo

O volume inicial de água da proveta, V_1 , foi de 350 mL e o volume encontrado ao submergir o corpo de latão na água pura, V_2 , foi de 355 mL. Dessa forma, o volume de líquido deslocado pelo corpo foi de 5 mL ($5 \times 10^{-6} \text{ m}^3$). A massa medida na balança, m_1 , foi de 6 g ($6 \times 10^{-3} \text{ kg}$), sendo esta a massa de água deslocada pelo corpo.

Através do Princípio de Arquimedes, equação 13, o empuxo foi calculado utilizando-se o volume de líquido deslocado pelo corpo de latão observado na proveta:

$$E = \rho_{H_2O} \cdot V_{H_2O} \cdot g$$

$$E = 1 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 5 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0,049 \text{ N}$$

E utilizando-se a própria definição de peso, equação 6:

$$P_{H_2O} = m_{H_2O} \cdot g$$

$$P_{H_2O} = 6 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0,0588 \text{ N}$$

Para o corpo de latão, foi encontrado o valor de empuxo de 0,049 N e o peso de líquido deslocado de 0,0588 N. Já para o corpo de alumínio, foi encontrado o volume de líquido deslocado de 40 mL ($40 \times 10^{-6} \text{ m}^3$) e a massa de líquido deslocado de 36 g ($36 \times 10^{-3} \text{ kg}$), resultando em um empuxo de 0,392 N e peso de líquido deslocado de 0,3528 N. Os valores encontrados estão contidos na Tabela 20 (E (N) (parte 2)).

A seguir, os cálculos para o corpo de alumínio:

$$E = 1 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 40 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0,392 \text{ N}$$

$$P_{H_2O} = 36 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0,3528 \text{ N}$$

Pode-se observar que os valores da Tabela 20, considerando-se uma margem de erro, são valores bastante próximos. Vale mencionar que utilizamos um dinamômetro caseiro construído com materiais de baixo custo na parte 1 do experimento. Uma vez que a definição de empuxo, pelo Princípio de Arquimedes, é igual ao peso do líquido deslocado, equação 4, essa proximidade dos valores era de se esperar, já que nas três situações da tabela está sendo calculada a mesma grandeza.

Tabela 20 – Valores obtidos para o empuxo, através do volume e da massa de líquido deslocado, comparados com o empuxo da parte 1

	E (N) (parte 1)	E (N) (parte 2)	P (N) (parte 2)
Latão	0,04	0,049	0,0588
Alumínio	0,40	0,392	0,3528

Fonte: elaborada pelos autores (2023).

ATIVIDADE 2.6: TENSÃO SUPERFICIAL DA ÁGUA

Objetivo

Demonstrar a existência da tensão superficial da água, como se dá e explicar quais características físico-químicas levam a esse fenômeno no experimento.

Materiais utilizados:

1. 200 mL de água;
2. algumas gotas de detergente;
3. copo;
4. agulha de costura.

Figura 64 – Materiais utilizados no experimento “tensão superficial da água”

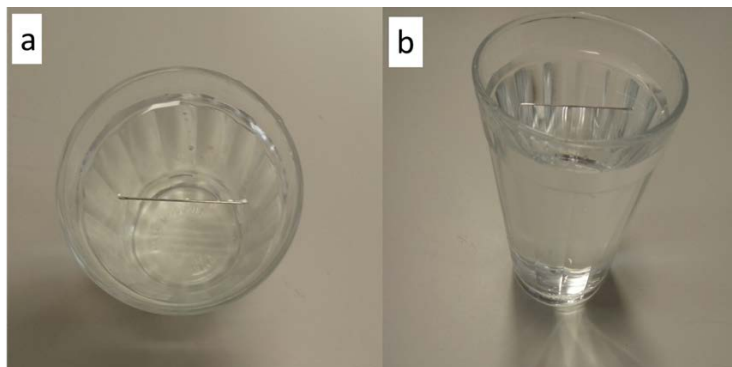


Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Primeiramente, devemos encher o copo com água até próximo à borda. Depois, com muito cuidado, devemos colocar com a mão a agulha horizontalmente sobre a superfície da água, conforme Figura 65.

Figura 65 – Agulha flutuando sobre a água: (a) vista de cima; (b) vista de outro ângulo



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Procedimentos experimentais

Ao depositarmos a agulha cuidadosamente no copo com água, percebemos que ela permanece flutuando sobre a água. Para evidenciarmos o fenômeno proposto, devemos despejar uma gota de detergente sobre a água (porém não diretamente sobre a agulha) e observar o que acontece.

Figura 66 – Agulha submergindo após ser despejado um pouco de detergente na água



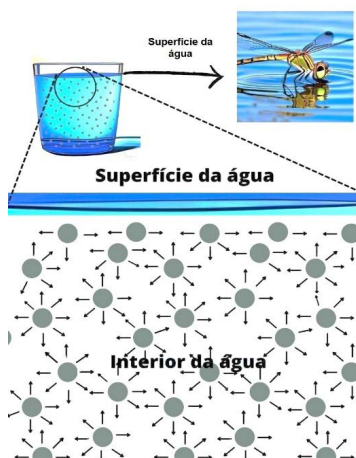
Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Análise dos resultados

O fenômeno observado experimentalmente está relacionado à tensão superficial da água. A tensão superficial é uma propriedade específica da água que se refere à força elástica que atua em sua superfície, devido às forças de atração entre as moléculas de água. Essa tensão superficial resulta em uma camada superficial mais resistente e com maior coesão do que no interior do líquido (Atkins; Paula, 2017).

A tensão superficial da água é gerada devido às ligações de hidrogênio, que são ligações entre as moléculas e se dão porque os hidrogênios presentes na molécula de água, que estão polarizados positivamente, atraem o oxigênio também presente na molécula de água e que está polarizado negativamente. Essa atração entre as moléculas é diferente na superfície da água em relação ao seu restante. Na superfície da água, a atração é exercida para baixo e para os lados, e essa “polarização” mantém as moléculas unidas e faz com que a camada superficial se comporte como uma película, que neste caso “tenta” não sair da sua conformidade mesmo quando sofre pressão pela agulha.

Figura 67 – Ilustração do comportamento molecular da água



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

O detergente é composto por moléculas que possuem uma parte hidrofílica (polar, atraída pela água) e uma parte hidrofóbica (apolar, repelente à água). Essas moléculas de detergente formam uma camada entre as moléculas de água, interrompendo as forças de atração entre elas. Logo, quando o detergente é adicionado à água, ele reduz a tensão superficial do líquido. Essa redução ocorre devido à interação das moléculas de detergente com as moléculas de água, alterando as forças intermoleculares presentes na superfície (Hahn; Healy, 1971). A solução de água com detergente perde grande parte da tensão superficial, não conseguindo, assim, resistir à força peso exercida pela agulha. Dessa forma, a agulha acaba submergindo na água.

ATIVIDADE 2.7: BARQUINHO MOVIDO A DETERGENTE

Objetivo

Demonstrar a movimentação de um barquinho devido à modificação da tensão superficial da água e explicar como isso acontece.

Materiais utilizados:

1. folha sulfite;
2. tesoura;
3. detergente líquido;
4. bacia com água;
5. régua;
6. lápis.

Figura 68 – Materiais utilizados no experimento
“barquinho movido a detergente”

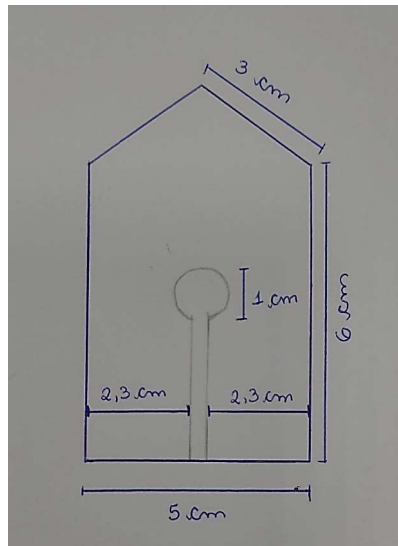


Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Recortar na folha sulfite um barquinho, seguindo o molde e as medidas da Figura 69. Após o recorte do barquinho, encher a bacia com água. É na bacia que o barco realizará o movimento, nela também será depositado o detergente líquido.

Figura 69 – Molde para recorte do “barquinho”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 70 – “Barquinho” já recortado – a parte superior da figura é o que consideraremos a “frente” do barquinho



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Procedimentos experimentais

Deve-se colocar o barquinho de papel sobre a superfície da água dentro da bacia, ou seja, na interface água e ar. Logo em seguida, pingar uma pequena gota de detergente no recorte circular do barquinho e observar o que acontece.

Análise dos resultados

Ao colocar uma gota de detergente na água dentro do recorte circular do barquinho, as moléculas do detergente em contato com a água tendem a se espalhar por toda a superfície da água. Isso se deve à polaridade da molécula de água, que, por sua vez, gera uma atração à parte polar da molécula de detergente. Esse espalhamento e deslocamento das moléculas de detergente encontram um obstáculo na parte do recorte mais próxima à frente do barquinho. Logo, o detergente exerce uma força sobre esse obstáculo (que é parte do barquinho) empurrando o barquinho, forçando-o a se movimentar, deslocando-se para frente.

Figura 71 – Experimento “barquinho movido a detergente” em funcionamento



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

ATIVIDADE 2.8: MENISCOS

Objetivo

Demonstrar a ação das forças de coesão e de adesão em diferentes líquidos, sua interação e afinidade com diferentes materiais sólidos.

Materiais utilizados:

1. dois recipientes de vidro com diâmetro de, aproximadamente, 1 cm (podendo ser tubos de ensaio ou algo similar) – neste caso, foram utilizadas garrafinhas de 50 mL cada;
2. 100 mL de água;
3. 50 mL de acetona;
4. dois recipientes cilíndricos de plástico transparente (de, aproximadamente, 2 cm de diâmetro) com capacidade de 50 mL;
5. 50 mL de óleo de soja.

Figura 72 – Materiais utilizados no experimento “meniscos”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Tomando muito cuidado, diretamente ou com o auxílio de um funil ou equivalente, deve-se encher os recipientes de vidro (item 1 dos materiais utilizados da Figura 72) até próximo ao gargalo: um deles com, aproximadamente, 50 mL de acetona; o outro com, aproximadamente, 50 mL de água. Logo após, encher os recipientes plásticos cilíndricos, um com óleo

de soja e outro com água, sendo que os dois devem ser preenchidos até, aproximadamente, metade de sua capacidade máxima.

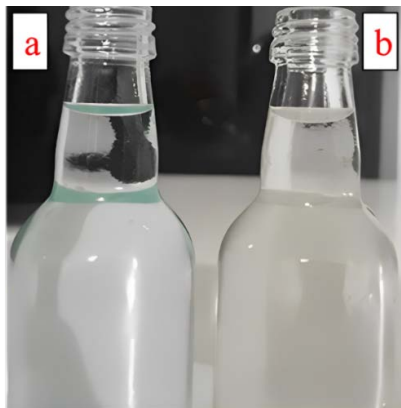
Procedimentos experimentais

Nesse experimento, deve-se analisar o comportamento dos diferentes líquidos nos recipientes e compará-los colocando os dois recipientes de vidro próximos, um ao lado do outro, e os recipientes de plástico próximos entre eles também. Deve-se atentar aos seus meniscos: “menisco”, em um líquido, se refere à forma que a superfície livre de um líquido adquire quando está contido em um recipiente – o formato da superfície livre do líquido é curvado, formando uma curva chamada menisco (Moore *et al.*, 2005).

Análise dos resultados

Ao fazer a comparação dos dois recipientes de vidro, percebe-se que seus meniscos ficam côncavos (considerando o meio líquido de sua interface), porém percebe-se que na acetona o menisco ficou menos côncavo, na água o menisco ficou mais côncavo, como se observa pelas curvaturas na figura a seguir.

Figura 73 – Análise dos meniscos em recipientes de vidro com (a) acetona e (b) água



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

O formato do menisco depende das propriedades físicas do líquido e das interações com o recipiente. Em geral, o menisco pode ser côncavo ou convexo. Um menisco côncavo é formado quando o líquido molha as paredes do recipiente, como é o caso da água em um tubo de vidro. Já um menisco convexo é formado quando o líquido não molha as paredes do recipiente, como ocorre com o mercúrio em um tubo de vidro. Essa curvatura do menisco é resultado da tensão superficial do líquido, que busca minimizar a área de contato com o ar. Além disso, a aderência ou não do líquido às paredes do recipiente influencia na forma do menisco (Moore *et al.*, 2005).

No caso da Figura 73, observamos dois meniscos côncavos, mas com curvaturas diferentes. A diferença observada nos meniscos acontece porque as forças de adesão das moléculas da água ao vidro são maiores que a força de adesão das moléculas de acetona ao vidro, ou seja, a água “molha” o vidro mais facilmente. Adicionalmente, a acetona tem uma tensão superficial mais baixa; a força de coesão das moléculas da água é maior que a força de coesão das moléculas de acetona, e isso permite que o formato do menisco da água deforme mais que o da acetona, sem que essas moléculas se desprendam umas das outras.

Ao observarmos o comportamento dos líquidos nos recipientes de plástico, verificamos que o menisco do recipiente contendo óleo possui o um formato côncavo, já o menisco do recipiente contendo água possui um formato plano. Devemos lembrar que a água é um líquido polar, enquanto o óleo é um líquido apolar. O plástico, geralmente, possui uma superfície não polar (dependendo do plástico). Essas diferenças de polaridade e interações afetarão o formato do menisco.

Figura 74 – Análise dos meniscos no recipiente de plástico com (a) água e (b) óleo de soja



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Essa diferença de formato nos meniscos da água e do óleo se dá porque a água tem pouca afinidade com o plástico, não sendo muito “atraída” às paredes do recipiente. Devido a isso, o menisco da água não se curva significativamente, ficando com a superfície livre no recipiente de plástico relativamente plana, sem uma curvatura pronunciada.

Já no caso do óleo, ele possui uma força de adesão com o plástico relativamente grande comparativamente à força de coesão (atração entre as moléculas de óleo). Em geral, as ligações de hidrogênio na água são consideradas forças intermoleculares relativamente fortes, enquanto as forças de dispersão de London no óleo são mais fracas (Moore *et al.*, 2005). Isso significa que as forças de coesão e tensão superficial do óleo são baixas, mas com altas forças de adesão ao recipiente de plástico, formando um menisco côncavo, mas com a curvatura pouco pronunciada.

É importante ressaltar que a forma exata do menisco pode variar dependendo de fatores como temperatura, pureza dos líquidos e características específicas do recipiente utilizado.

ATIVIDADE 2.9: PRINCÍPIO DE BERNOULLI

Objetivo

Demonstrar o Princípio de Bernoulli, que é um conceito fundamental da hidrodinâmica.

Materiais utilizados:

1. canudo plástico;
2. cabo de vassoura;
3. um metro de linha de costura;
4. dois balões;
5. duas latas de refrigerante vazias.

Figura 75 – Materiais utilizados no experimento “Princípio de Bernoulli”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Colocar as duas latas de refrigerante sobre uma superfície lisa, a mais ou menos 4 cm de distância uma da outra. Reservar o canudo para assoprar posteriormente.

Em uma segunda parte do experimento, colocar o cabo de vassoura em posição horizontal, a uma altura de, aproximadamente, 1,5 m do solo. Em seguida, encher os dois balões e amarrar cada um em uma linha com cerca de 50 cm de comprimento, e cerca de 8 cm de distância entre eles, conforme ilustrado a seguir.

Figura 76 – Balões suspensos (experimento pronto para ser posto em funcionamento)



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Procedimentos experimentais

Na primeira parte do experimento, utilizando o canudo, soprar entre as duas latas, na metade da altura delas, de maneira que o jato de ar fique o mais paralelo possível da superfície onde as latas estão (Figura 77).

Figura 77 – Latas afastadas com o canudo soprando entre elas



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Na segunda parte, após a montagem da Figura 76, soprar entre os balões, também em uma direção paralela ao solo.

Análise dos resultados

Na primeira parte do experimento, verifica-se que, ao soprar-se entre as latas de refrigerante, elas tendem a se aproximar, devido à diferença de pressão entre as laterais mais próximas das latas e as laterais mais distantes. Essa diferença de pressão ocorre porque, quando soprarmos o ar entre as duas latas, a velocidade das moléculas aumenta e a pressão diminui na região por onde passa o ar e, nas regiões mais afastadas das latas, a pressão continua a mesma (pressão atmosférica), fazendo com que a pressão das laterais externas seja maior que a pressão na região mais interna (tratando as duas latas como um sistema). Isso resulta em um desequilíbrio entre as pressões externa e interna ao sistema, fazendo com que uma força no lado de maior pressão desloque as latas para a direção de menor pressão.

Figura 78 – Latas aproximadas devido à diferença de pressão obtida pela passagem de ar entre as latas proveniente do canudo.



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Essa questão da diminuição da pressão quando o ar é soprado é explicada pelo Princípio de Bernoulli. O Princípio de Bernoulli é um conceito fundamental da hidrodinâmica: descreve a relação entre a velocidade de um fluido e a pressão exercida sobre ele. Quando o ar é soprado, ocorre um aumento na velocidade do fluxo de ar. De acordo com o Princípio de Bernoulli, um aumento na velocidade de um fluido está associado a uma diminuição na pressão. Portanto, ao soprar-se o ar, a pressão do ar diminui

na região onde ocorre o fluxo acelerado (Halliday *et al.*, 2009b). Isso pode ser observado em várias situações cotidianas. Por exemplo, quando você sopra sobre a superfície de uma bebida quente para resfriá-la, a corrente de ar acelerada diminui a pressão sobre a bebida, fazendo com que ela esfrie mais rapidamente.

Na segunda parte do experimento, ao soprar entre os balões, eles se aproximam, devido à diferença de pressão entre suas laterais mais próximas e as laterais mais distantes (mais externas). Nas laterais “externas” ao sistema de balões, a pressão continua a mesma (a pressão atmosférica); nas laterais da região interna, há um aumento da velocidade do ar, diminuindo, assim, a pressão. Então, o ato de soprar a região interna ao sistema faz com que a pressão das laterais externas seja maior que a pressão na região mais interna, resultando em um desequilíbrio entre essas forças exercidas nas laterais dos balões, devido à diferença de pressão.

Figura 79 – Balões antes de o ar ser soprado através do canudo



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 80 – Balões com determinada proximidade, no momento em que o ar está sendo soprado



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 81 – Vista lateral do experimento utilizando balões



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

ATIVIDADE 2.10: TAMPA ANTIGRAVIDADE

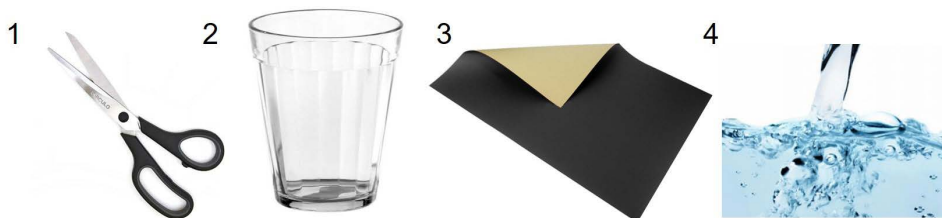
Objetivo

Demonstrar a atuação da pressão atmosférica e que a água é um líquido incompressível.

Materiais utilizados:

1. tesoura;
2. copo de vidro (foi utilizado um com 200 mL de capacidade);
3. papel cartão;
4. pouco de água (para o nosso copo, aproximadamente 200 mL).

Figura 82 – Materiais utilizados no experimento “tampa antigravidade”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Com o uso da tesoura, recortar um pedaço do papel cartão no formato quadrado, com aproximadamente 10 cm de lado. O tamanho do quadrado deve ser maior que a “boca” do copo.

Posteriormente, encher o copo de vidro com água até sua capacidade máxima, de forma que se tenha o mínimo possível de ar na parte interna do copo.

Procedimentos experimentais

Com o copo cheio de água, colocar o papel cartão já recortado horizontalmente e paralelamente à superfície da água, de maneira que ele tampe o copo.

Figura 83 – Copo sendo preenchido com água (esquerda) e copo totalmente cheio (direita)



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 84 – Copo cheio de água e coberto com o papel cartão



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Em seguida, segurar o copo com uma mão e, com a outra, segurar o papel cartão contra o copo; então, virar o copo em um ângulo de 180° , de maneira que o copo fique de “boca” para baixo. Observar o resultado.

Figura 85 – Sistema copo/cartão girado em 180°



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Análise dos resultados

Ao virar-se o copo tampado com o papel (sem movimentos bruscos), percebe-se que a água do copo não derrama e o copo não se “destampa”. Isso acontece porque o copo está quase completamente preenchido com água, com uma quantidade quase insignificante de ar ou qualquer gás em seu interior, e a água é um fluido incompressível ou inextensível (nas condições de temperatura do experimento). Dessa forma, não há folgas entre a tampa (papelão) e o copo, visto que não há variações no volume da água, nem do copo, nem deformidade na tampa, além de haver uma diferença de pressão entre a água e a pressão atmosférica. A pressão atmosférica (externa ao copo) é maior do que a pressão da água dentro do copo, que acaba empurrando a tampa contra o copo. Isso faz com que o cartão fique tampando o sistema.

Figura 86 – Experimento “tampa antigravidade” em funcionamento



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

3 MOVIMENTO ONDULATÓRIO

ATIVIDADE 3.1: COMO ENXERGAR A PRÓPRIA VOZ

Objetivo

Demonstrar a formação e a propagação de ondas sonoras, através da voz.

Materiais utilizados:

1. pedaço de cano de PVC;
2. lata de conserva pequena;
3. *laser*;
4. balão;
5. pedaço de espelho;
6. fita crepe;
7. fita adesiva transparente;
8. tesoura;
9. pistola de cola quente.

Figura 87 – Materiais utilizados no experimento “como enxergar a própria voz”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Como primeiro passo, deve-se abrir e remover as extremidades da lata de conserva. Logo após, cortar a extremidade do balão e envolver uma das extremidades da lata com o balão, fixando-o à lata com a fita crepe. Em seguida, fazer um pequeno corte em formato de “U” em uma das extremidades do cano de PVC para dar suporte ao *laser*, o qual é fixado com fita adesiva. Com a fita crepe, fixar o cano de PVC à lateral da lata, deixando o “U” do cano para o mesmo lado onde está o balão na lata. Fixar o *laser* ao “U” do suporte com a fita adesiva transparente, cuidando para que ele fique “apontando” para o balão. A fita adesiva também deve passar no botão de liga/desliga do *laser*, para mantê-lo ligado durante a realização do experimento. Na sequência, colar o espelho no balão, exatamente no ponto onde o *laser* está apontando, para que a luz seja refletida na parede, possibilitando a observação do experimento, conforme mostra a Figura 89. Quando não estiver utilizando o experimento, retirar as pilhas do *laser*. A Figura 88 ilustra detalhes de como cortar a extremidade do balão e do cano.

Figura 88 – Detalhes da montagem do experimento
“como enxergar a própria voz”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 89 – Experimento “como enxergar a própria voz” montado



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Procedimentos experimentais

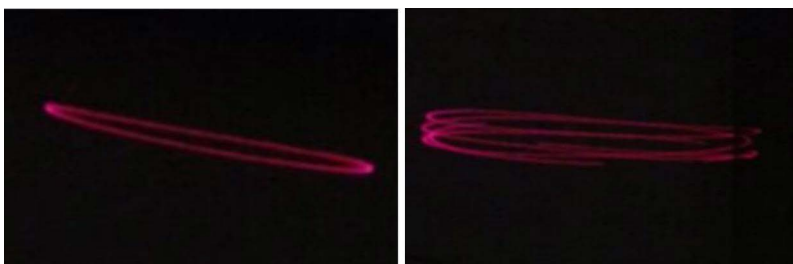
A execução do experimento se dá da seguinte maneira: na borda da lata que ficou aberta, a pessoa aproxima sua boca e emite sons, resultando em uma vibração do balão, que faz com que o espelho também vibre e, conseqüentemente, como a luz do *laser* o está tocando, fará com que sejam

observadas as ondas sonoras onde a luz está sendo refletida (na parede). Ajustar a posição do aparato experimental para visualizar as ondas sonoras em uma parede lisa e visível. A luz do ambiente em que o experimento está sendo executado também deverá ser ajustada/desligada de forma a facilitar a visualização do experimento.

Análise dos resultados

Através desse experimento, enxergam-se as ondas sonoras da própria voz por meio de ondas projetadas em uma parede. A partir do experimento proposto, observa-se que, ao falar mais próximo da lata, o balão vibra com maior intensidade e, dependendo da intensidade da voz, são provocadas variações nas ondas que serão projetadas na parede. Comparando-se as ondas formadas por vozes femininas e masculinas, observa-se que as ondas sonoras que são produzidas pelas vozes femininas são menores, devido ao fato de a voz ser mais aguda, ou seja, possui uma frequência mais elevada e, conseqüentemente, menor comprimento de onda. Para a voz masculina, observou-se o contrário: um comprimento de onda maior, característica de um som grave.

Figura 90 – Visualização das ondas sonoras no experimento “como enxergar a própria voz”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Para entender melhor a explicação do experimento, vamos definir o que são as ondas sonoras. Uma onda é uma perturbação oscilante de um sistema e periódica no tempo, em que um pulso energético se propaga através do espaço com velocidade definida. Ondas mecânicas são pertur-

bações que precisam de um meio material para se propagar e, por esse meio, transportam energia e momento linear, como é o caso das ondas sonoras. Existem também ondas que surgem a partir de fenômenos eletromagnéticos e não precisam de meios materiais para se propagar, são as ondas eletromagnéticas (Halliday *et al.*, 2009b).

Ondas sonoras são, então, perturbações mecânicas que se propagam através de um meio material, como o ar, a água ou sólidos. Essas ondas são criadas pela vibração de uma fonte sonora, como uma pessoa falando, um instrumento musical ou um alto-falante. À medida que a fonte vibra, ela cria variações de pressão no meio circundante, o que causa a propagação das ondas sonoras. No caso do experimento proposto “como enxergar a voz”, quando uma pessoa fala, o som que ela emite é produzido pelas vibrações das pregas vocais.

As ondas sonoras são caracterizadas por várias propriedades, incluindo frequência, amplitude, velocidade e comprimento de onda. A frequência é o número de ciclos completos da onda que ocorrem em um segundo e é medida em hertz (Hz). A amplitude é a medida da variação máxima de pressão em relação à pressão atmosférica normal. A velocidade do som depende das propriedades do meio em que se propaga e geralmente é maior em sólidos do que em líquidos e gases. O comprimento de uma onda sonora é a distância entre dois pontos equivalentes em partes consecutivas da onda e está relacionado à frequência (quanto maior a frequência, menor o comprimento de onda) e à velocidade do som no meio de propagação (Gaspar, 2010c; Hewitt, 2015).

As ondas sonoras podem ser descritas como ondas longitudinais, o que significa que as partículas do meio se deslocam na mesma direção da propagação da onda. Isso é diferente das ondas transversais, nas quais as partículas se movem perpendicularmente à direção de propagação. A frequência de um som caracteriza sua percepção como grave ou agudo: um som de pequena frequência é grave (baixo), e um som de grande frequência é agudo (alto). Assim, pode-se concluir que a frequência da voz feminina tende a ser maior do que a frequência da voz masculina, pois as pregas vocais femininas vibram,

em geral, com frequência maior do que as dos homens (e as ondas produzidas possuem menor comprimento de onda), produzindo um som que percebemos mais agudo. A intensidade de determinado som é tanto maior quanto for a amplitude da onda sonora (Sampaio; Calçada, 2005; Hewitt, 2015c).

ATIVIDADE 3.2: ALTO-FALANTE

Objetivo

Montar um alto-falante utilizando um motor elétrico de um carrinho de brinquedo e materiais de fácil acesso, além de mostrar seu funcionamento.

Materiais utilizados:

1. prato descartável de plástico (utilizado para bolo de aniversário);
2. palito de sorvete;
3. cola instantânea;
4. motor de carrinho de controle remoto (ou outro motor);
5. cabo de vassoura ou similar;
6. base de madeira, na qual será montado o alto-falante.

Figura 91 – Materiais utilizados no experimento “alto-falante”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Para testar o experimento, será necessário um rádio ou outra saída de áudio.

Montagem do experimento

Primeiramente deve-se cortar o cabo de vassoura em duas peças com, aproximadamente, 14 cm de comprimento e colar ambas na peça de madeira com a cola instantânea, na posição vertical e com 12 cm de distância entre elas (essa distância deve ser dois centímetros menor que o diâmetro do prato).

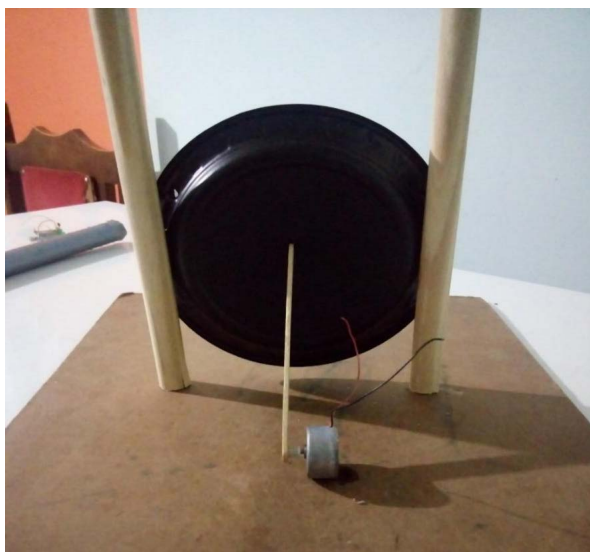
Figura 92 – Cabo de vassoura já cortado e colado na base do suporte do alto-falante



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Depois, colar o prato, apoiando-o nos cabos verticais que servirão de suporte, conforme a Figura 93. Após a fixação do prato, colar a ponta do palito de sorvete no eixo de rotação do motor e a outra ponta colar no centro do fundo do prato (atrás do prato), e colar o motor na base (se necessário colar em cima de um suporte para adequar sua altura à altura do prato). A Figura 93 ilustra a montagem do experimento.

Figura 93 – Alto-falante montado e pronto para teste



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Procedimentos experimentais

Com o alto-falante já pronto, devemos conectar o motor à saída de áudio de um aparelho de som qualquer para testá-lo.

Análise dos resultados

Ao conectar o alto-falante ao aparelho de som, se o som estiver ligado, o motor começará a vibrar e fará com que o prato vibre também, formando ondas sonoras que se propagam no ar e seguem um padrão, formando músicas, assim como um alto-falante convencional. Nesse experimento, é possível observar (escutando o som que sai do prato) a propagação de uma onda sonora que foi formada devido a uma perturbação longitudinal feita pelo motor e pelo palito, e “sofrida” pelo prato descartável.

ATIVIDADE 3.3: RESSONÂNCIA E INTERFERÊNCIA DE ONDAS MECÂNICAS

Objetivo

Demonstrar o fenômeno de interferência construtiva e destrutiva, entre ondas mecânicas.

Materiais utilizados:

1. barbante ou fio de nylon;
2. tesoura;
3. placa de MDF de 45 cm x 30 cm;
4. ripas de MDF: seis ripas com 1,8 cm x 1,5 cm x 30 cm e uma com 1,8 cm x 1,5 cm x 42 cm;
5. quatro bolinhas de enfeite de Natal (com raio de aproximadamente 2,3 cm);
6. dez parafusos de madeira (com aproximadamente 2,5 cm de comprimento);
7. chave Phillips;
8. régua.

Figura 94 – Materiais utilizados no experimento “ressonância e interferência de ondas mecânicas”

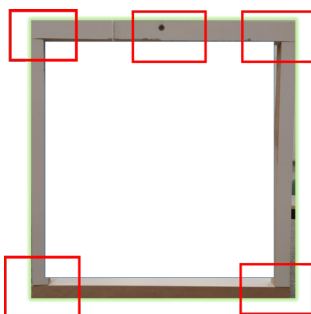


Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

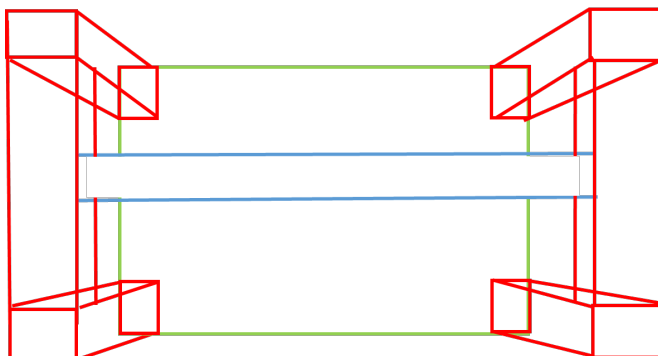
Primeiramente, devemos acoplar as ripas de MDF na placa (que servirá como base), tal qual é possível ver na Figura 95. Devemos fixar as ripas umas nas outras e na placa, com parafusos e o auxílio de uma chave Phillips. As figuras a seguir ilustram os detalhes da montagem do aparato experimental.

Figura 95 – Imagem detalhando as conexões entre as ripas e a placa – vista lateral do suporte



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 96 – Esquema de montagem do suporte – vista superior do suporte



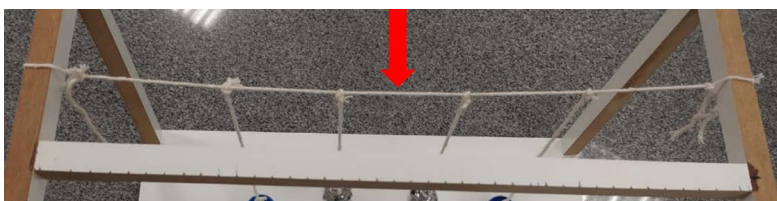
Dimensões

- 6 ripas com (1,8 x 1,5 x 30) cm - vermelho
- 1 ripa com (42 x 1,5 x 1,8) cm - azul
- 1 placa de mdf de 45cm x 30cm - verde

Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Em seguida, devemos cortar um pedaço de barbante com aproximadamente 60 cm de comprimento e amarrá-lo na parte mais alta do suporte, de um lado ao outro, como na Figura 97. Esse barbante servirá como um eixo no qual serão pendurados quatro pêndulos. Se necessário, devemos cortar as sobras de barbante.

Figura 97 – Eixo (barbante horizontal) fixado no suporte



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Para confeccionarmos os pêndulos, devemos cortar dois pedaços de barbante com 30 cm e dois com 40 cm e amarrar os barbantes de 30 cm nas bolinhas de Natal. Em seguida, devemos amarrar as outras extremidades dos barbantes (com as bolinhas de Natal) no centro do eixo, sendo que o comprimento desses dois barbantes depois de fixados no eixo deve ser de aproximadamente 20 cm (para isso, amarramos e cortamos os excessos com uma tesoura). Devemos repetir o passo para a confecção dos outros dois pêndulos, utilizando os barbantes de 40 cm, porém eles devem ficar com comprimento final de 30 cm. Os pêndulos de maior comprimento ficarão nas laterais do sistema de pêndulos, mas podem ser fixados ao eixo intercalados com os pêndulos menores.

Figura 98 – Experimento “ressonância e interferência de ondas mecânicas”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Procedimentos experimentais

Com o experimento em um local plano, devemos puxar uma das bolinhas de Natal e observar a movimentação nos demais pêndulos. Depois, puxar uma bolinha do pêndulo de outro comprimento e observar o que acontece com o sistema de pêndulos.

Figura 99 – Experimento “ressonância e interferência de ondas mecânicas” em funcionamento



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Análise dos resultados

Ao puxarmos uma das bolinhas dos pêndulos, independentemente se o de maior ou o de menor comprimento, percebemos que o outro pêndulo de mesmo comprimento também entra em movimento. Isso acontece porque, quando dois pêndulos de mesmo comprimento estão acoplados ao mesmo eixo, pode ocorrer o fenômeno de ressonância. A ressonância é um fenômeno que ocorre quando um sistema oscilante é excitado por uma força externa em sua frequência natural de vibração. Nesse caso, os pêndulos possuem a mesma frequência natural, o que leva ao aumento da amplitude de oscilação.

Quando um dos pêndulos é impulsionado a oscilar, ele transmite sua energia de oscilação para o outro pêndulo acoplado através do fio usado como eixo. Se a frequência de oscilação do pêndulo excitador coincidir com a frequência natural do pêndulo acoplado (que é caso do segundo pêndulo de mesmo comprimento), ocorrerá uma transferência eficiente de energia entre eles. A transferência eficiente de energia ocorre porque, quando a frequência de oscilação externa coincide com a frequência natural do sistema acoplado, os pêndulos estão em fase, ou seja, suas oscilações estão sincronizadas e ocorre uma interferência construtiva. Isso leva a um aumento gradual da amplitude de oscilação dos pêndulos acoplados.

Como resultado da ressonância, a amplitude das oscilações dos pêndulos acoplados pode se tornar significativamente maior do que quando oscilam de forma independente. Essa amplificação ocorre devido à transferência contínua de energia de um pêndulo para outro.

Após atingir-se a sincronização máxima (totalmente em fase), as ondas mecânicas geradas por cada um dos pêndulos de mesmo comprimento darão origem a uma interferência destrutiva até que os pêndulos interajam com vibrações totalmente defasadas, por isso os pêndulos alternam a sua movimentação e seu estado de repouso.

Os pêndulos de tamanho diferentes não interagem da mesma forma, porque, devido ao fato de o período e a frequência da oscilação terem re-

lação direta com o comprimento do pêndulo (a frequência é inversamente proporcional ao período), não é possível haver interferência inteiramente construtiva nesse tipo de movimentação. Para isso, seriam necessários o mesmo período e a mesma frequência de modo que as ondas interagissem totalmente em fase durante todo seu movimento.

Simplificando um pouco a explicação, os pêndulos de comprimento diferente não conseguem sincronizar seu movimento com a onda mecânica que está dando origem à movimentação dos pêndulos, então ora a onda o impulsiona e ora ela impede seu movimento de maneira desarmonizada.

Comparando-se os movimentos dos pêndulos de comprimentos diferentes, verifica-se que cada pêndulo terá sua própria frequência natural de oscilação, determinada pelo seu comprimento. Os pêndulos mais curtos terão frequências naturais mais altas, enquanto os pêndulos mais longos terão frequências naturais mais baixas (Gaspar, 2010; Halliday *et al.*, 2009; Hewitt, 2015; Sampaio; Calçada, 2005).

4 FENÔMENOS TÉRMICOS

ATIVIDADE 4.1: VOLUME E TEMPERATURA

Objetivo

Demonstrar a mudança no volume de um gás devido à mudança de temperatura.

Materiais utilizados:

1. régua escolar;
2. dois balões;
3. geladeira.

Figura 100 – Materiais utilizados no experimento “volume e temperatura”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Primeiramente, deve-se encher os dois balões, inflando-os com a boca. Enchê-los até chegarem a um tamanho que se julgue adequado para executar o passo posterior, que consiste em deixar um dos balões em repouso durante toda a noite dentro do congelador (levar em conta

o tamanho do compartimento da sua geladeira). Cuidar para que os dois balões inflados fiquem do mesmo tamanho.

Procedimentos experimentais

Para que seja possível a execução desse experimento, colocar um balão dentro do congelador durante toda a noite, para que o equilíbrio térmico entre a temperatura do congelador e a temperatura do interior do balão possa ser atingido. O segundo balão deverá repousar em uma superfície qualquer, que esteja em temperatura ambiente. Em um horário perto do meio-dia, retirar o balão do congelador para medir uma de suas dimensões a fim de verificar se houve uma mudança no volume do gás contido no balão. Para isso, comparar a medida anterior com a medida da mesma dimensão do outro balão que está em uma temperatura mais elevada, que será a temperatura ambiente.

Análise dos resultados

Ao realizar essa experimentação, temos que identificar e analisar diferentes aspectos acerca das propriedades físicas desse experimento: a princípio, temos de ter noção que, devido à pouca precisão dos instrumentos de medida e também da falta de ferramentas mais adequadas, conseguiremos resultados aproximados e não exatos. Porém, mesmo com resultados aproximados, as leis e os conceitos da Física serão facilmente verificados e legitimados. Outro aspecto relevante acerca dessa experimentação didática é destacarmos a composição do ar expirado pelo pulmão humano que foi utilizado para inflar o balão, que é de, aproximadamente, 15% de oxigênio, 78% de nitrogênio, 4% de dióxido de carbono, 1 a 2% de vapor d'água e o restante de sua composição são outros gases e substâncias presentes no ar. Devemos também perceber que esse experimento utiliza como meio o interior do balão, composto de borracha. Então, a pressão interna do balão varia de acordo com a quantidade que ele é inflado, ou seja, a pressão interna pode mudar de acordo com o volume interno ad-

mitido; pode ser que a pressão interna do balão dentro da geladeira não seja a mesma do balão que está fora dela. Outra propriedade que temos que levar em consideração é a elasticidade da borracha, que pode sofrer alterações de acordo com a temperatura à qual é submetida. Esses fatores elencados podem interferir na pressão interna do balão, também interferindo no seu volume.

A temperatura do interior da geladeira em que o balão foi colocado neste experimento é de -2°C , segundo dados e especificações do fabricante da geladeira utilizada. Já a temperatura do meio exterior próximo ao horário do meio-dia foi de 25°C , conforme a previsão do tempo para a região. Observe que essas temperaturas foram aferidas de maneira facilmente acessível para quem deseja reproduzir o experimento: as temperaturas foram verificadas através de aplicativos de celulares.

Figura 101 – Medição de uma das dimensões do balão resfriado no congelador (0,144 metros)



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 102 – Medição de uma das dimensões do balão que se encontra em temperatura ambiente (0,149 metros)



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Quando dois balões são inflados igualmente e um deles é colocado na geladeira enquanto o outro é deixado à temperatura ambiente, o balão colocado na geladeira sofrerá uma redução no volume, enquanto o balão deixado à temperatura ambiente manterá seu volume inicial. Isso ocorre devido às propriedades físicas dos gases. Quando um gás é resfriado, suas moléculas perdem energia cinética, o que resulta em uma diminuição da agitação molecular. Consequentemente, as moléculas se aproximam umas das outras, ocupando menos espaço e resultando em uma diminuição do volume do gás.

No balão colocado na geladeira, o ar em seu interior será resfriado, fazendo com que as moléculas do gás se contraíam, diminuindo, assim, o volume do balão. Já no balão deixado à temperatura ambiente, o ar mantém sua temperatura e as moléculas continuam a se mover com a mesma energia cinética, mantendo o volume do balão constante.

Embora o balão não seja uma esfera perfeita, trataremos como se fosse, em uma aproximação devido ao seu formato similar. Por isso, utilizaremos a fórmula do volume de uma esfera:

$$V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \quad (14)$$

e a lei dos gases ideais representada pela seguinte equação:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (15)$$

onde:

r é o raio do balão (medido em m, no SI);

V é o volume do balão ou do gás por ele contido (medido em m³, no SI);

π é a constante matemática que vale 3,14...;

P é pressão do gás (medida em Pa, no SI);

n é a quantidade de matéria do gás, representada em número de mols;

R é a constante dos gases ideais (que vale 8,31 J/mol K);

T é a temperatura do gás (medida em K, no SI) (Halliday *et al.*, 2009).

Podemos verificar matematicamente a variação do volume experimental, lembrando que a temperatura a ser usada deve ser em kelvin, unidade do Sistema Internacional de Unidades. Utilizando a equação 15, vamos verificar se a variação volumétrica do balão é correspondente à variação da temperatura, usando a relação a seguir:

Em teoria, a razão $\frac{P \cdot V(\text{balão quente})}{P \cdot V(\text{balão frio})}$ deve ser igual à razão $\frac{n \cdot R \cdot T(\text{balão quente})}{n \cdot R \cdot T(\text{balão frio})}$, visto que os dois termos são iguais, segundo a lei dos gases ideais. Sendo assim,

$$\frac{P \cdot V(\text{balão quente})}{P \cdot V(\text{balão frio})} = \frac{n \cdot R \cdot T(\text{balão quente})}{n \cdot R \cdot T(\text{balão frio})}$$

Se os balões estiverem completamente inflados e não houver alteração na quantidade de gás ou nas condições externas, como vazamentos, a pressão interna em ambos os balões deve permanecer relativamente

constante, tanto no balão que esteve na geladeira quanto no balão à temperatura ambiente. Sendo assim,

$$\frac{\cancel{R} \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 (\text{balão quente})}{\cancel{R} \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 (\text{balão frio})} = \frac{r^3 (\text{balão quente})}{r^3 (\text{balão frio})} = \frac{(\frac{0,149 \text{ m}}{2})^3}{(\frac{0,144 \text{ m}}{2})^3} = \frac{0,00041}{0,00037} = 1,11$$

Vamos considerar que nossos balões foram igualmente preenchidos pelo gás, identificado por n . Também devemos passar a temperatura para kelvin:

$$-2^\circ\text{C} = -2 + 273 = 271 \text{ K}$$

$$25^\circ\text{C} = 25 + 273 = 298 \text{ K}$$

$$\frac{\cancel{n} \cdot \cancel{R} \cdot 298 (\text{balão quente})}{\cancel{n} \cdot \cancel{R} \cdot 271 (\text{balão frio})} = 1,10$$

Comparando os dois valores, e lembrando das aproximações que fizemos, podemos afirmar que

$$\frac{P \cdot V (\text{balão quente})}{P \cdot V (\text{balão frio})} = \frac{n \cdot R \cdot T (\text{balão quente})}{n \cdot R \cdot T (\text{balão frio})}$$

Logo, a igualdade é satisfeita (Bagnato *et al.*, 1995).

Além de demonstrar a situação prática da variação do volume de um gás em função da variação de temperatura, esse experimento nos permite fazer uma análise matemática acerca das medidas experimentais de maneira satisfatória e condizente com a literatura.

ATIVIDADE 4.2: PRESSÃO E PONTO DE EBULIÇÃO

Objetivo

Demonstrar a interferência da pressão no estado físico de uma substância, como na mudança do ponto de ebulição da água.

Materiais utilizados:

1. 100 mL de água;
2. cola instantânea;
3. recipiente de vidro (garrafa de vidro com gargalo de diâmetro semelhante ao da seringa);
4. panela;
5. seringa.

Figura 103 – Materiais utilizados no experimento “pressão e ponto de ebulição”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Primeiramente, deve-se encher o recipiente de vidro com água até próximo à borda. Depois, com muito cuidado, posicionar a seringa encaixada no gargalo do recipiente e colá-la com a cola instantânea em torno da junção, para que não haja entrada ou saída de ar ou outros gases. Vale mencionar que é possível repetir o experimento com diferentes recipientes e também diferentes tipos de seringas.

Figura 104 – Junção entre a seringa e o recipiente de vidro que deve ser envolta de cola



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Procedimentos experimentais

Para que possa ser possível a execução deste experimento, é necessário utilizar uma fonte de calor. São muitas as possibilidades para a fonte de calor, mas no caso aqui descrito foi utilizada a chama de um fogão. Coloca-se o aparato experimental (recipiente de vidro com água unido com a seringa) dentro da panela com água, e o sistema é aquecido. Para isso, foi utilizada uma técnica da gastronomia chamada banho-maria, que consiste em aquecer o aparato experimental em meio à água dentro da panela. Deixamos o sistema aquecer bem e, quando percebermos (simplesmente olhando) que a água está relativamente próxima de atingir sua temperatura de ebulição, tensionamos (puxamos) o bulbo da seringa, ocasionando uma pressão negativa (menor que a atmosférica) dentro do recipiente.

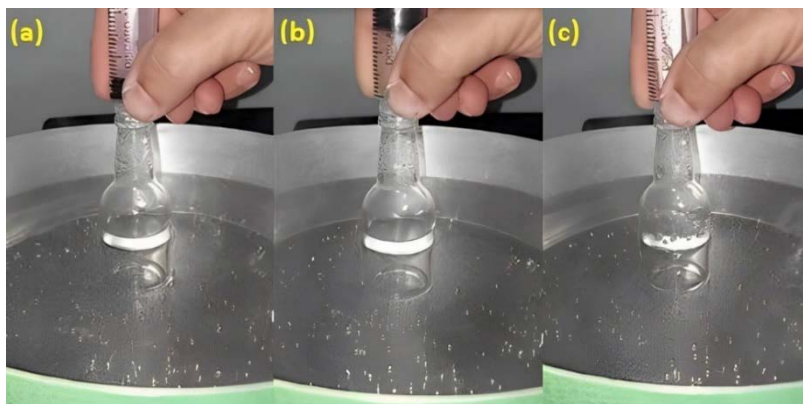
Análise dos resultados

A pressão influencia no ponto de ebulição de uma substância de forma direta. Quanto maior a pressão, maior o ponto de ebulição. Isso ocorre porque a pressão dificulta a vaporização da substância.

O ponto de ebulição é a temperatura na qual a pressão de vapor do líquido é igual à pressão atmosférica. Quando a pressão é aumentada, a pressão de vapor também aumenta. Isso significa que o líquido precisa atingir uma temperatura mais alta para que a pressão de vapor seja igual à pressão atmosférica e o líquido comece a ferver. Isso ocorre porque a pressão aumenta a intensidade das forças intermoleculares, o que dificulta a vaporização da água. Por outro lado, se a pressão for diminuída, a água vai ferver a uma temperatura mais baixa, uma vez que a pressão diminui a intensidade das forças intermoleculares, facilitando a vaporização da água (Atkins; Paula, 2017).

Ao puxarmos para cima a haste que controla o bulbo da seringa, estamos diminuindo a pressão interna do recipiente de vidro e isso acaba diminuindo a temperatura necessária para que aconteça a ebulição da água. Por isso, ao diminuirmos a pressão interna do recipiente, a água entra em estado de ebulição, borbulhando e despreendendo suas moléculas em forma de vapor, como pode ser visto na próxima figura.

Figura 105 – (a) Água em seu estado líquido, com a pressão interna do recipiente igual à pressão atmosférica; (b) e (c) experimento com bulbo tensionado e pressão interna menor que a atmosférica, com água borbulhando após atingir o ponto de ebulição



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

ATIVIDADE 4.3: CONDENSAÇÃO DE ETANOL

Objetivo

Demonstrar a mudança de estado físico do etanol de acordo com a variação de pressão.

Materiais utilizados:

1. garrafa de plástico de volume de 500 mL;
2. aproximadamente 10 mL de etanol (álcool).

Figura 106 – Materiais utilizados no experimento “condensação de etanol”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Com muito cuidado, utilizando um funil ou equivalente, deve-se colocar na garrafa os 10 mL de etanol. Em seguida, chacoalhar bem a garrafa com o etanol, para que fique bem espalhado nas paredes internas da garrafa, tendo, assim, uma maior área de contato com o ar do interior da garrafa.

Procedimentos experimentais

Logo após espalhar bem o etanol no interior da garrafa, pegar a garrafa com as duas mãos, como demonstrado na próxima figura.

Figura 107 – Posicionamento das mãos sobre a garrafa



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Posicionar as mãos de forma que seja possível torcer a garrafa, girando sua parte superior em um sentido e a parte inferior em outro sentido, da maneira como mostra a Figura 108, a seguir. Após torcer a garrafa, segurá-la na mesma posição por cerca de dez segundos e, em seguida, soltá-la e observar o que acontece.

Análise dos resultados

Ao torcermos a garrafa, acabamos fazendo com que diminua o volume dos gases que estão dentro dela, porém o número de moléculas permanece o mesmo que tínhamos inicialmente. Por consequência, a pressão e a temperatura interna aumentam, satisfazendo a equação 15 (lei dos gases ideais). Ao permitir-se que a garrafa retorne ao estado inicial (descomprimido), o volume de seu interior aumenta de maneira adiabática (sem troca de calor com o ambiente), fazendo com que a temperatura das substâncias que estão em seu interior diminua instantaneamente, transformando as moléculas de etanol do estado gasoso ao estado líquido. Por isso, o interior da garrafa fica com um aspecto esbranquiçado parecido com uma névoa ou fumaça. Esse fenômeno é um exemplo da lei dos gases ideais, que descreve como os gases se comportam sob diferentes condições de pressão, temperatura e volume (Halliday *et al.*, 2009b).

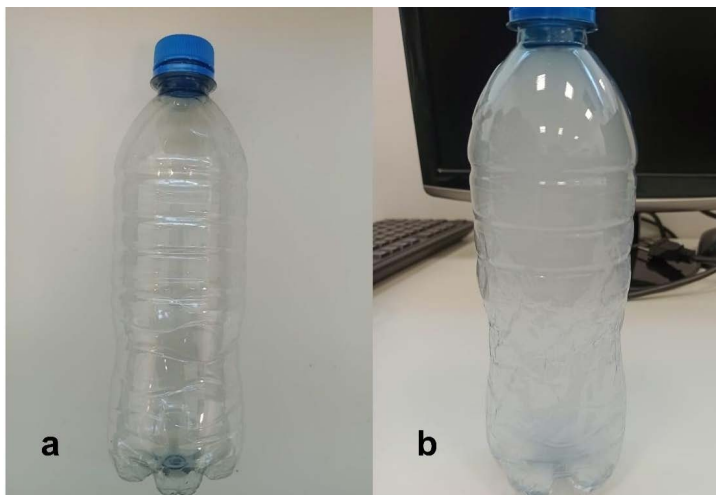
Figura 108 – Garrafa sendo torcida



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Na Figura 109 (a), temos a imagem da garrafa antes de ser comprimida: temos, em seu interior, ar, etanol em estado líquido e, devido à sua volatilidade (capacidade de uma substância de se transformar em gás sob temperatura ambiente), também temos etanol em estado gasoso. Na Figura 109 (b), a garrafa já foi comprimida e descomprimida, apresentando um aspecto esbranquiçado parecido com uma névoa. O aspecto esbranquiçado, parecido com uma névoa ou fumaça que se forma no interior da garrafa após torcer e distorcer, pode ser causado por uma combinação de fatores, incluindo a condensação do vapor de etanol e a formação de pequenas gotículas de líquido no ar. Quando a garrafa é torcida e tem aumentada temporariamente sua pressão interna, parte do vapor de etanol pode condensar e se transformar em líquido novamente, criando pequenas gotículas no ar dentro da garrafa. Essas gotículas, sendo menores que o líquido original, podem parecer uma névoa ou uma fumaça.

Figura 109 – (a) Garrafa com etanol espalhado antes de sofrer compressão e com aspecto totalmente transparente; (b) garrafa imediatamente após ser comprimida e descomprimida, apresentando um aspecto esbranquiçado



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

ATIVIDADE 4.4: COPO FANTASMA

Objetivo

Demonstrar o processo de vaporização por evaporação de um líquido bastante volátil, sem variação de pressão externa e à temperatura ambiente.

Materiais utilizados:

1. copo descartável;
2. etanol, aproximadamente 10 mL;
3. superfície plana e lisa com dimensões de, aproximadamente, 30 cm x 30 cm.

Figura 110 – Materiais utilizados no experimento “copo fantasma”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Primeiramente, deve-se despejar o etanol dentro do copo. Em seguida, espalhar bem o etanol no interior do copo, girando, agitando o copo, espalhando bem o líquido pelo fundo e também por sua parede lateral. Esse procedimento visa aumentar a área de contato do etanol espalhado pelo copo com o ar do interior do copo.

Figura 111 – Copo com um pouco de etanol espalhado pelo seu interior, visando à obtenção de maior área de contato do etanol com o ar



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Após espalhar bem o etanol dentro do copo, deve-se rapidamente virar o copo de “boca” para baixo e colocá-lo sobre a superfície plana. Escolher a superfície mais lisa e plana possível, para que se possa observar o fenômeno. Como exemplo de superfície plana, pode-se utilizar a superfície de

um *freezer*, a tampa de vidro do fogão a gás ou, até mesmo, como se utilizou nesse experimento, a parte superior de um *notebook*.

Procedimentos experimentais

Depois de espalhar bem o etanol dentro do copo e colocar o copo de “boca” para baixo sobre a superfície plana, observar o que acontece por cerca de cinco minutos.

Análise dos resultados

Ao colocarmos o copo com etanol com sua abertura voltada para baixo sobre a superfície, aguardamos cerca de dois minutos e percebemos que o copo acaba realizando uma movimentação: em nosso experimento, o copo percorreu cerca de 10 cm, mesmo não existindo declive e nem aclive na superfície. Isso acontece porque o etanol que está dentro do copo é uma substância volátil; a volatilidade nos diz o quanto uma substância tem facilidade em evaporar ou vaporizar, ou seja, passar do estado líquido para o estado gasoso em uma determinada temperatura (no caso, ambiente) e pressão. Essa característica está relacionada às forças intermoleculares presentes na substância, temperatura e pressão.

Figura 112 – Copo já com o etanol espalhado em seu interior colocado com sua abertura voltada para baixo sobre a superfície lisa e plana



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

O processo de evaporação ocorre devido a diferentes aspectos, mas basicamente ele acontece quando as moléculas de determinado líquido conseguem vencer as forças intermoleculares e de tensão superficial e acabam se desprendendo do líquido, sendo soltas na forma gasosa. Em outras palavras, para que determinada substância inicie um processo de evaporação, algumas moléculas devem receber mais energia, aumentando, assim, a sua energia cinética. Esse aumento de energia cinética se dá devido ao aumento de temperatura, mas essas moléculas também podem se desprender do líquido devido ao contato mecânico de correntes de ar com o líquido. O índice de saturação de determinada substância que está em evaporação, no ar, também pode aumentar ou diminuir o fluxo evaporativo (Hill, 2013).

Nesse experimento, devido ao fato de o etanol estar bem espalhado pelo copo, há uma “grande” área de contato do etanol com o ar, fator que acelera o processo de evaporação. Devido às forças de coesão entre o etanol e o copo, e do etanol com a superfície, o copo fica sem vazamentos de líquidos ou gases. Porém, como dentro de seu interior a pressão aumenta conforme o etanol vai evaporando, em um determinado momento ele acaba vazando por um “ponto” entre a junção do copo e a superfície plana. Isso gera um fluxo de gás do interior do copo para o exterior, dando origem a uma força propulsora, que, por sua vez, “empurra” o copo, fazendo com que ele se locomova sobre a superfície.

Figura 113 – Execução do experimento “copo fantasma” e a movimentação do copo que começa em (a) mais próximo do centro da superfície, (b) indo em direção à borda da superfície e (c) na borda da superfície



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

ATIVIDADE 4.5: GARRAFA QUE AMASSA

Objetivo

Demonstrar a compressão de uma garrafa PET devido à diminuição da pressão interna.

Materiais utilizados:

1. chapa aquecedora ou fogão;
2. garrafa PET;
3. água;
4. luvas de proteção (para altas temperaturas);
5. cronômetro;
6. termômetro;
7. leiteira.

Figura 114 – Materiais utilizados no experimento “garrafa que amassa”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Primeiramente, deve-se colocar água para ferver em uma leiteira, sobre uma chapa aquecedora (ou fogão), e reservar a garrafa PET. A quantidade de água deverá ser suficiente para encher a garrafa.

Procedimentos experimentais

Transferir a água fervente para a garrafa PET utilizando as luvas (para que não ocorram possíveis queimaduras) e tampar a garrafa. Em seguida, após a garrafa entrar em equilíbrio térmico com a água fervente, abrir e esvaziar a garrafa. Tampá-la novamente e, rapidamente, colocá-la embaixo de uma torneira aberta com água em temperatura ambiente. Feito esse procedimento, observar o fenômeno que irá ocorrer.

Análise dos resultados

Quando colocamos e retiramos a água fervente da garrafa, esta fica com uma temperatura mais alta do que sua temperatura inicial. Após co-

locarmos a garrafa embaixo da água fria (à temperatura ambiente), devido à grande diferença de temperatura entre a garrafa quente e a água, a garrafa se comprime totalmente. Isso ocorre porque o ar contido no interior da garrafa é resfriado, fazendo com que as moléculas que estão em seu interior comecem a se comprimir, diminuindo, assim, a pressão interna. Desse modo, a pressão atmosférica (pressão externa) começa a exercer uma força maior na garrafa (em relação à pressão interna), fazendo-a comprimir (Sampaio; Calçada, 2005b). É o que se verifica na figura a seguir.

Figura 115 – Garrafa comprimida devido à diminuição da pressão interna



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

ATIVIDADE 4.6: TERMOSTATO

Objetivo

Demonstrar o comportamento da dilatação devido à variação de temperatura em uma lâmina bimetálica e relacioná-la com a tecnologia.

Materiais utilizados:

1. uma caixa de leite (embalagem cartonada);
2. tesoura;
3. fonte de calor (neste caso, foi utilizado um forno);
4. bomba de calor (neste caso, foi utilizada uma geladeira).

Figura 116 – Materiais utilizados no experimento “termostato”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

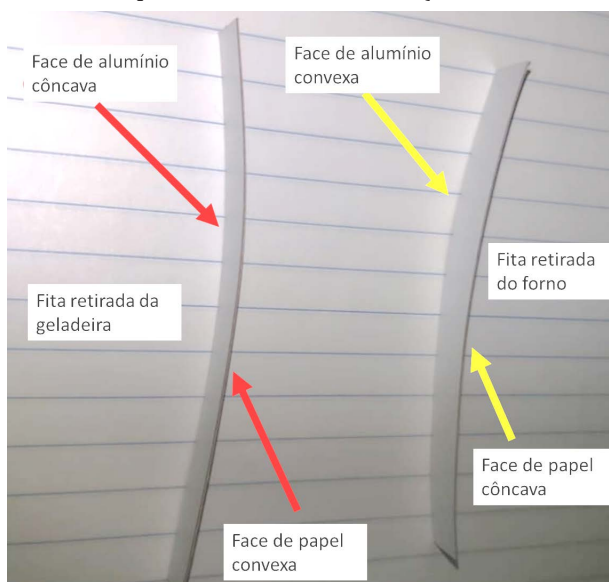
Montagem do experimento

Primeiramente, com o uso da tesoura, cortar duas tiras retangulares da caixa de leite, sendo que os tamanhos escolhidos foram de 1 cm x 9 cm. As fitas podem ser cortadas com tamanho diferente do aqui escolhido, porém aconselha-se cortá-las com um tamanho próximo, para que a execução do experimento seja visível facilmente. Após as fitas serem cortadas, uma delas deve ser colocada dentro da geladeira, e outra deve ser colocada dentro do forno a uma temperatura que seja a mais branda selecionável. Ambas devem ser deixadas por cerca de quinze minutos, para que alterem sua temperatura inicial, ficando mais próximas da temperatura do meio em que acabaram de ser expostas.

Procedimentos experimentais

Depois de quinze minutos das fitas dentro do forno e da geladeira, retirá-las rapidamente, para que não alterem sua temperatura no momento em que forem expostas ao meio externo. Comparar as duas fitas, ver o que aconteceu com elas e quais as semelhanças e diferenças entre as duas.

Figura 117 – Fitas sendo comparadas: a da esquerda está com temperatura mais baixa (retirada da geladeira); a da direita está com temperatura mais elevada (retirada do forno)



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Análise dos resultados

A dilatação térmica é um fenômeno físico que se refere à mudança nas dimensões de um material quando sua temperatura é alterada. Geralmente, quando um material é aquecido, suas partículas individuais ganham energia cinética e começam a se mover de forma mais agitada. Esse aumento na agitação térmica das partículas faz com que elas se afastem umas das outras, resultando em um aumento nas dimensões do material.

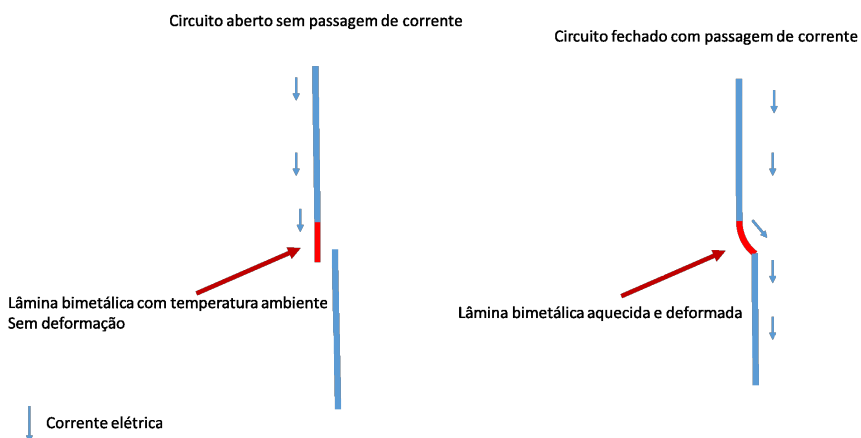
De acordo com o coeficiente de dilatação térmica, que é uma propriedade específica de cada material, a quantidade de expansão ou contração que ocorre pode ser prevista. O coeficiente de dilatação térmica linear é frequentemente utilizado para descrever a expansão ou a contração em uma dimensão específica de um sólido quando a temperatura varia (Serway; Jewett, 2012b).

Ao colocarmos as duas fitas perto uma da outra e compararmos ambas, percebemos que a fita de temperatura mais baixa fica com a parte de alumínio côncava e a face de papel convexa; percebemos, também, que a fita que tem a temperatura mais alta assume a forma contrária: a parte de alumínio fica convexa e a parte de papel fica côncava. Essa embalagem de papel chama-se embalagem cartonada, e geralmente possui mais que duas camadas: uma camada de papel cartão, uma de alumínio, e cerca de quatro camadas de polietileno (porém, o número de camadas não possui relevância nesta análise). Percebemos que ambas as fitas se encurvam com a mudança de temperatura; isso acontece porque os materiais de que é composta a fita possuem coeficientes de dilatação diferentes e isso acaba fazendo que, com a mudança de temperatura, uma das faces se dilate mais do que a outra quando aquecida e, quando resfriada, uma das faces se contraia mais do que a outra. Ambas as situações conferem às fitas uma forma curvada, sendo que o material que possui maior coeficiente de dilatação acaba se tornando a face convexa, com o aumento de temperatura, ou côncava, com a diminuição da temperatura.

A Figura 118 demonstra o funcionamento de diferentes equipamentos eletrônicos que utilizam a propriedade de dilatação de uma lâmina bimetálica para funcionar automaticamente com uma determinada variação de temperatura. A figura pode ilustrar o funcionamento do termostato de uma geladeira, por exemplo: no lado esquerdo, a interrupção do funcionamento do sistema que resfria seu interior; no lado direito, uma deformação na lâmina bimetálica que acontece devido ao aumento de temperatura, fazendo com que a lâmina contacte uma parte do circuito com a outra, possibilitando a passagem de corrente elétrica pelo circuito. Isso faz com que o compressor da geladeira e o restante do sistema de refrigeração funcionem, bombeando calor do interior da geladeira para o meio exterior. Essa figura ilustra o funcionamento do termostato de uma geladeira, porém muitas outras máquinas funcionam seguindo os mesmos conceitos da termodinâmica e também se utilizando de uma lâmina bime-

tálica – por exemplo, um ferro de passar roupas. Dois materiais comuns na fabricação de lâminas bimetálicas são o invar, que é uma liga metálica composta por ferro e níquel e apresenta um coeficiente de dilatação linear próximo a $0,7 \times 10^{-6} /K$, e o latão, que possui coeficiente de dilatação $19 \times 10^{-6} /K$ (Halliday *et al.*, 2009b).

Figura 118 – Esquema da atuação de uma lâmina bimetálica: à esquerda, lâmina bimetálica em circuito aberto; à direita, lâmina bimetálica em circuito fechado



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

ATIVIDADE 4.7: CALOR ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS

A construção do calorímetro que será utilizado neste experimento e o cálculo da capacidade térmica do calorímetro estão demonstrados em um capítulo do livro *Ensino de Física com experimentos de baixo custo* (Ribeiro *et al.*, 2018).

Objetivo

Determinar o calor específico de corpos sólidos, através de um calorímetro caseiro de capacidade térmica C , conhecida.

Materiais utilizados:

1. calorímetro caseiro;
2. calculadora;
3. água;
4. balança digital;
5. chapa aquecedora (fogão);
6. dois termômetros;
7. leiteira;
8. corpo de aço;
9. corpo de latão.

Figura 119 – Materiais utilizados no experimento sobre calor específico



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Antes da realização do experimento, deve-se introduzir um dos termômetros no calorímetro, de modo que fique em contato térmico com a quantidade de água recomendada nos procedimentos experimentais, para sua respectiva medição de temperatura, conforme mostra a Figura 120.

Para a realização deste experimento, deve-se tomar cuidado, pois serão manuseados objetos em altas temperaturas e água fervente. Pode-se utilizar uma luva para segurança, se for considerado necessário.

Figura 120 – Inserção do termômetro no calorímetro



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Procedimentos experimentais

Colocar uma massa de água, m_1 , à temperatura ambiente T_1 no calorímetro (a água precisa cobrir o corpo de aço). Feito isso, medir a temperatura ambiente (T_1) com auxílio do termômetro que não está no calorímetro.

Mergulhar na leiteira um corpo de aço de massa m_2 conhecida, inicialmente à temperatura ambiente (T_1). Ligar a chapa aquecedora e deixar o corpo de aço aquecer até a ebulição da água (T_2) e medir a temperatura de ebulição (T_2) com auxílio do termômetro utilizado para medir a temperatura ambiente, conforme mostra a próxima figura.

Figura 121 – Medição da temperatura da água em aquecimento



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Após o corpo de aço entrar em equilíbrio térmico com a água em ebulição, transferir rapidamente para o calorímetro o corpo à temperatura T_2 . Fechar o calorímetro ao colocar o corpo. Agitar levemente o calorímetro para uniformizar o aquecimento da massa líquida do calorímetro. Anotar a temperatura T_f de equilíbrio térmico, no calorímetro.

Repetir os procedimentos acima para o corpo de latão.

Determinar o calor específico dos corpos utilizados no experimento, sabendo que a capacidade térmica do calorímetro, C , é 23,01 J/K, como pode ser observado no roteiro do experimento de construção do calorímetro em Ribeiro *et al.* (2018).

Consultar na literatura e comparar o valor do calor específico determinado com o valor teórico, determinando o desvio percentual entre ambos.

Análise dos resultados

O calorímetro foi posicionado sobre a balança digital e, em seguida, ela foi tarada para que se pudesse medir diretamente a massa de água que seria adicionada ao calorímetro. Acrescentaram-se 103,2 g de água

ao calorímetro para cobrir totalmente o corpo de aço e foi medida a temperatura ambiente, que era de 16°C. Depois, conduziu-se o corpo de aço com massa de 50,1 g à leiteira, que tinha uma determinada quantidade de água suficiente para cobrir totalmente o corpo. Posteriormente, colocou-se a leiteira sobre a chapa aquecedora e o sistema foi aquecido até o ponto de ebulição da água, que ocorreu a 97°C. Após o equilíbrio térmico entre o corpo de aço e a água em ebulição, transferiu-se, rapidamente, o corpo de aço para o interior do calorímetro que possuía um termômetro e o calorímetro foi imediatamente fechado, para que não ocorressem trocas de calor com o ambiente externo. A seguir, agitou-se o calorímetro para uniformizar o aquecimento da água e do corpo de aço, e a temperatura de equilíbrio observada, nesse caso, foi de 20°C.

Já para o corpo de latão, foram acrescentados 28,8 g de água, a temperatura ambiente foi medida em 17,8°C e a massa medida do corpo foi de 9,9 g. Posteriormente, o corpo de latão foi colocado na leiteira sobre a chapa aquecedora e o sistema foi aquecido até o ponto de ebulição da água, que ocorreu a 97,8°C. Rapidamente, transferiu-se o corpo de latão para o calorímetro, em que, após o equilíbrio térmico, a temperatura medida foi de 19,8°C.

A Tabela 1 contém os dados obtidos para os dois corpos estudados.

Tabela 1 – Valores de massa de água utilizada no calorímetro, massa dos corpos e temperatura de equilíbrio térmico

	Massa da água (g)	Massa do corpo (g)	Temperatura de equilíbrio térmico (°C)
Aço	103,2	50,1	20,0
Latão	28,8	9,9	19,8

Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Calor sensível é a forma de energia térmica associada à variação de temperatura de um material, sem que haja mudança de estado físico. Em outras palavras, é a quantidade de calor transferida para um corpo ou

substância que provoca aumento ou diminuição em sua temperatura, sem que ocorra uma mudança de fase (por exemplo, de sólido para líquido ou de líquido para estado gasoso). O calor sensível está relacionado à capacidade do material de armazenar energia térmica em sua temperatura atual.

Se um corpo de massa m está inicialmente a uma temperatura T_i e recebe calor Q , sem sofrer mudança de estado, então sua temperatura aumenta para o valor final T_f . A variação de temperatura $\Delta T = T_f - T_i$ é diretamente proporcional ao calor Q recebido, $Q \propto \Delta T$, onde a constante de proporcionalidade (C) é denominada capacidade térmica. Logo,

$$Q = C \cdot \Delta T = C \cdot (T_f - T_i) \quad (16)$$

A capacidade térmica de um corpo é diretamente proporcional à sua massa, onde a constante de proporcionalidade (c) é denominada calor específico da substância que constitui o sistema (ou corpo). Logo,

$$C = c \cdot m$$

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T = c \cdot m \cdot (T_f - T_i) \quad (17)$$

onde:

Q é a quantidade de calor sensível transferida (medida em Joule no SI, mas cal também é uma unidade usual);

C é capacidade térmica (no nosso caso, do calorímetro) (medida em J/K, no SI);

c é o calor específico (no nosso caso, dos corpos de aço e de latão) (medida em J/kg.K, no SI);

$\Delta T = (T_f - T_i)$ é a variação de temperatura (medida em J/kg.K, no SI, mas usualmente, para nós, medida em °C).

Cada substância tem um valor de calor específico descrito na literatura, sendo que o calor específico da água tem o valor de $4187 \frac{\text{J}}{\text{kg.K}}$ (Halliday *et al.*, 2009b).

O calorímetro isola as trocas de calor com o ambiente, por isso, consideramos apenas três quantidades de calor para obtenção do calor específico dos corpos sólidos estudados:

$Q_1 = \text{calor da água do calorímetro} = c_{H_2O} \cdot m_{H_2O} \cdot \Delta T_{H_2O} \rightarrow$ a água recebe calor do corpo sólido;

$Q_2 = \text{calor do corpo sólido} = c_{\text{corpo}} \cdot m_{\text{corpo}} \cdot \Delta T_{\text{corpo}} \rightarrow$ o corpo fornece calor para o sistema (calorímetro + água);

$Q_3 = \text{calor do calorímetro} = C_{\text{calorímetro}} \cdot \Delta T_{\text{calorímetro}} \rightarrow$ o calorímetro recebe calor do corpo sólido.

Num sistema termicamente isolado (que é o caso deste experimento), quando um ou mais corpos trocam calor entre si, ao atingir-se o equilíbrio térmico, a soma das quantidades de calor trocadas entre eles é nula, ou seja $\sum Q = 0$.

Assim:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$$

$$c_{H_2O} \cdot m_{H_2O} \cdot \Delta T_{H_2O} + c_{\text{corpo}} \cdot m_{\text{corpo}} \cdot \Delta T_{\text{corpo}} + C_{\text{calorímetro}} \cdot \Delta T_{\text{calorímetro}} = 0 \quad (18)$$

Substituindo os dados experimentais obtidos para o aço na equação 18, temos:

$$4187 \times 0,1032 \times (20-16) + c_{\text{aço}} \times 0,0501 \times (20-97) + 23,01 \times (20-16) = 0$$

$$c_{\text{aço}} = 471,90 \frac{J}{kg \cdot K}$$

Substituindo os dados experimentais obtidos para o latão na equação 18, temos:

$$4187 \times 0,0288 \times (19,8-17,8) + c_{\text{latão}} \times 0,0099 \times (19,8-97,8) + 23,01 \times (19,8-17,8) = 0$$

$$c_{\text{latão}} = 371,94 \frac{J}{kg \cdot K}$$

Portanto, o calor específico calculado através da equação 18 para o corpo de aço foi de $471,90 \frac{J}{kg \cdot K}$, já para o corpo de latão foi de $371,94 \frac{J}{kg \cdot K}$. Pode-se observar que, para ambos os corpos, o calor específico expe-

rimental foi bem próximo ao já estabelecido pela literatura, que é de $460 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ para o aço (Callister; Rethwisch, 2014) e de $380 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ para o latão (Cengel; Ghajar, 2015). Considerando esses valores teóricos, encontramos o desvio experimental dos nossos valores encontrados experimentalmente para o calor específico: 2,59% para o aço e 2,12% para o latão (Vuolo, 1996). Dessa forma, podemos considerar que o experimento foi bem-sucedido, tendo em vista que o desvio percentual encontrado para ambos os corpos está abaixo de 3%, o que é considerado um desvio pequeno, uma vez que foi utilizado um calorímetro caseiro e de baixo custo para realização do experimento.

ATIVIDADE 4.8: ABAJUR GIRATÓRIO

Objetivo

Demonstrar o princípio de uma máquina que funciona por transporte de calor.

Materiais utilizados:

1. garrafa PET transparente (de 2 L);
2. lâmpada incandescente;
3. soquete;
4. fio de luz com plugue macho;
5. arame;
6. pedaço de madeira ou MDF;
7. cola instantânea;
8. lata de alumínio;
9. agulha;
10. retalho de papel cartão;
11. compasso;
12. caneta;
13. régua;

14. estilete;
15. tesoura;
16. parafusos;
17. chave Phillips;
18. alicate;
19. fita adesiva.

Figura 122 – Materiais utilizados no experimento “abajur giratório”



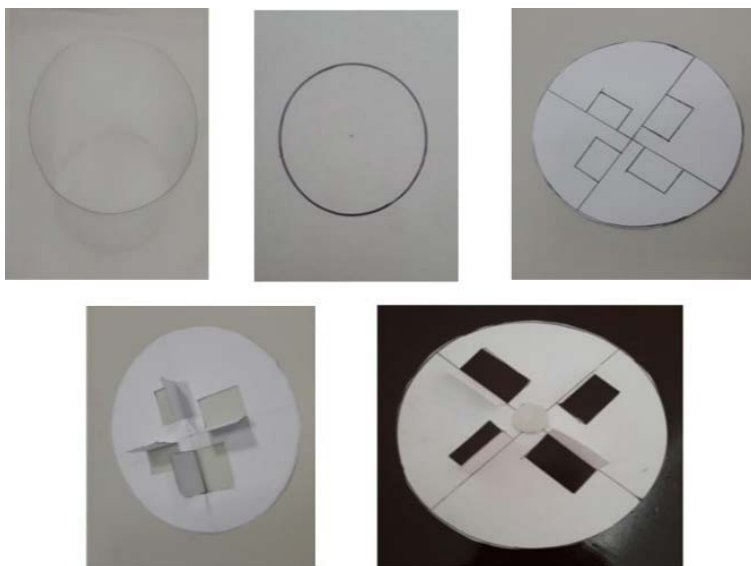
Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Primeiramente, deve-se pegar a garrafa PET e, com a régua, medir 20 cm de comprimento em sua parte central, fazendo uma marcação com a caneta, para que, ao ser cortada, a garrafa fique com formato de um cilindro. Cortar as duas extremidades da garrafa na marcação feita e reservar. No papel cartão, com o auxílio do compasso, fazer um círculo no tamanho da circunferência da garrafa e uma marcação no centro do círculo. Com auxílio da régua, dividir o círculo em quatro partes, marcan-

do as divisões com a caneta. Depois, desenhar um quadrado ao lado de cada marca, fazendo quatro quadrados. Com o estilete, cortar três partes do desenho dos quadrados, deixando uma parte (a que passa pela reta) sem cortar. Dobrar as partes cortadas para baixo. Pegar a lata de alumínio e recortar um círculo de 1 cm de diâmetro, amassar o seu centro com a ponta da caneta e, com a cola instantânea, fixá-lo no centro do círculo de papel e colar esse círculo em uma das extremidades do cilindro feito com a garrafa, deixando as dobras do círculo de papel para dentro do cilindro. Reservar. A Figura 123 ilustra os detalhes da montagem do abajur.

Figura 123 – Montagem do “abajur” do experimento “abajur giratório”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Para a montagem da parte elétrica do abajur, pegar o fio com o plugue e, com o alicate, descascar 0,5 cm da extremidade livre (ver Figura 124). Encaixar o fio no soquete e apertar o parafuso do soquete com a chave Phillips, depois centralizar o soquete em cima da madeira e parafusá-lo. Colocar a lâmpada no soquete e prender o arame em volta do soquete e

da lâmpada, formando uma espiral, deixando uma ponta para cima. Na ponta do arame, prender a agulha com fita adesiva.

Figura 124 – Montagem da parte elétrica do experimento “abajur giratório” (soquete e arame)



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Encaixar o cilindro feito com a garrafa na agulha sobre a lâmpada, de maneira que a agulha fique em contato com a parte amassada do círculo de alumínio (Figura 125). Isso reduzirá o atrito entre o abajur e o suporte.

Figura 125 – Montagem do experimento “abajur giratório”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Procedimentos experimentais

Ligar o plugue na tomada, aguardar a lâmpada aquecer e o abajur começar a girar.

Análise dos resultados

Quando é acesa no interior do cilindro do abajur, a lâmpada emite luz e calor. A energia térmica emitida pela lâmpada aquece o ar ao redor dela. Uma vez que o ar é aquecido, ele se torna menos denso e, portanto, mais leve do que o ar mais frio circundante. A diferença de densidade faz com que o ar aquecido se torne mais propenso a subir. Esse processo é conhecido como convecção. A convecção é o movimento de um fluido (no caso, o ar) devido a diferenças em sua temperatura e, conseqüentemente, em sua densidade. Quando o ar aquecido próximo à lâmpada sobe, é substituído por ar mais frio e denso, criando um fluxo contínuo de convecção dentro do cilindro (Halliday *et al.*, 2009b). A convecção de ar para cima sai pelas aberturas feitas no círculo de papel, sendo que são essas aber-

turas que dão sentido ao movimento do abajur. À medida que o ar quente sobe, exerce um torque no abajur, fazendo-o girar. Em outras palavras, a convecção da massa de ar aquecida no interior do cilindro é que transfere momento angular e faz o abajur rodar (Hewitt, 2015).

O princípio físico deste experimento se compara ao funcionamento simples de uma máquina térmica, que funciona por transporte de calor. Esse fenômeno é uma demonstração interessante das interações entre calor, densidade e movimento de fluidos.

Figura 126 – Experimento “abajur giratório”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

ATIVIDADE 4.9: CONDENSAÇÃO DA ÁGUA

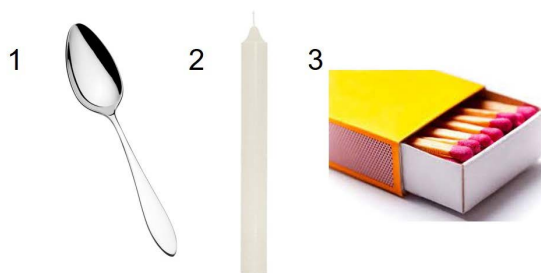
Objetivo

Demonstrar a condensação da água proveniente da reação de combustão e do ar atmosférico.

Materiais utilizados:

1. colher;
2. vela;
3. fósforo.

Figura 127 – Materiais utilizados no experimento “condensação da água”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Primeiramente, deve-se colocar a colher dentro do congelador para que baixe sua temperatura; deve ser assim mantida por, pelo menos, duas horas (tempo considerado suficiente). Depois que a colher já estiver com sua temperatura bem baixa, com o palito de fósforo, acender a vela.

Figura 128 – Vela acesa para execução do experimento “condensação da água”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Procedimentos experimentais

Colocar a colher “gelada” em posição horizontal sobre a vela acesa, a uma distância de, aproximadamente, 50 cm, como na Figura 129. Se

necessário, de acordo com a nossa percepção, aproximar ou distanciar a colher da chama e observar o que acontece.

Análise dos resultados

Quando se coloca uma colher “gelada” próxima à chama de uma vela acesa, um fenômeno ocorre devido às propriedades de condensação da água e à diferença de temperatura entre a colher e o ambiente próximo à chama. Como a vela está acesa e proporcionando uma reação de combustão, observamos na colher “gelada” a formação de gotículas de água.

Figura 129– Posição da colher em relação à vela no experimento “condensação da água”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

A explicação para as gotículas de água observadas na colher está relacionada ao processo de condensação. A condensação é a transformação do vapor em líquido quando ocorre uma diminuição de temperatura. Nesse caso, a chama da vela aquece o ar ao redor dela, e parte desse ar quente entra em contato com a superfície fria da colher. Quando o ar quente en-

tra em contato com a colher fria, sua temperatura diminui rapidamente. À medida que o ar esfria, sua capacidade de reter vapor de água diminui. Isso faz com que o vapor de água presente no ar comece a condensar, ou seja, a passar do estado gasoso para o estado líquido, formando pequenas gotículas de água na superfície da colher. O vapor d'água que se condensa na colher gelada vem principalmente da própria combustão da vela (que tem como produtos dióxido de carbono e vapor de água), mas recebe contribuições também do ar atmosférico circundante e da evaporação da cera (Brown, 2014). Todos esses fatores fazem com que haja moléculas de vapor d'água no ar quente próximo à chama. Ao se encontrar com a colher, cuja temperatura é menor, o vapor d'água presente no ar quente se condensa, formando gotículas líquidas na superfície da colher. Essas gotículas de água se acumulam na colher porque a superfície dela está em uma temperatura inferior ao ponto de condensação do vapor de água presente no ar próximo à chama da vela.

Figura 130 – Resultado experimental da “condensação da água” visto sob diferentes ângulos



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

5 ELETROMAGNETISMO

ATIVIDADE 5.1: ATRAÇÃO ENTRE BOLHA DE SABÃO E BALÃO

Objetivos:

- eletrizar um balão;
- observar a interação entre o balão e uma bolha de sabão.

Materiais utilizados:

1. balão;
2. canudo de plástico;
3. tecido de algodão;
4. 20 mL de detergente;
5. 30 mL de água;
6. copo.

Figura 131 – Materiais utilizados no experimento “atração entre bolha de sabão e balão”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Misturar o detergente com a água, para que, em seguida, possam ser feitas bolhas de sabão utilizando-se o canudo plástico.

Procedimentos experimentais

Para uma boa visualização do fenômeno, este experimento exige dois passos, que devem ser realizados o mais simultaneamente possível: o primeiro é fazer a bolha de sabão, mergulhando a ponta do canudo na solução e soprando lentamente até que a bolha atinja um tamanho desejado e se solte do canudo; o segundo consiste em esfregar bem, por cerca de um minuto, o balão no tecido de algodão. Então, para a visualização do fenômeno, após a bolha estar solta no ar, deve-se posicionar o balão, sem encostar, em cima da bolha, como demonstra a Figura 132. Se necessário, variar a distância de proximidade do balão com a bolha.

Figura 132 – Bolha suspensa em ponto de equilíbrio entre força peso (da bolha) e força de atração exercida pelo balão

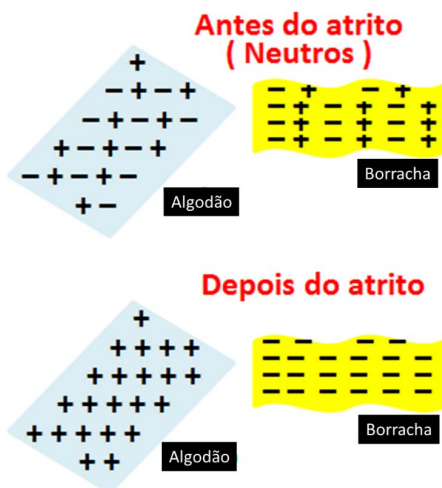


Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Análise dos resultados

Ao atritarmos o tecido no balão, fazemos com que este fique eletrizado com cargas negativas. Esse processo de eletrização que ocorre com o balão e o tecido é denominado eletrização por atrito: a diferente afinidade eletrônica entre eles fará com que um deles ceda elétrons (ficando positivo) e o outro receba (ficando negativo) (Gaspar, 2010a). De acordo com a série triboelétrica, ao serem atritados, o tecido de algodão tende a ficar positivo, e o balão, negativo (Bhushan, 2013). O esquema da Figura 133 ilustra o que acontece nesse processo de eletrização.

Figura 133 – Esquema da eletrização por atrito do tecido com o balão

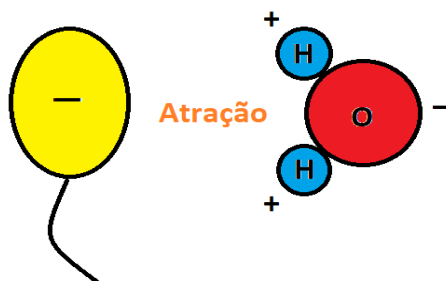


Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Ao aproximarmos o balão eletrizado da bolha de sabão, que possui moléculas positivas e negativas, fazemos com que ela fique polarizada. O balão, que está carregado negativamente, ao se aproximar da bolha de sabão, faz com que as cargas opostas da bolha sejam atraídas pelo balão e as cargas de mesmo sinal sejam repelidas. Isso causa uma redistribuição das cargas elétricas na bolha, a polarização, fazendo com que a parte

próxima ao balão fique positivamente carregada e a parte oposta fique negativamente carregada (Hewitt, 2015). Como o balão está próximo da bolha, ocorre a atração das cargas positivas da bolha pelas cargas negativas do balão, fazendo com que a bolha, que possui “pouca” massa, tenha seu peso equilibrado pela atração eletrostática exercida pelo balão. Dessa forma, a bolha tende a manter-se em equilíbrio, repousando por um pequeno tempo imóvel no ar.

Figura 134 – Ilustração da atração entre molécula de água (polarizada) e as cargas negativa do balão



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

ATIVIDADE 5.2: MINIGERADOR EÓLICO

Objetivos:

- analisar os princípios físicos essenciais à elaboração de um modelo em escala reduzida de um gerador eólico;
- avaliar a capacidade do minigerador eólico de produzir energia elétrica adequada para alimentar uma pequena lâmpada de LED.

Materiais utilizados:

1. cano de PVC (de, aproximadamente, 25 cm);
2. cotovelo de PVC;
3. fios condutores;

4. LED;
5. minimotor;
6. hélice;
7. cola quente;
8. base de madeira;
9. gerador de fluxo de ar ou secador de cabelos.

Figura 135 – Materiais utilizados para a montagem do minigerador eólico



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Começa-se colocando o minimotor dentro do cotovelo de PVC, em uma das extremidades; na outra extremidade do cotovelo, é inserida a barra de cano de PVC. Nosso cano de PVC utilizado tinha, aproximadamente, 25 cm de comprimento e foi utilizado para simular a torre do gerador. Por dentro desse cano, devem ser colocados dois fios de cobre, que serão ligados ao minimotor, conforme a Figura 136, a seguir.

Figura 136 – Fios ligados ao minimotor



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Então, deve-se inserir uma hélice de plástico que funcionará como catavento na parte frontal do minimotor e fixá-la no eixo central, para gerar o movimento mecânico através da energia cinética do vento. Na outra extremidade dos fios de cobre, conectar uma lâmpada de LED, para verificar se há geração de energia elétrica através do movimento mecânico da hélice.

Figura 137 – Hélice fixada no minimotor

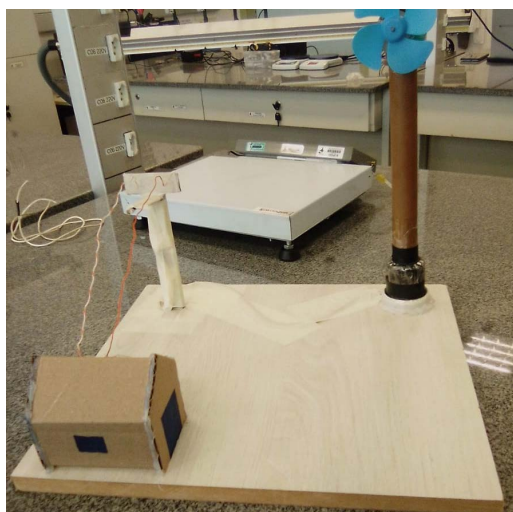


Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Após a montagem da parte elétrica do minimotor elétrico, o sistema deverá ser fixado com cola quente à base de madeira, como pode ser visto

na Figura 138. No nosso caso, montamos uma maquete com uma casinha e a representação de um poste com o LED, para fins didáticos, mas essa montagem da maquete é opcional. A representação na forma de maquete foi escolhida por ser um modelo no qual o público consegue compreender o que lhe é proposto de forma rápida e prática.

Figura 138 – Maquete com o minigerador eólico montado



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Procedimentos experimentais

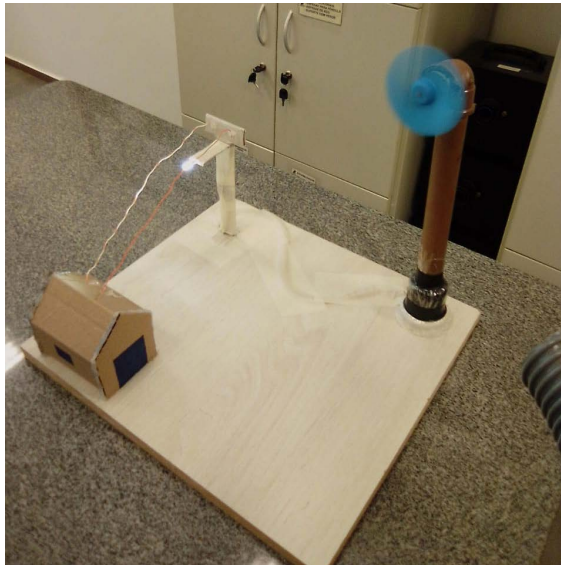
Para a simulação de como o motor responderá à ação do vento, deve-se utilizar um secador de cabelos, que irá fornecer a energia cinética suficiente para fazer o teste do equipamento. Pode ser utilizado outro equipamento similar ou o próprio vento em uma área externa, em substituição ao secador de cabelos. Deve-se ligar o secador e incidir o vento sobre a hélice, observando se o LED acende para verificar se o experimento está funcionando de forma satisfatória.

Análise dos resultados

O experimento, além de simular como um gerador eólico transformaria a energia mecânica em energia elétrica, busca estudar os fundamentos físicos necessários para a construção do minigerador, e verificar se este é capaz de gerar energia elétrica para alimentar um pequeno sistema de teste. A Figura 139 ilustra o experimento em funcionamento.

A energia elétrica é uma forma de energia resultante do trabalho realizado por uma corrente elétrica. Essa corrente é gerada através de processos como a rotação de turbinas ou geradores, os quais convertem a energia mecânica proveniente, por exemplo, do movimento do vento ou da água em energia elétrica. Esse processo é fundamentado na geração de diferenças de potencial elétrico, ou seja, tensões elétricas entre dois pontos, o que viabiliza o fluxo de corrente elétrica entre eles.

Figura 139 – Protótipo do minigerador em funcionamento



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Nos geradores que têm origem mecânica como base, o processo de geração de energia elétrica desencadeia-se através da transferência de energia das partículas carregadas, ou cargas elétricas, por meio dos movimentos de rotação de circuitos elétricos inseridos em campos magnéticos. Esse fenômeno, conhecido como indução eletromagnética, é responsável por induzir uma corrente elétrica nos circuitos do gerador. Em contrapartida, em geradores de origem química, como pilhas ou baterias, a energia elétrica é liberada a partir de reações químicas que ocorrem no interior desses dispositivos (Xavier, 2013).

Em contraste, muitas usinas geradoras de energia elétrica produzem corrente alternada, na qual a direção do fluxo de elétrons se inverte periodicamente (Lourenço *et al.*, 2002). Esse tipo de corrente é amplamente utilizado para a distribuição de energia elétrica, pois é mais eficiente em longas distâncias e pode ser facilmente transformado em diferentes níveis de tensão, conforme necessário.

A energia cinética presente no vento tem a capacidade de ser transformada em energia mecânica através do uso de moinhos e cataventos. Além disso, essa mesma energia cinética pode ser convertida em energia elétrica por meio de dispositivos conhecidos como turbinas eólicas ou aerogeradores. Estes últimos são equipamentos especialmente projetados para efetuar a conversão eletromecânica da energia contida nos ventos em energia elétrica utilizável (Silva, 2001). Os aerogeradores são versáteis em sua concepção e construção, podendo ser adaptados conforme a aplicação e as características geográficas do local onde serão instalados. Essa adaptabilidade permite a otimização do aproveitamento energético, maximizando a eficiência na conversão da energia cinética dos ventos em eletricidade.

Além de ser uma alternativa para a geração de energia em grande escala, a energia eólica pode ser gerada em escala residencial, através de miniturbinas instaladas em propriedades particulares, o que amplia o acesso à eletricidade em áreas rurais ou isoladas (Gussow, 2007). Trata-se

de uma energia consideravelmente mais barata do que as demais e que não gera emissão de poluentes na atmosfera. Esse conhecimento torna-se muito importante, principalmente em regiões com ocorrência de ventos fortes, onde a adaptação do equipamento pode demonstrar grande eficácia.

A relação da potência do motor utilizado no gerador com o fluxo do vento reflete diretamente na capacidade do minigerador de produzir mais ou menos energia (Fuke, 2015). O minigerador eólico desenvolvido chega a produzir tensão suficiente para acender um LED, através da transformação de energia cinética do vento em energia elétrica, quando em contato com a hélice. O custo por kW produzido e a manutenção da geração eólica são bastante baixos. Em áreas onde os ventos são fortes, o benefício é ainda mais elevado.

ATIVIDADE 5.3: BOBINA DE TESLA

Objetivos:

- demonstrar o princípio de funcionamento dos transformadores;
- observar o rompimento da rigidez dielétrica do ar.

Materiais utilizados:

1. bateria de 9V;
2. interruptor;
3. transistor 2N2222A;
4. resistor de 22 k Ω ;
5. cano de PVC 25 mm;
6. cola quente;
7. ferro de solda;
8. fio de estanho 0,1 mm;
9. fio de cobre AWG 26 0,404 mm;
10. fio de cobre AWG 13;
11. conector para bateria 9V;

12. lâmpada fluorescente 15W;
13. base de MDF (10 cm x 20 cm);
14. jumper.

Figura 140 – Materiais utilizados no experimento “bobina de Tesla”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

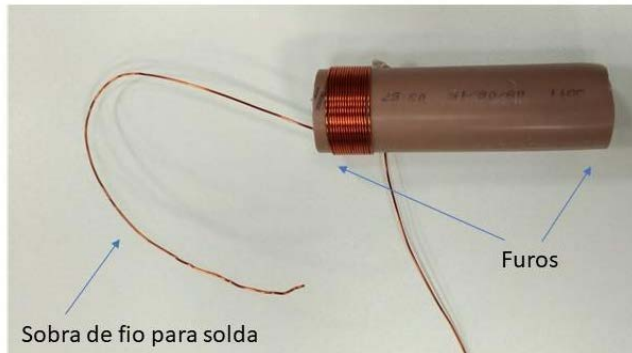
Para montagem deste experimento, recomenda-se usar 18 m de fio de cobre AWG 26 para fazer um enrolamento (o enrolamento secundário da bobina), usando como molde o cano de PVC de 25 mm.

Inicialmente, deve-se fazer dois furos no cano: um a aproximadamente 0,5 cm da extremidade inferior do cano de PVC, e outro, igualmente espaçado, na parte superior do cano. Os dois furos devem ser de espessura igual ou pouco maior que a do fio de cobre de menor espessura. Deixar, aproximadamente, 15 cm de fio sobrando dentro do cano a partir do furo inferior (Figura 141), para soldar os componentes que serão necessários posteriormente. A partir daí, começa-se a produzir o enrolamento secundário no sentido horário, fazendo de 150 a 185 voltas, bem justapostas entre si.

Terminado o enrolamento secundário, colocar o restante do fio que sobrou no interior do cano, passando pelo furo superior. Na extremidade inferior deste, soldar uma das extremidades do resistor juntamente ao pino central do transistor (base), soldando, na sequência, o polo positivo da bateria (Figura 142 (C) e (E)). O último pino do transistor (emissor)

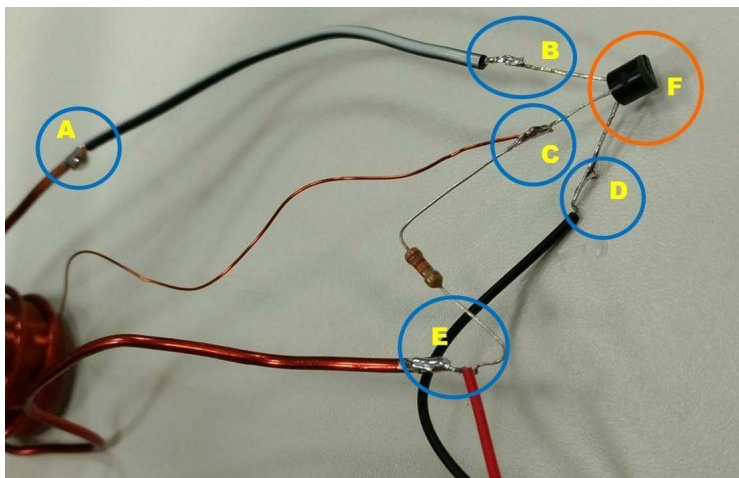
junta-se ao polo negativo do adaptador da bateria (Figura 142 (D)). É importante mencionar que o transistor deve ser conectado ao circuito na mesma ordem da Figura 142.

Figura 141 – Enrolamento secundário da bobina de Tesla



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 142 – Esquema de identificação dos pontos de solda



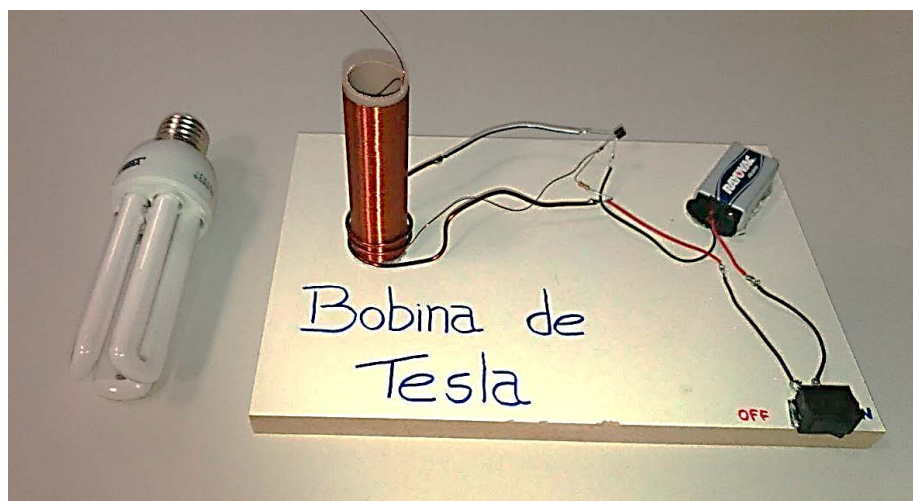
Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Fazer o enrolamento primário com 1 m de fio de cobre AWG 13, deixando, aproximadamente, 5 cm sobrando para então começar o enrolamento, que deve conter 2 voltas com um espaçamento de 0,5 cm entre

uma volta e outra, no mesmo sentido em que foi produzido o enrolamento secundário. Na extremidade superior do enrolamento primário, soldar um jumper, também de cobre e com a mesma espessura (Figura 142 (A)); na outra extremidade do jumper, soldar a extremidade esquerda do transistor (coletor - Figura 142 (B)), que deverá ser afixado à base de MDF com a parte reta para baixo e a abaulada para cima (Figura 142 (F)).

A extremidade inferior do enrolamento primário da bobina deve ser soldada de forma a se conectar concomitantemente com uma das saídas do interruptor e a extremidade livre do resistor (Figura 142 (E)). A Figura 143 ilustra a bobina de Tesla montada.

Figura 143 – Bobina de Tesla montada



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Análise de resultados

Pilhas e baterias fornecem tensões contínuas e, por consequência, correntes contínuas que não seriam capazes de produzir um fluxo magnético variável no enrolamento secundário da bobina de Tesla em estudo. A função do resistor é atuar como limitador de corrente, e a do transistor,

que atua como oscilador de tensão após a queda de tensão provocada no resistor, é justamente a de fazer surgir uma corrente alternada no enrolamento primário, a fim de que seja possível promover a variação no tempo das linhas de campo magnético no interior do enrolamento secundário. Tal efeito será responsável pelo surgimento de uma tensão induzida no secundário maior do que se tinha no enrolamento primário.

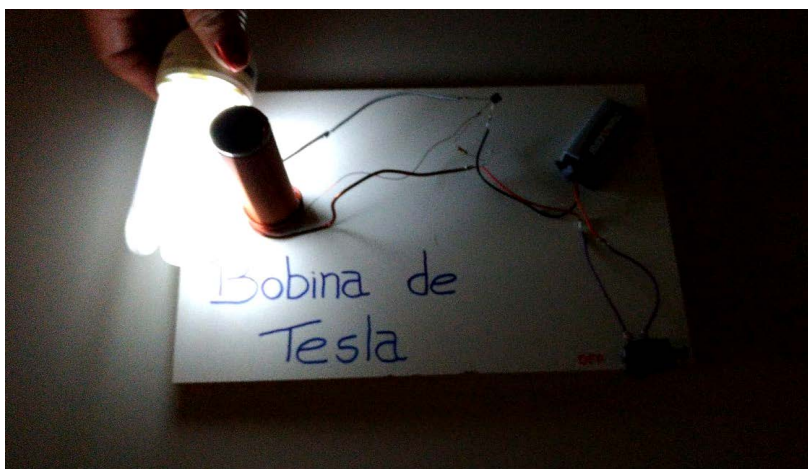
Tendo em vista que o número de espiras do enrolamento secundário é maior que o do enrolamento primário, percebe-se que a tensão observada no secundário será também maior que a tensão no primário, relação esta observada no funcionamento de um transformador. Um transformador é um dispositivo elétrico que ajuda a aumentar ou diminuir a tensão de um circuito elétrico; ele consiste em duas bobinas de fio enroladas em torno de um núcleo de ferro. Quando uma corrente elétrica é aplicada à bobina primária, ela cria um campo magnético no núcleo. Este campo magnético, quando gerado por corrente alternada (como a da tomada), induz uma corrente elétrica na bobina secundária. Assim, por indução eletromagnética, o transformador é capaz de aumentar ou diminuir a tensão e a corrente de um circuito elétrico, dependendo do número de voltas de fio nas bobinas primária e secundária. Se a bobina secundária tem mais voltas do que a primária, a tensão será aumentada (Hewitt, 2015).

O ar no interior e ao redor da bobina de Tesla comporta-se como isolante. Todavia, quando submetido a altos valores de tensão, da ordem de 30 kV/cm, aproximadamente, observa-se a ruptura de sua rigidez dielétrica, passando o ar de isolante a condutor (Halliday *et al.*, 2009a). O secundário da bobina de Tesla tem uma tensão elevada e, conseqüentemente, um campo elétrico alto, capaz de romper a rigidez dielétrica do ar.

Lâmpadas fluorescentes apresentam vapor de mercúrio a baixa pressão no seu interior. Os elétrons livres presentes no interior da lâmpada sentem-se estimulados a se movimentarem, atraídos pelo campo elétrico intenso promovido pelo alto valor de tensão produzido no enrolamento secundário da bobina. Quando se movimentam dentro da lâmpada, esses elétrons se chocam com uma fina camada de fósforo que reveste inter-

namente esse tipo de lâmpada. Da absorção desses elétrons pelo fósforo, observa-se a emissão de luz na lâmpada, como na Figura 144. Tal fato explica a formação de pequenos raios ao redor do enrolamento secundário da bobina, quando dela são aproximados objetos metálicos, e o acendimento da lâmpada fluorescente colocada nas proximidades da bobina.

Figura 144 – Experimento em funcionamento



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

ATIVIDADE 5.4: TREM ELETROMAGNÉTICO

Objetivos:

- demonstrar o fenômeno da levitação eletromagnética;
- verificar a interação entre os polos magnéticos presentes nos ímãs de neodímio e os polos magnéticos induzidos nas espiras de estanho.

Materiais utilizados:

1. fio de estanho 1 mm;
2. 4 ímãs de neodímio;

3. pilha AAA alcalina;
4. caneta marca-texto.

Figura 145 – Materiais utilizados



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Escolha uma caneta marca-texto com diâmetro pouco superior ao da pilha, para usar como molde do enrolamento (bobina) de estanho, o qual deverá ter, aproximadamente, 1,20 m de comprimento final, constituído a partir de um fio de estanho de 1 mm de espessura. Recomenda-se proceder ao enrolamento do fio fazendo com que suas voltas fiquem bem justapostas entre si, conforme Figura 146. É recomendado tirar a tampa da caneta marca-texto, a fim de facilitar a saída do material enrolado pela extremidade menos espessa da caneta.

Figura 146 – Enrolamento da bobina de estanho



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Produzido o enrolamento de estanho, em cada extremidade da pilha serão colocados dois ímãs de neodímio, de modo que esses ímãs tenham a mesma polaridade (polos iguais) tocando os dois terminais da pilha. Isso se consegue deixando os quatro ímãs divididos em dois conjuntos compostos de dois ímãs cada, justapostos um ao outro, para que se observe, através da força de atração/repulsão magnética que os ímãs apresentaram entre si, quais polos são iguais e quais polos são distintos. Feita essa identificação dos polos magnéticos dos ímãs, polos iguais devem ser acoplados nas extremidades da pilha, ajustados aos polos positivo e negativo, de modo que, se a pilha não estivesse presente no aparato, os dois conjuntos de ímãs iriam se repelir nessas posições, como mostra a Figura 147.

Figura 147 – Acoplamento dos ímãs de neodímio à pilha

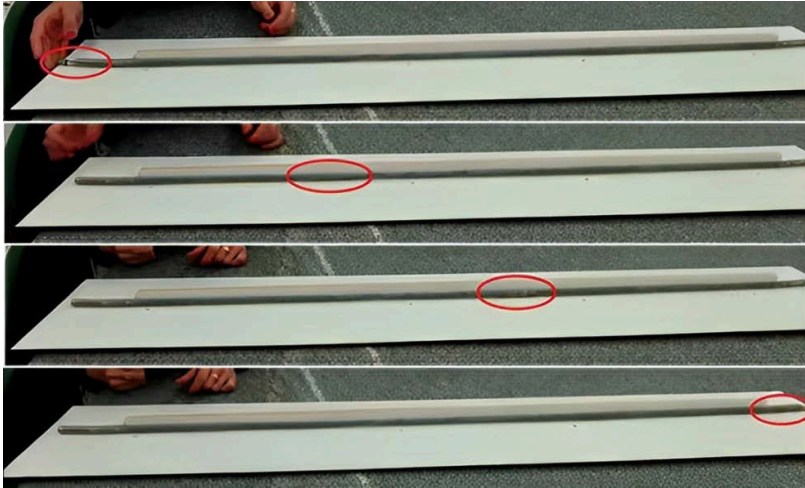


Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Procedimentos experimentais

Após a montagem do experimento, o conjunto formado pela pilha e os ímãs é colocado em uma das extremidades da bobina de estanho, a fim de observar-se o seu movimento pelo interior da bobina, conforme Figura 148.

Figura 148 – Movimento do trem eletromagnético



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Análise de resultados

Ao posicionar-se o conjunto formado pela pilha e os ímãs de mesma polaridade em uma das extremidades da bobina de estanho, é observado um movimento do conjunto pelo interior da bobina. Isso ocorre devido à interação magnética entre a bobina e os ímãs. Da realização do experimento, percebe-se que, a depender do polo da pilha que é primeiramente colocado dentro da bobina (polo positivo ou negativo), o conjunto (pilha + ímãs) entra e atravessa a bobina ou é repelido por ela para fora do aparato.

Essa interação magnética ocorre porque a corrente elétrica gerada pela pilha cria um campo magnético ao redor da bobina de estanho (Halliday et al., 2009a). Esse campo magnético interage com os ímãs de neodímio, que também possuem um campo magnético. Se um dos polos da bobina e os polos dos ímãs são iguais, ocorre uma repulsão magnética entre eles, empurrando o conjunto ao longo da bobina. Automaticamente, o outro polo da bobina, que é diferente, irá atrair o conjunto no mesmo sentido. Esse movimento só ocorre quando a pilha com os ímãs estão presentes

no circuito, pois é a corrente elétrica gerada pela pilha que cria o campo magnético necessário para a interação com os ímãs.

Assim, esse experimento demonstra de forma prática os princípios da interação magnética e o princípio básico de sistemas de transporte de levitação magnética, que utilizam campos magnéticos para levantar e propulsionar os veículos ao longo das pistas (Hewitt, 2015).

O sistema como um todo (bobina + pilha e ímãs) ora se atrai, ora se repele, a depender da extremidade da pilha que é introduzida na bobina; todavia, nota-se apenas o movimento da pilha e dos ímãs, dado que a massa desse conjunto é menor que a massa da bobina.

ATIVIDADE 5.5: CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO GRAFITE

Objetivos:

- demonstrar como o grafite é capaz de conduzir eletricidade;
- perceber a influência das Leis de Ohm sobre o experimento.

Materiais utilizados:

1. lápis de grafite 8B;
2. folha de papel sulfite;
3. bateria 9V;
4. lâmpada LED.

Figura 149 – Materiais utilizados no experimento
“condutividade elétrica do grafite”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Desenhar uma trilha de grafite no papel sulfite, conforme a Figura 150.

Figura 150 – Trilha de grafite



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Procedimentos experimentais

Após pintar a trilha de grafite no papel, levar o experimento para um local com baixa luminosidade, onde será alinhada a lâmpada LED no papel, conforme ilustrado na Figura 151.

Figura 151 – Lâmpada LED alinhada



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Após o posicionamento do LED na trilha de grafite, colocar a pilha de 9V em contato com o sistema em três posições diferentes, conforme as Figuras 152, 153 e 154, a seguir, a fim de observar a quantidade de luz emitida.

Na Figura 152, pode-se observar que a bateria está posicionada alguns centímetros mais longe da lâmpada LED.

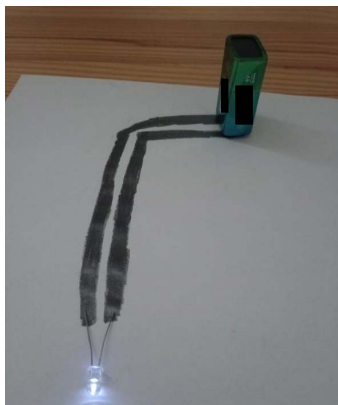
Figura 152 – Lâmpada LED alinhada e bateria alinhada na trilha de grafite, com o LED mais distante



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Na Figura 153, pode-se observar que a bateria já está mais longe da lâmpada LED, ou seja, no final da trilha.

Figura 153 – Lâmpada LED alinhada e bateria alinhada na trilha de grafite, na extremidade oposta ao LED



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

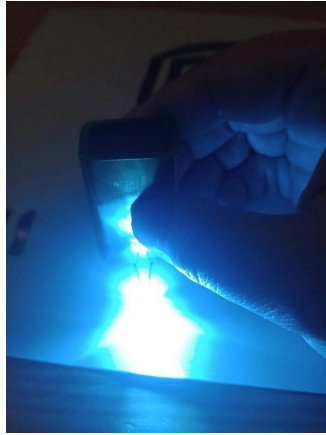
Observa-se que, na Figura 154, a bateria está posicionada mais próxima da lâmpada LED.

Figura 154 – Lâmpada LED alinhada e bateria alinhada na trilha de grafite, próxima ao LED



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 155 – Lâmpada LED em contato direto com a bateria



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Há que se observar que algumas lâmpadas de LED têm polaridade e, por isso, é essencial verificar as especificações do LED específico que você está utilizando para determinar se ele possui ou não polaridade. Se for o caso de possuir polaridade, ele tem dois terminais: um ânodo (terminal positivo) e um cátodo (terminal negativo). A corrente elétrica deve fluir do ânodo para o cátodo para que o LED emita luz, ou seja, o cátodo do LED (geralmente o terminal mais curto) deve ser ligado ao terminal negativo da bateria, e o ânodo do LED (geralmente o terminal mais longo), ao terminal positivo da bateria ou fonte de alimentação. Conectar os terminais de forma incorreta pode resultar em dano ao LED, pois a corrente elétrica fluirá na direção errada, não permitindo que o LED funcione corretamente e, em alguns casos, causando sua queima.

Análise dos resultados

A condução elétrica refere-se à capacidade de um material permitir que cargas elétricas, como elétrons, se movam através dele. Em outras palavras, é a facilidade com que a corrente elétrica flui em um material. A capacidade de conduzir eletricidade está relacionada à presença de

elétrons que podem se mover livremente dentro do material. Materiais com alta condutividade elétrica são bons condutores de eletricidade, pois permitem que as cargas elétricas se movam com facilidade. Exemplos de materiais com alta condutividade incluem metais como cobre, prata e ouro. Por outro lado, materiais com baixa condutividade elétrica são chamados de isolantes elétricos, pois dificultam o fluxo de corrente elétrica. Exemplos de isolantes incluem plásticos, madeira e vidro (Guimarães; Carron, 1998).

A condução elétrica a partir do grafite ocorre devido à estrutura especial de suas camadas de átomos de carbono organizadas em planos hexagonais. O grafite é uma forma alotrópica do carbono, assim como o diamante, mas suas propriedades elétricas são bem diferentes devido à disposição dos átomos em sua estrutura (Fuke, 2015). O grafite é composto por camadas de átomos de carbono chamadas “folhas de grafeno”; cada folha de grafeno é formada por uma rede hexagonal de átomos de carbono, e cada carbono está ligado a três outros átomos de carbono vizinhos por meio de ligações covalentes. Isso forma uma estrutura plana. As ligações covalentes em cada camada de grafeno são muito fortes dentro do plano da folha, mas são fracas entre as camadas. Isso permite que as camadas de grafeno deslizem umas sobre as outras facilmente, conferindo ao grafite suas características de material lubrificante e macio.

O grafite é um bom condutor elétrico, ao contrário do diamante, que é um isolante elétrico devido à sua estrutura cristalina tetraédrica. Como o grafite possui uma estrutura em camadas de átomos de carbono organizados em hexágonos, sua estrutura permite que os elétrons se movam facilmente entre as camadas, o que confere ao material sua condutividade elétrica. Cada camada de grafite é composta por átomos de carbono ligados em uma estrutura de rede plana, e essas camadas são mantidas juntas por forças mais fracas, o que permite que os elétrons se desloquem de uma camada para outra com relativa facilidade (Pierson, 1993).

Os princípios trabalhados nesse experimento pautam-se nas Leis de Ohm. Em um primeiro momento, conforme a Figura 155, ao colocarmos a

lâmpada de LED em contato direto com a bateria, podemos observar uma luminosidade mais intensa em relação às imagens das Figuras 152, 153 e 154. A explicação para esse fenômeno está contida na primeira Lei de Ohm, um princípio fundamental na eletricidade, que descreve a relação entre a corrente elétrica, a tensão e a resistência em um circuito elétrico. A primeira lei de Ohm é expressa pela seguinte fórmula:

$$R = \frac{V}{i} \quad (19)$$

onde:

V representa a tensão (ou diferença de potencial), medida em V, no SI;

i representa a corrente elétrica, medida em A, no SI;

R representa a resistência elétrica, medida em Ω , no SI.

Dessa forma, pela equação 19, podemos ver que a resistência é inversamente proporcional à corrente elétrica; portanto, quanto menor a resistência oferecida pelo material, maior será o fluxo de cargas elétricas, consequentemente mais intensa ficará a luz (Kohori, 2015).

Já a segunda Lei de Ohm estabelece que a resistência elétrica de um material é diretamente proporcional ao seu comprimento e inversamente proporcional à sua área de secção transversal. Além disso, depende do material constituído. A segunda Lei de Ohm é expressa pela fórmula seguinte (Halliday *et al.*, 2009a):

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A} \quad (20)$$

onde:

ρ é a resistividade do condutor (depende do material e de sua temperatura), medida em $\Omega \cdot m$, no SI;

L é o comprimento do condutor, medido em m, no SI;

A é a área de secção transversal, medida em mm^2 , no SI;

Na equação 20, podemos observar que a resistência elétrica de um material é diretamente proporcional ao seu comprimento, ou seja, quanto maior o comprimento da trilha, maior é a resistência oferecida pelo grafite para a circulação dos elétrons. Dessa forma, quanto mais longe a pilha está da lâmpada LED, maior a resistência elétrica, menor a corrente que passa pelo circuito e menor é a intensidade luminosa. Com esse mesmo sistema, poderíamos traçar outras figuras, variando a largura, por exemplo, e verificar as implicações das leis de Ohm para esses outros sistemas.

ATIVIDADE 6.1: MULTIPLICAÇÃO DE MOEDAS

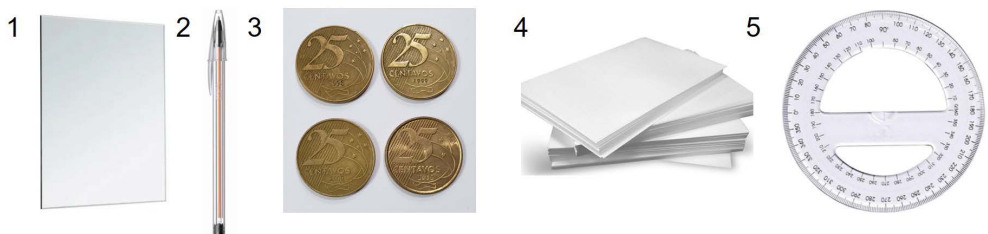
Objetivo

Demonstrar a multiplicação de imagens através de uma associação de espelhos planos.

Materiais utilizados:

1. dois espelhos planos medindo 5 cm x 10 cm;
2. caneta;
3. uma moeda;
4. folha sulfite;
5. transferidor.

Figura 156 – Materiais utilizados no experimento “multiplicação de moedas”

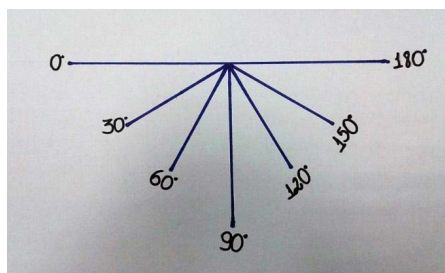


Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Em uma folha sulfite, com ajuda de um transferidor, deve-se desenhar uma base com diferentes ângulos. No nosso experimento, foi utilizada uma variação de 30° , para posicionar os espelhos e orientar a abertura entre eles, conforme ilustrado na figura a seguir.

Figura 157 – Base de orientação para o posicionamento dos espelhos



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Procedimentos experimentais

Após a montagem do experimento, devem ser alinhados os espelhos sobre a base desenhada no sulfite em um ângulo de 180° um do outro, colocando-se uma moeda no centro deles. Para fazer isso, posicionar os espelhos sobre os ângulos feitos na folha sulfite. Observar as imagens formadas nos espelhos. Repetir os procedimentos para diferentes ângulos. Com a mudança de ângulo entre os espelhos, a moeda, conseqüentemente, também será deslocada.

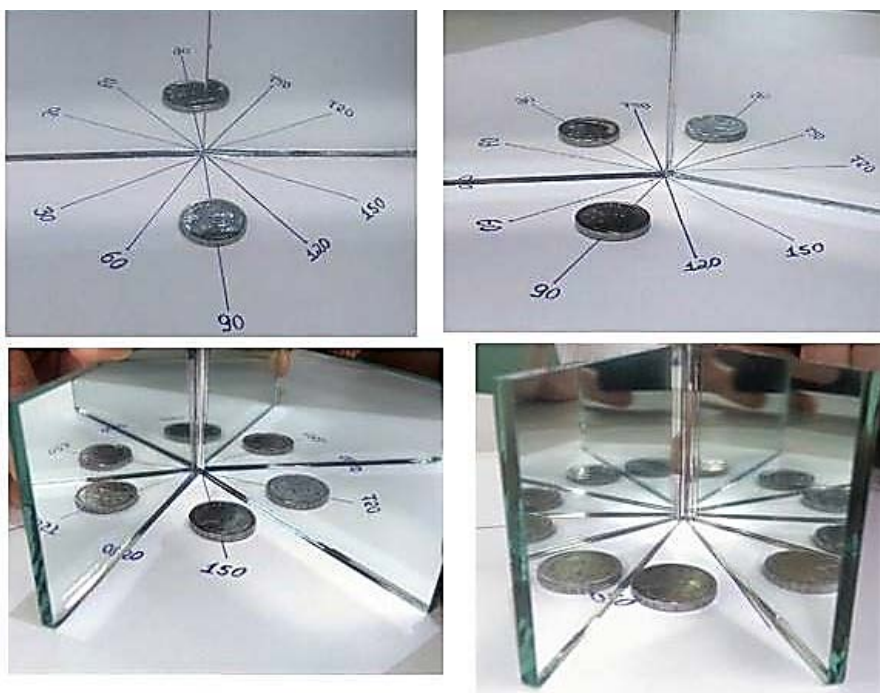
Análise dos resultados

O princípio físico deste experimento é baseado na reflexão da luz, que ocorre quando um feixe de luz incide sobre uma superfície (ou na interface de separação entre dois meios transparentes) e volta ao meio de propagação de origem. Quando um feixe de luz incide em uma superfície lisa e polida (que é o caso dos espelhos planos do experimento), ele

é refletido de maneira especular (regular), sendo que os raios refletidos têm um ângulo de reflexão igual ao ângulo de incidência (Gaspar, 2010c).

A luz refletida por um dos espelhos incide sobre o outro, produzindo uma combinação de imagens refletidas. O número de imagens, que neste caso é da moeda, varia conforme a posição dos espelhos, ou seja, à medida que a angulação entre os dois espelhos vai diminuindo, ocorre a multiplicação da moeda refletida, como pode ser observado na Figura 158.

Figura 158 – Experimento “multiplicação de moedas”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

O número de imagens formadas para os ângulos de 180° e 60° são, respectivamente, 1 e 5. Esse número também poderia ser calculado pela expressão $n = \frac{2\pi}{\alpha} - 1$, onde n é o número de imagens e α o ângulo entre os espelhos (em radianos) (Ribeiro, 2014).

ATIVIDADE 6.2: CALEIDOSCÓPIO

Objetivo

Demonstrar o fenômeno visual que resulta de reflexões da luz que incide em três “espelhos” em formato de prisma triangular.

Materiais utilizados:

1. papel cartão preto;
2. pedaço de sacola plástica;
3. tesoura;
4. três réguas;
5. fita isolante;
6. miçangas coloridas;
7. fita adesiva transparente.

Figura 159 – Materiais utilizados no experimento “caleidoscópio”

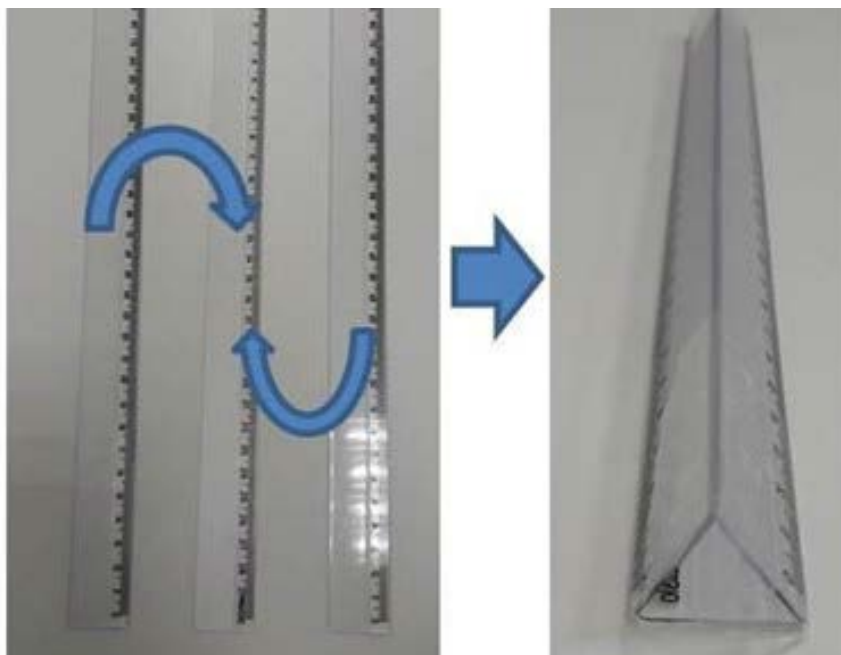


Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Primeiramente, devem ser unidas as três régua transparentes pelas laterais, em um formato de triângulo equilátero, utilizando fita adesiva, como se verifica na figura a seguir.

Figura 160 – Montagem do prisma triangular do “caleidoscópio”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Na sequência, encapar a estrutura formada pela junção das régua com papel cartão preto, de modo que sobrem 3 cm, aproximadamente, do papel em uma das extremidades da estrutura, onde deverão ser armazenadas as miçangas. Depois, adicionar as miçangas nesse espaço de 3 cm e fechar essa extremidade com um pedaço de sacola plástica. Fechar totalmente a outra extremidade com o papel cartão e, em seguida, com auxílio de uma caneta, fazer um pequeno orifício. Observar a Figura 161 para a montagem do experimento.

Figura 161 – Imagem da esquerda: caleidoscópio em formato de prisma; imagem do meio: extremidade com o orifício; imagem da direita: extremidade com as miçangas armazenadas



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Procedimentos experimentais

Com o objeto montado, deve-se posicionar o olho do observador na extremidade aberta, donde são observadas as imagens formadas no caleidoscópio, através do orifício. Girar o caleidoscópio para modificar as posições das miçangas e os padrões de imagens formados.

Análise dos resultados

A próxima figura ilustra os padrões de imagens formados no caleidoscópio.

Figura 162 – Figuras formadas no caleidoscópio



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

A régua, por ser uma superfície lisa e polida, reflete a luz de forma especular, assim como um espelho (Gaspar, 2010c). Porém, a régua é transparente, e por isso necessita que os raios luminosos incidam somente em uma de suas faces para o bom funcionamento do caleidoscópio. Diante

disso, cobrimos a face externa do prisma com um papel escuro, para que as reflexões ocorram somente na região interna do caleidoscópico e raios luminosos externos não interfiram na formação das imagens. Quando um feixe luminoso entra pela extremidade do caleidoscópico onde estão as miçangas, incide na superfície de uma das réguas no interior do conjunto e ocorre o fenômeno de reflexão da luz, da mesma forma que no experimento “multiplicação de moedas”. Em seguida, o feixe luminoso refletido passa por outras reflexões na superfície das demais réguas da combinação, produzindo diversos efeitos visuais geométricos, simétricos, em torno de um eixo (Omelczuck *et al.*, 2017). Quando movimentado o caleidoscópico, é produzido um novo padrão de imagem. Na Figura 163, a seguir, damos destaque à imagem original formada em um dos padrões visuais.

Figura 163 – Imagem original destacada na figura formada no caleidoscópico



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

ATIVIDADE 6.3: CARTÕES FURADOS

Objetivo

Demonstrar como acontece a propagação retilínea dos raios de luz e seu bloqueio por obstáculos.

Materiais utilizados:

1. cartolina;
2. tesoura;
3. estilete;
4. fósforo;
5. lápis;
6. régua;
7. vela.

Figura 164 – Materiais utilizados no experimento “cartões furados”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

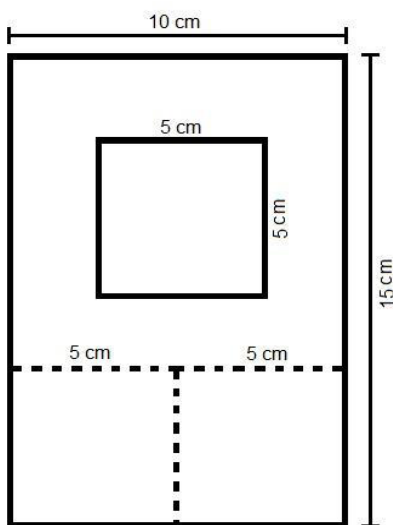
Montagem do experimento

A montagem do experimento é feita, inicialmente, construindo-se os cavaletes (suportes do experimento). Para isso, devem ser desenhados três retângulos iguais na cartolina, de medidas 10 cm x 15 cm. Em uma das extremidades de um dos retângulos, traçar uma linha pontilhada, formando outro retângulo de 10 cm x 5 cm e, posteriormente, dividir o retângulo ao meio e recortar até a linha pontilhada. Em seguida, dobrar as pontas, uma para trás e uma para frente, conforme a Figura 166, for-

mando uma base quadrada de 5 cm x 5 cm. Dentro do quadrado de 10 cm x 10 cm, é necessário desenhar outro quadrado de 5 cm x 5 cm, com as seguintes dimensões: margens esquerda e direita de 2,5 cm; superior 2 cm; inferior 3 cm. Este segundo quadrado é recortado, de modo que fique semelhante a uma “janela aberta”. A Figura 165 ilustra o molde com as medidas e a Figura 166 ilustra a construção do cavalete. Fazer o mesmo procedimento para os outros dois retângulos desenhados na cartolina, de modo a se obter três cavaletes.

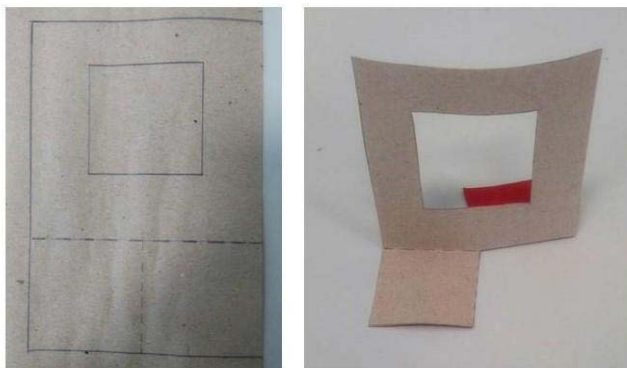
Procedimentos experimentais

Figura 165 – Dimensões dos cavaletes para o experimento “cartões furados”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

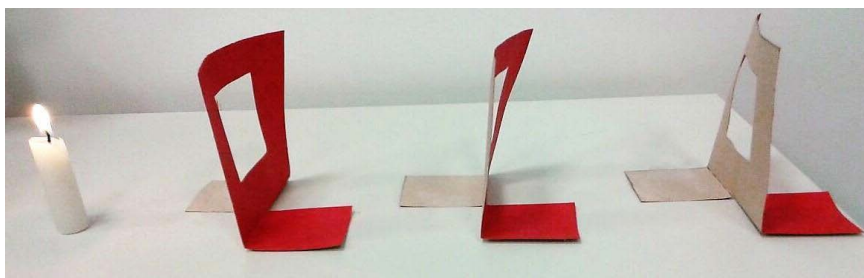
Figura 166 – Montagem do cavalete para o experimento “cartões furados”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Sobre uma mesa ou superfície horizontal, alinhar os três cavaletes, colocar uma vela acesa em uma das extremidades e posicionar-se na outra extremidade para observar o experimento. Na sequência, retirar um dos cartões do alinhamento e observar o que acontece, conforme mostra a figura a seguir.

Figura 167 – Posição dos cavaletes e da vela no experimento “cartões furados”

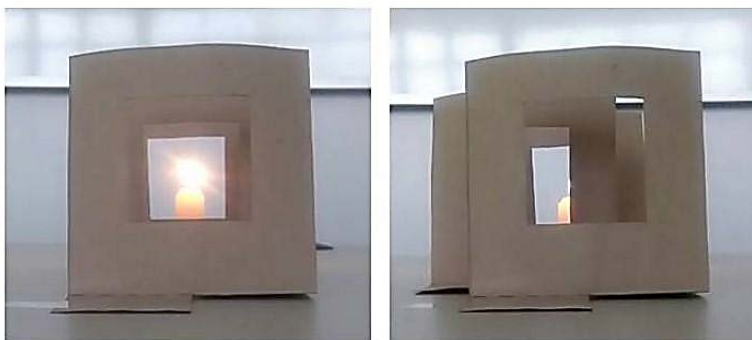


Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Análise dos resultados

Neste experimento, é possível observar que a luz da vela se propaga em linha reta, porque no momento em que os três cartões estão alinhados é observada a luz da vela do outro lado (Figura 168, esquerda). Já no momento em que um dos cartões é retirado do alinhamento, a luz da vela deixa de ser visível ao observador (Figura 168, direita). Isso acontece porque a luz incide no cartão fora do alinhamento e não consegue passar através dele.

Figura 168 – Experimento “cartões furados”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

O princípio da propagação retilínea da luz é um conceito fundamental na óptica, que descreve como a luz se propaga em linha reta através de meios homogêneos e transparentes, como o ar ou o vácuo. Isso significa que a luz não se curva ou desvia quando viaja através de um meio uniforme e, em um ambiente sem obstruções, a luz seguirá um caminho retilíneo desde a fonte até o observador. Esse princípio afirma que os raios de luz viajam em trajetórias retas, a menos que encontrem um meio com propriedades ópticas diferentes, podendo sofrer reflexão, refração ou dispersão (Gaspar, 2010c; Halliday *et al.*, 2009d).

ATIVIDADE 6.4: REFLEXÃO DA LUZ

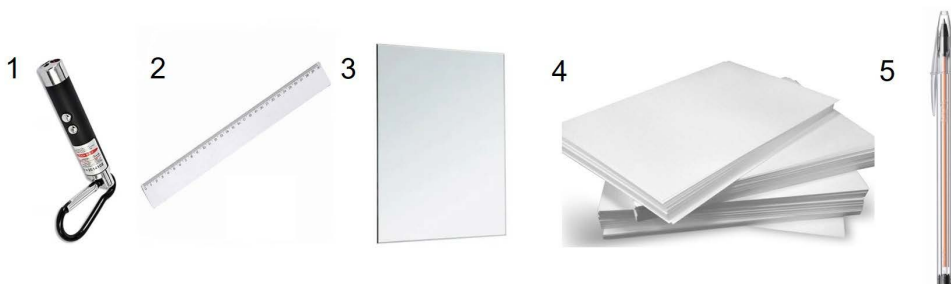
Objetivo

Demonstrar a reflexão especular da luz e a lei da reflexão.

Materiais utilizados:

1. *laser*;
2. régua;
3. espelho pequeno;
4. folha sulfite;
5. caneta.

Figura 169 – Materiais utilizados no experimento “reflexão da luz”



Fonte: elaborado pelos autores.

Montagem do experimento

Com o auxílio de uma régua, traçar uma linha reta com a caneta em uma folha sulfite e colocar o espelho em cima dessa linha, de modo que ela divida o espelho ao meio. Reservar o *laser* para, ao acioná-lo, seu raio incidir no espelho.

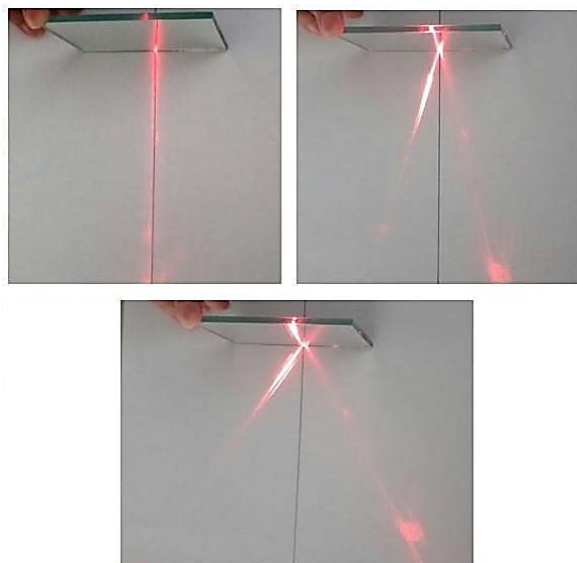
Procedimentos experimentais

Após a montagem, acionar o *laser* para incidir no espelho, sempre comparando a luz do *laser* com a linha traçada na folha. Variar o ângulo de

incidência (medido a partir da linha) do *laser* no espelho e observar o que acontece. O ponto de incidência no espelho deverá ser o ponto de intersecção entre a linha e o espelho, como pode ser observado na Figura 170.

Análise dos resultados

Figura 170 – Experimento “reflexão de luz”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Constata-se que os raios de luz do *laser*, ao incidirem no espelho, serão refletidos de maneira regular; esse fenômeno é denominado reflexão especular. A reflexão especular é um fenômeno que ocorre quando a luz incide sobre uma superfície lisa e é refletida de forma organizada, formando um ângulo de reflexão igual ao ângulo de incidência. Nesse tipo de reflexão, a luz refletida forma um feixe paralelo e bem definido. A lei da reflexão, que descreve a reflexão especular, afirma que o raio de luz refletido, a normal à superfície refletora e o raio de luz incidente estão todos contidos no mesmo plano, sendo o ângulo de incidência igual ao ângulo de reflexão, medido em relação à normal da superfície. Esse comportamento

regular da reflexão especular é o que permite que espelhos e superfícies polidas sejam usados para criar imagens nítidas e detalhadas (Halliday *et al.*, 2009d; Tipler; Mosca, 2009).

ATIVIDADE 6.5: PERISCÓPIO

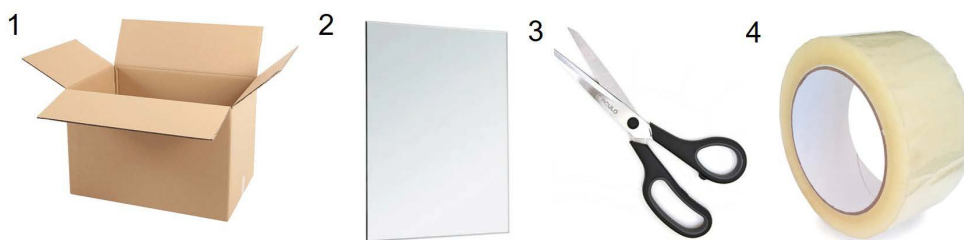
Objetivo

Demonstrar a reflexão especular da luz e a relação do ângulo incidente com o ângulo refletido num instrumento óptico de simples construção.

Materiais utilizados:

1. papelão;
2. dois espelhos pequenos (retangulares);
3. tesoura;
4. fita adesiva transparente.

Figura 171 – Materiais utilizados no experimento “periscópio”

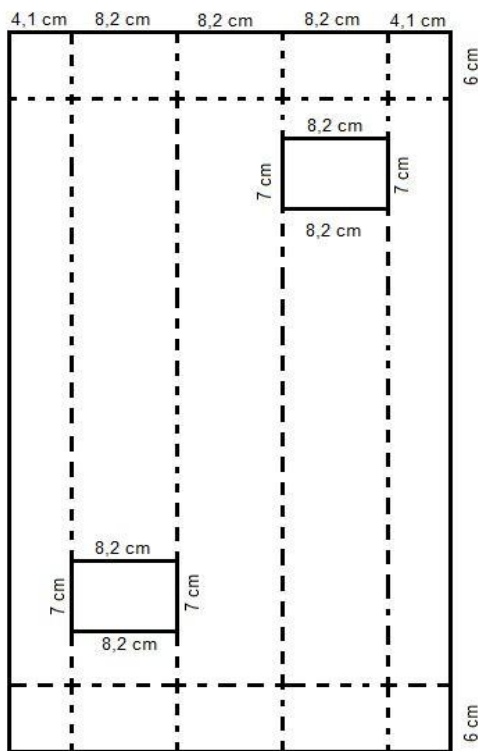


Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

A próxima figura ilustra o esquema do molde do periscópio, com todas as dimensões.

Figura 172 – Esquema das dobraduras e cortes do papelão para a montagem do periscópio



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Em primeiro lugar, com a tesoura, deve-se cortar o papelão em formato retangular com as medidas 32,8 cm x 60,0 cm. Em seguida, com a caneta, marcar o molde para o formato do periscópio, com as seguintes medidas: abertura 8,2 cm x 7,0 cm; dobras horizontais: 4,1 cm, 8,2 cm, 8,2 cm, 8,2 cm e 4,1 cm; dobras verticais: 6,0 cm e 6,0 cm. Em duas dimensões, as medidas das aberturas devem ser ligeiramente maiores que a dos espelhos utilizados; neste caso, os espelhos tinham 8,1 cm x 6,9 cm de tamanho.

Recortar as aberturas e dobrar o papelão nas marcações feitas. Após serem efetuadas as dobraduras, o periscópio fica em um formato de

paralelogramo, com as duas aberturas nos pontos onde serão fixados os espelhos, em faces opostas.

Figura 173 – Imagem destacando a abertura em uma das faces do periscópio



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Na sequência, deve ser colado um espelho em cada uma das aberturas, dentro do paralelogramo, sendo que os dois espelhos devem ser colados com suas faces com um ângulo de 45° com a normal, de forma que as faces dos espelhos fiquem paralelas entre si, voltadas uma para a outra.

Figura 174 – Detalhe de um dos espelhos do periscópio



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Procedimentos experimentais

Após o periscópio estar montado, deve-se posicioná-lo “mirando” um dos espelhos em algum lugar “alto”, como em cima de um armário, por exemplo, e observar a imagem no espelho da outra abertura.

Figura 175 – Periscópio em uso, com destaque para a imagem visualizada pelo observador no espelho



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Análise dos resultados

Esse experimento demonstra o fenômeno de reflexão em espelhos planos e torna visível as leis da reflexão; os raios incidentes atingem o primeiro espelho em um ângulo de aproximadamente 45° com a normal e são refletidos em um segundo espelho também formando um ângulo de 45° . Isso evidencia a relação entre o raio de luz incidente e o raio de luz refletido: o ângulo de incidência da luz tem o mesmo valor do ângulo de reflexão do mesmo raio de luz. Esses ângulos de reflexão conduzem os raios de luz para o olho do observador, tornando possível a visualização de imagens e de objetos em locais altos – não seria possível a visualização sem o auxílio de algum equipamento. Nesse caso, o periscópio serve como

uma extensão da altura da pessoa que vai visualizar a imagem numa posição “alta”.

ATIVIDADE 6.6: ESPELHO INFINITO

Objetivos:

- demonstrar a propagação retilínea da luz;
- apresentar fenômenos ópticos que determinam a trajetória da luz: reflexão regular e refração.

Materiais utilizados:

1. papelão;
2. pedaço de vidro um pouco maior que o espelho (no nosso caso, 19 cm x 13 cm);
3. espelho quadrado e plano de 17 cm x 11 cm;
4. pisca-pisca de Natal com, no mínimo, 20 lâmpadas;
5. tesoura;
6. caneta;
7. tinta guache preta;
8. cola quente;
9. Insulfilm espelhado do tamanho do espelho;
10. régua;
11. fita adesiva.

Figura 176 – Materiais utilizados no experimento “espelho infinito”

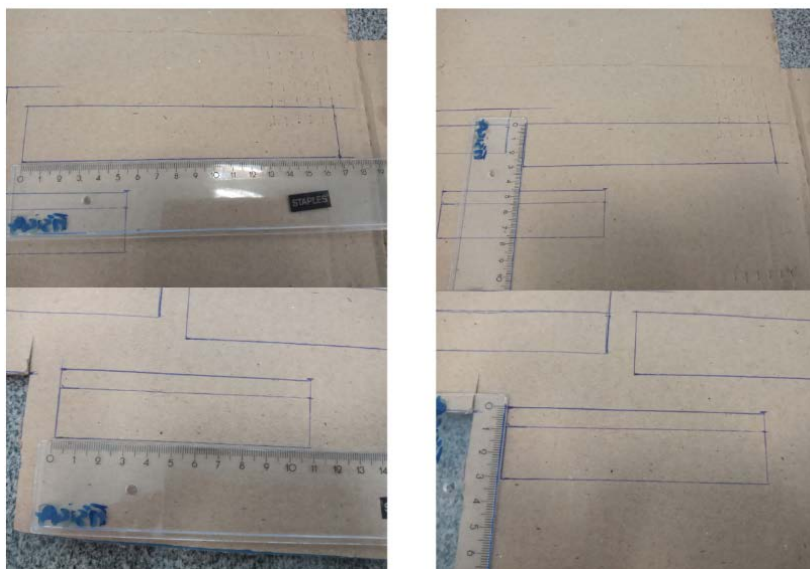


Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

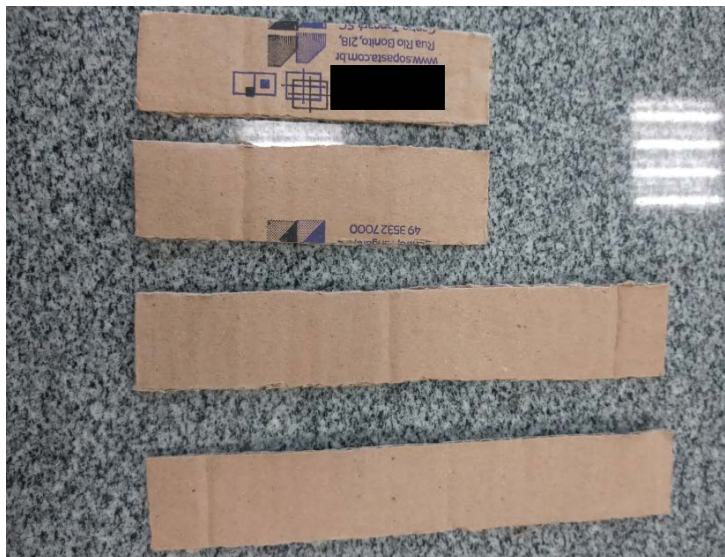
Para iniciar o processo, deve-se criar uma base feita de recorte de papelão, utilizando quatro tiras. Duas tiras devem medir 17 cm de comprimento e 3 cm de altura, enquanto as outras duas devem ter 11 cm de comprimento e 3 cm de altura. Após isso, fazer furos nas tiras, de acordo com o esquema apresentado na Figura 177. Lembre-se de fazer pelo menos 5 furos em cada uma das tiras de 17 cm e 3 furos nas tiras de 11 cm; os furos devem ter a mesma distância entre si e servirão para apoiar as lâmpadas pisca-pisca.

Figura 177 – Moldes para as tiras de papelão com suas respectivas medidas



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 178 – Tiras de papelão utilizadas para confecção da base



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

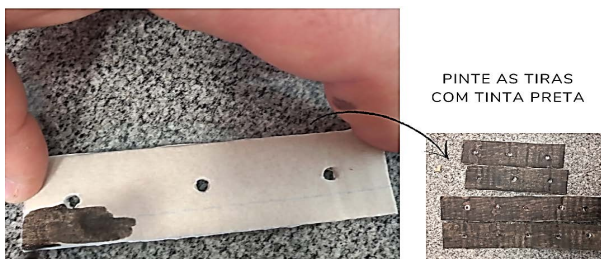
Figura 179 – Tiras sendo furadas com caneta



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Após recortadas e furadas, pintam-se as tiras com tinta guache preta ou com outro tipo de tinta que dê uma boa cobertura. Esse passo é necessário para que se tenha uma melhor visibilidade da trajetória da luz quando o experimento estiver em funcionamento. Além disso, dará um melhor acabamento ao aparato experimental.

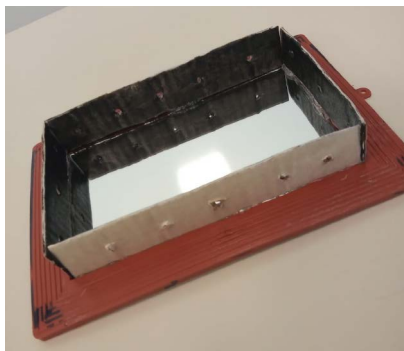
Figura 180 – Tiras sendo pintadas com tinta preta



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

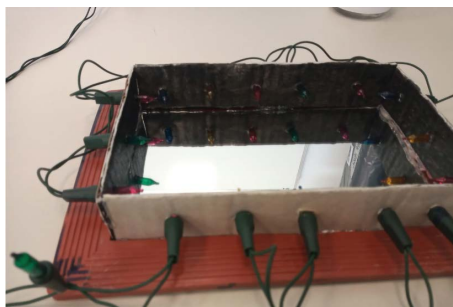
O próximo passo é colar as bases de papelão nas bordas do espelho com cola quente, o que resultará em uma estrutura semelhante à da Figura 181. Feito isso, acopla-se cada lâmpada do pisca-pisca aos furos feitos com a caneta, uma em cada orifício feito nas quatro bases no papelão, conforme a Figura 182.

Figura 181 – Base do experimento “espelho infinito” confeccionada



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

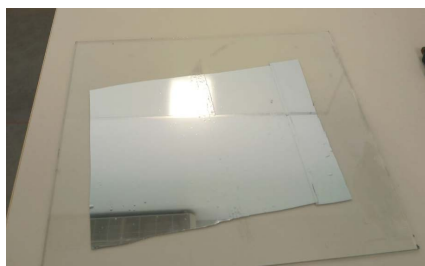
Figura 182 – Lâmpadas acopladas à estrutura do espelho infinito



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

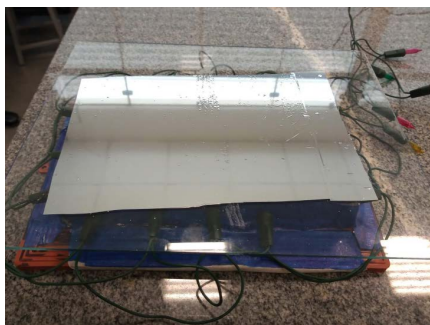
Para o fenômeno visual do “espelho infinito” ocorrer, deve-se fazer outro espelho, que irá “tampar” a estrutura já montada. Para isso, agora será utilizado um pedaço de vidro liso contendo pouco mais de 17 cm x 11 cm, sem qualquer relevo; adiciona-se a ele o Insulfilm, conforme a Figura 183. Esse espelho de Insulfilm será colocado em cima da base de papelão, de forma que cobrirá toda a extensão do espelho inferior.

Figura 183 – Peça de vidro com Insulfilm espelhado



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 184 – Experimento “espelho infinito” montado



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

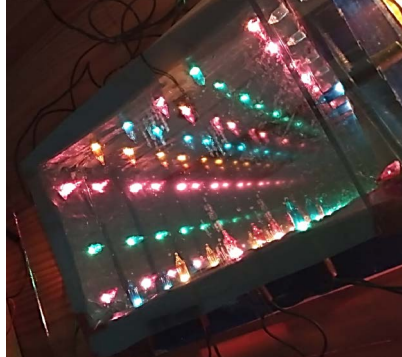
Procedimentos experimentais

Para executar o experimento, deve-se levá-lo a um ambiente escuro, ligar as luzes do pisca-pisca na tomada 127 V ou 220 V (ver a indicação do fabricante) e observar o fenômeno visual no espelho.

Análise dos resultados

Ao colocarmos o pisca-pisca na tomada, podemos observar que o espelho reflete as luzes de maneira que aparecem “trilhas” de luz, ou seja, uma luz atrás da outra, dando uma impressão visual tridimensional com uma profundidade que faz parecer que as luzes são infinitas.

Figura 185 – Fenômeno visual do espelho infinito



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Os três princípios norteadores fundamentais da óptica geométrica pautam-se no comportamento dos raios luminosos: independência dos raios luminosos, propagação retilínea da luz e reversibilidade dos raios de luz (Martini *et al.*, 2013b; Xavier, 2013). Ao ligarem-se as luzes do espelho infinito, a reflexão se repete várias vezes, criando uma ilusão de profundidade infinita. Isso acontece devido a um dos princípios mencionados, que é o princípio da propagação retilínea da luz. Nesse experimento, fica claro que a luz segue um caminho retilíneo, pois, quando é emitida, ela cria uma trajetória direta até o espelho. Essa trajetória é invertida ao refletir no espelho e, em seguida, ela segue um percurso linear até o vidro com Insulfilm, onde é parcialmente refletida de maneira linear, antes de retornar ao espelho novamente. Todo esse caminho que as luzes percorreram ocorre de forma retilínea e com ângulos complementares, de forma que chegam aos olhos do observador e podem ser vistas em formato de trilhas, dando a impressão de que as luzes são infinitas.

Além disso, neste estudo, é enfatizada a compreensão dos fenômenos ópticos de reflexão total da luz, reflexão parcial e refração, com base na construção de um ambiente no qual a luz incide em uma das superfícies do dispositivo (espelho) e é totalmente refletida (Fuke, 2015). Ao retornar e incidir na outra superfície (Insulfilm), a luz é refletida (parcialmente) e, ao

mesmo tempo, refratada. Isso se deve ao fato de o Insulfilm ser composto por uma camada fina de metal sobre uma base de poliéster. Essa camada metálica é responsável por refletir parte da luz, já que o metal bloqueia certas frequências dos raios luminosos e, devido à sua fina espessura, uma parte da luz atravessa para o outro meio.

O fenômeno da refração consiste em um processo que acontece quando um raio de luz atinge uma superfície e passa por ela, mudando sua direção à medida que continua se propagando, porém com uma velocidade diferente (Torres *et al.*, 2013). Isso resulta na divisão do ambiente em duas regiões distintas: o meio em que a luz estava incidindo inicialmente (meio de incidência) e o novo meio no qual ela se propaga após atravessar a superfície (meio de refração). A refração ocorre devido à mudança na velocidade da luz ao passar de um meio para outro, o que é consequência da alteração na densidade do material ou meio.

Em conclusão, pode-se claramente observar a ocorrência de reflexão total da luz quando ela parte das lâmpadas do pisca-pisca e se direciona ao espelho, sendo completamente refletida. Em seguida, a luz prossegue em direção ao Insulfilm, um material que permite tanto a refração quanto a reflexão. Isso significa que uma parte da luz que alcança o Insulfilm é refletida de volta ao espelho, enquanto outra parte continua em direção aos nossos olhos. É evidente que a intensidade da luz diminui após múltiplas reflexões, até que eventualmente o raio de luz se torne imperceptível aos nossos olhos.

ATIVIDADE 6.7: A LUZ QUE FAZ CURVA

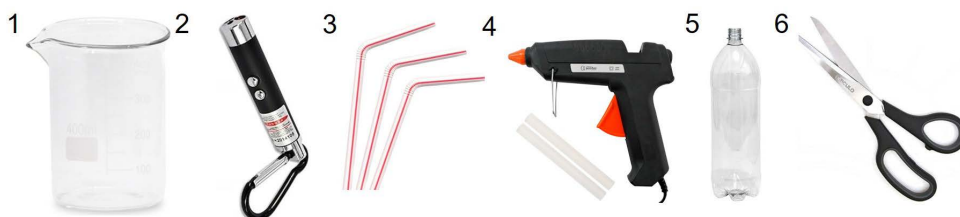
Objetivo

Demonstrar o fenômeno da reflexão interna total da luz.

Materiais utilizados:

1. béquer ou qualquer outra vasilha com água;
2. apontador a laser;
3. canudo plástico;
4. cola quente;
5. garrafa PET;
6. tesoura.

Figura 186 – Materiais utilizados no experimento “a luz que faz curva”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Inicialmente, deve-se fazer um pequeno furo na garrafa PET com o auxílio de uma tesoura, aproximadamente a uma altura de 5 cm a partir da base da garrafa. Em seguida, cortar um pedaço de 5 cm do canudo e, com o auxílio da cola quente, fixar o canudo de 5 cm ao furo. O canudo realizará um comportamento valvular, permitindo a saída da água que deve ser colocada na garrafa. A Figura 187 ilustra a montagem do experimento.

Figura 187 – Montagem do experimento “a luz que faz curva”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Reservar uma quantidade de água em um béquer ou outra vasilha.

Procedimentos experimentais

Após a montagem do experimento, encher a garrafa PET com a água reservada, ou adicionar água diretamente da torneira com o auxílio de um funil. É aconselhável tampar a extremidade do canudo (pode ser com o dedo) durante o enchimento da garrafa.

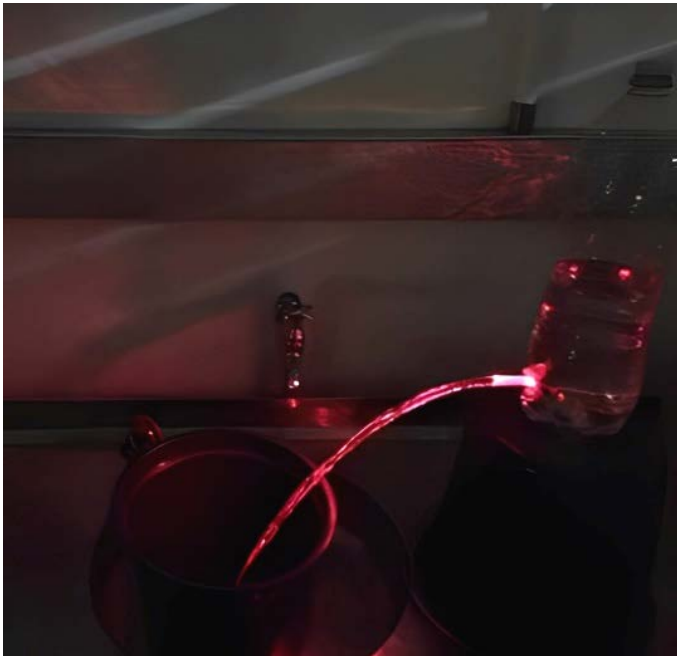
Na sequência, apontar o *laser* para a extremidade interna do canudo (no mesmo sentido da vazão da água) e, depois, acertar o alinhamento do *laser* com a saída de água, retirar o dedo, liberando a passagem da água pelo canudo. Se possível, desligar a luz ou realizar o experimento em um local escuro, para uma melhor visualização do fenômeno. Para a destinação mais adequada da água já utilizada, realizar o experimento sobre uma pia ou bacia.

Análise dos resultados

Ao realizar o experimento, é possível observar que o feixe de luz que sai do *laser* percorre o mesmo trajeto da água, que neste caso foi uma curva para baixo (Figura 188). Esse fenômeno acontece porque, quando a

luz passa de um meio transparente com maior índice de refração, como a água, para um meio com menor índice de refração, como o ar, parte da luz é refletida, e parte é refratada (transmitida para outro meio). Entretanto, para um determinado ângulo de incidência da luz na interface maior que o ângulo limite, não ocorre refração da luz, apenas reflexão interna total (Halliday *et al.*, 2009d). Esse é o mesmo princípio de funcionamento dos cabos de fibra óptica. O índice de refração, por sua vez, é uma grandeza que indica quantas vezes a velocidade de propagação da luz no vácuo é maior que a velocidade de propagação da luz no meio (Gaspar, 2005).

Figura 188 – Experimento “a luz que faz curva”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

ATIVIDADE 6.8: DECOMPOSIÇÃO DA LUZ – FÁBRICA DE ARCO-ÍRIS

Objetivo

Este experimento tem como objetivo demonstrar o fenômeno da dispersão da luz e suas relações com os comprimentos de onda da luz.

Materiais utilizados:

1. CD;
2. estilete;
3. fita adesiva (fita crepe);
4. caixa de fósforos;
5. vela.

Figura 189 – Materiais utilizados no experimento “decomposição da luz – fábrica de arco-íris”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

Fazer um corte superficial no CD com um estilete, do lado em que ele é revestido – esse corte deve possuir o tamanho do raio do CD. Posteriormente, deve-se retirar a parte metalizada do CD utilizando uma fita crepe ou adesiva (colando no lado em que fica o revestimento metálico e puxando). Quando o CD estiver livre do revestimento metálico, deve-se acender uma vela, que será usada como fonte de luz.

Figura 190 – Corte no revestimento metálico do CD



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 191 – Remoção do revestimento metálico do CD com a fita crepe



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Procedimentos experimentais

Em um ambiente com pouca luz, é necessário segurar o CD próximo à vela acesa, de forma a posicionar suas superfícies mais planas entre a luz da vela e os olhos do espectador, como se estivesse sendo usada uma lupa.

Provavelmente será preciso realizar ajustes pequenos na proximidade, distância da luz e ângulo de observação, a fim de possibilitar a visualização do fenômeno.

Análise dos resultados

Ao observar-se a chama da vela através de uma das superfícies planas do CD, é possível notar a decomposição da luz branca em diferentes cores, cada uma com seu próprio comprimento de onda e frequência. No caso do CD, as ranhuras (trilhas) em sua superfície atuam como uma rede de difração. Essas ranhuras têm uma distância entre si semelhante ao comprimento de onda da luz visível.

Quando a luz da vela incide nas ranhuras do CD, ocorre a difração. A difração é um fenômeno que faz com que a luz seja desviada em diferentes ângulos, dependendo do comprimento de onda da luz. Cada comprimento de onda da luz visível é modificado pela difração de maneira específica. Por causa disso, as diferentes cores da luz branca (o espectro visível) são desviadas em ângulos diferentes.

O resultado desse fenômeno é a separação das cores no CD. As cores formam faixas circulares ou anéis concêntricos ao redor do ponto central da reflexão da luz. É como se o CD estivesse refratando e refletindo cada cor em uma direção ligeiramente diferente, criando uma espécie de “arco-íris” no disco e, assim, enxergamos o espectro contínuo das cores (Catelli; Libardi, 2010). As cores que são observadas no padrão de difração são as cores do espectro visível. Cada cor corresponde a um comprimento de onda diferente da luz. As cores com comprimentos de onda mais curtos, como o azul e o violeta, são mais propensas à difração do que as cores com comprimentos de onda mais longos, como o vermelho e o laranja. A Figura 192 ilustra o padrão de cores observado no experimento.

Figura 192 – Experimento “decomposição da luz – fábrica de arco íris” em funcionamento



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Esse efeito é observado quando olhamos a superfície do CD com a luz da vela incidindo sobre ele em um ambiente de baixa luminosidade; e o fenômeno de decomposição da luz branca nas cores do seu espectro, que são as cores do arco-íris, é conhecido como dispersão da luz (Barreto Filho; Silva, 2013). Esse fenômeno é mais evidente quando as trilhas do CD estão muito próximas e organizadas, como é o caso em CDs comerciais.

ATIVIDADE 6.9: INTERFERÊNCIA DA LUZ

Objetivo

Demonstrar o comportamento ondulatório da luz, através de fenômenos de difração e interferência.

Materiais utilizados:

1. *laser*;
2. fita adesiva (fita crepe);

3. dois CDs;
4. anteparo (pode ser a parede);
5. fio de cabelo.

Figura 193 – Materiais utilizados no experimento: “interferência da luz”



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Montagem do experimento

O fio de cabelo servirá de rede de difração e deverá ser fixado a um suporte feito com os dois CDs. Para construir o suporte, os CDs são colados usando-se fita crepe, sendo posicionados de forma que a superfície plana de um CD fique perpendicular à superfície plana do outro.

Posteriormente, deve-se prender o fio de cabelo no centro do CD (neste caso, na posição vertical) com fita crepe, de modo que o feixe de luz emitido pelo *laser* deverá incidir no cabelo passando pelo orifício do CD.

Figura 194 – Montagem do suporte em que será fixado o fio de cabelo (imagem vista de frente)



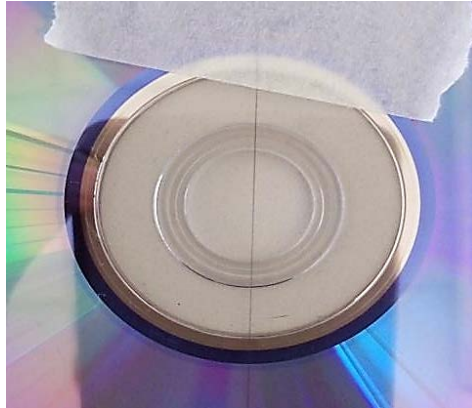
Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 195 – Montagem do suporte em que será fixado o fio de cabelo (imagem vista de cima)



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 196 – Fio de cabelo acoplado ao CD



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Figura 197 – Fio de cabelo acoplado ao suporte



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Procedimentos experimentais

Após a montagem do aparato experimental, ele deve ser colocado em um local no qual possa receber a luz do *laser* e seja visualizada sua reflexão na parede, de forma que seja possível demonstrar o fenômeno da interferência na luz.

Figura 198 – *Laser* posicionado para que possa incidir sobre a “rede de difração” e ter sua projeção na parede



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

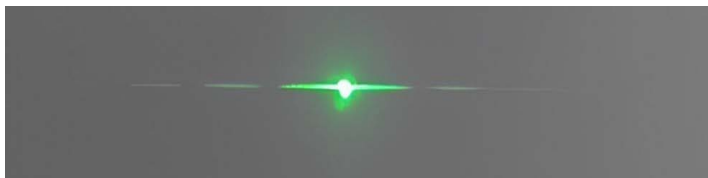
Análise dos resultados

Ao projetar-se o feixe de *laser* na parede, é possível observar um fenômeno conhecido como interferência de ondas eletromagnéticas. Neste experimento, a luz do *laser* é projetada na forma de uma linha horizontal, que aparece seccionada. A interferência se dá de duas maneiras: a interferência construtiva, em que as ondas se combinam gerando os pontos de máximo de luz; e a interferência destrutiva, em que as ondas se anulam, formando os pontos de mínimo, em que a luz do *laser* não é projetada na parede (Gaspar, 2010c).

A interferência da luz ocorre devido ao fenômeno de difração que acontece quando a luz do *laser* passa pelo fio de cabelo. Esse fenômeno faz com que os raios de luz se curvem e se projetem, gerando uma pequena variação angular em sua trajetória ao contornarem um obstáculo. Quando o fio de cabelo divide o feixe de luz em dois, ocorre uma variação de ângulo devido à difração, resultando em dois feixes de luz que seguem caminhos diferentes. Em certos momentos, as ondas de luz desses feixes

estão totalmente em fase e se somam, enquanto em outros momentos elas estão defasadas e se anulam, formando, assim, os pontos de máximo e de mínimo (Gaspar, 2005) que podem ser observados em um padrão semelhante ao apresentado na próxima figura.

Figura 199 – Luz incidindo na parede após passar pelo fio de cabelo e sofrer o processo de difração e de interferência



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Adicionalmente, neste experimento, foi possível chegar a resultados quantificados utilizando-se dados e conceitos físicos. A equação matemática que relaciona características mensuradas do fenômeno de difração por fendas também é válida para difração por obstáculo, que neste caso é o fio de cabelo.

É previsto que os máximos ocorrerão sob ângulos θ dados, teoricamente, pela seguinte expressão (Halliday *et al.*, 2009d):

$$n \cdot \lambda = d \cdot \text{sen } \theta \quad (21)$$

onde:

n é número de fendas (ou de obstáculos), sendo um número inteiro;

λ é o comprimento de onda do *laser* (medido em m, no SI);

d é o diâmetro de uma fenda (ou o diâmetro do obstáculo) (medido em m, no SI);

θ é o ângulo de difração, a medida do desvio angular sofrido pelo feixe de luz ao passar por um obstáculo ou uma fenda (medido em graus).

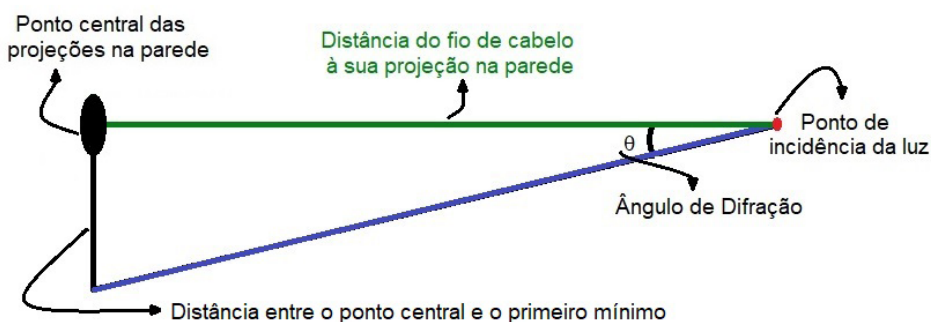
Para obtermos o ângulo de difração, vamos utilizar relações trigonométricas com nossas medidas experimentais.

Medidas experimentais:

- distância do fio de cabelo à sua projeção na parede = 2 m;
- distâncias entre os “mínimos” = 0,0205 m;
- comprimento da onda (λ) fornecido pelo fabricante = 532×10^{-9} m;
- número de obstáculos (n) = 1.

Pode-se observar, pelo esquema da próxima figura, que, com as distâncias medidas experimentalmente, formamos um triângulo retângulo que nos permitirá obter o ângulo de difração.

Figura 200 – Esquema das medidas experimentais



Fonte: elaborada pelos autores (2023).

$$\tan \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} = \frac{\text{distância entre os mínimos}}{\text{distância entre o cabelo e a sua projeção}} = \frac{0,0205}{2} = 0,01025$$

$$\theta = \text{arc tg}(0,01025) = 0,5873^\circ$$

Então, nosso ângulo de difração (θ) é $0,5873^\circ$.

Substituindo os dados experimentais na equação 21 para encontrar o diâmetro do fio de cabelo, temos:

$$n \cdot \lambda = d \cdot \text{sen } \theta$$

$$d = \frac{n \cdot \lambda}{\text{sen } \theta}$$

$$d = \frac{1 \cdot 532 \times 10^{-9}}{\text{sen } 0,5873^\circ}$$

$$d = \frac{532 \times 10^{-9}}{0,01025}$$

$$d = 5,19 \times 10^{-5} \text{ m}$$

O valor encontrado para a largura do fio de cabelo foi de $5,19 \times 10^{-5}$ m, o que consideramos satisfatório, da ordem de grandeza encontrada no trabalho de Lopes e Laburú (2004), em que o valor experimental encontrado para a espessura do fio de cabelo “fino” foi de, aproximadamente, $4,9 \times 10^{-5}$ m. Quando verificaram no micrômetro, um instrumento de medida mais preciso, verificaram a espessura para esse fio de cabelo de, aproximadamente, $5,25 \times 10^{-5}$ m.

Observação: alguns dos experimentos apresentados neste capítulo, embora com mais de 50% de ineditismo, foram publicados em: XAVIER, C. C.; SILVA, D. G.; MENEZES, V. M. de. Construção de um kit de experimentos de óptica com materiais de fácil acesso. Revista Brasileira de Iniciação Científica, Itapetininga, v. 6, p. 3-21, 2019.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. L. F.; MASSABNI, V. G. O desenvolvimento de atividades práticas na escola: um desafio para os professores de Ciências. **Ciência & Educação**, v. 17, 2011.

ATKINS, P.; PAULA, J. **Físico-Química**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

BAGNATO, L. V.; MUNIZ, S. R.; BAGNATO, V. S. Verificação experimental da lei dos gases usando um balão de borracha submerso. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 17, n. 1, 1995.

BARRETO FILHO, B.; SILVA, C. X. **Física na aula por aula: mecânica dos fluidos terminologia, óptica**. v. 2. São Paulo: FTD, 2013.

BHUSHAN, B. **Tribology: Friction, Lubrication, and Wear**. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2013.

BIOSEV ALOUIS DREYFUS COMMODITIES COMPANY. **Ficha de informações de segurança de produtos químicos (FISPQ)**. Disponível em: <https://www.intertox.com.br/fispq-ficha-de-informacoes-de-seguranca-de-produtos-quimicos>. Acesso em: nov. 2018.

BLOSSER, P. E. Matérias em pesquisa de ensino de Física: o papel do laboratório no ensino de ciências. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 5, n. 2, 1988.

BROWN, T. L. **Química: o Central da Ciência**. 6. ed. São Paulo: Pearson, 2014.

CALLISTER, W. D. JR.; RETHWISCH, D. G. **Materials Science and Engineering: An Introduction**. 9. ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2014.

CARMO, A. I.; ANTONINO, A. C. D.; MARTINS, J. M. F.; SILVA, V. L.; MORE, M. C.; GAUDET, J. P. Lixiviação de naftaleno em solos urbanos da região metropolitana do recife, PE. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 37, n. 3, p. 1415-1422, 2013.

CARRON, W.; GUIMARÃES, O. **As faces da Física**. São Paulo: Moderna, 1997.

CATELLI, F.; LIBARDI, H. CDs como lentes difrativas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 2, p. 2307-1-2307-6, 2010.

CENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de Calor e Massa**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

FUKE, L. F. **Física para o ensino médio**. 13. ed. São Paulo: Saraiva, 2015.

GASPAR, A. **Compreendendo a Física: Eletromagnetismo e Física Moderna**. São Paulo: Ática, 2010a.

GASPAR, A. **Compreendendo a Física: Mecânica**. São Paulo: Ática, 2010b.

GASPAR, A. **Compreendendo a Física: Ondas, Óptica e Termodinâmica**. São Paulo: Ática, 2010c.

GASPAR, A. **Física** série Brasil. São Paulo: Ática, 2005.

GONÇALVES, F. H. C.; SILVA, A. C. A.; VILARDI, L. G. A. Os desafios na utilização do laboratório de ensino de Ciências pelos professores de Ciências da Natureza. **Revista Insignare Scientia – RIS**, v. 3, n. 2, 2020.

GRUPO de Reelaboração de Ensino de Física 1: **Mecânica / GREF**. São Paulo: EDUSP, 1998.

GUIMARÃES, O.; CARRON, W. **As faces da Física**. São Paulo: Moderna, 1998.

GUSSOW, M. **Eletricidade Básica**. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 2007. Coleção Schaum.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos da Física: Eletromagnetismo**. 8. ed. São Paulo: LTC, 2009a.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos da Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 8. ed. São Paulo: LTC, 2009b.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos da Física: Mecânica**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009c.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos da Física: Ótica e Física Moderna**. 8. ed. São Paulo: LTC, 2009d.

HAHN, S. L.; HEALY, T. W. Surface Tension and Related Thermodynamic Quantities of Aqueous Electrolyte Solutions. **Journal of Physical and Chemical Reference Data**, v. 1, n. 3, p. 863-948, 1971.

HELENE, O. A. M.; VANIN, V. R. **Tratamento Estatístico de Dados em Física Experimental**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1991.

HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

HILL, J. W. **Fundamentos de Química**. 8. ed. v. 1. São Paulo: LTC, 2013.

KAZUHITO, Y.; FUKE, L. F. **Física para o Ensino Médio**. São Paulo: Saraiva, 2010.

KOHORI, R. K. **Estratégias Experimentais de Ensino Visando Contribuir com o Ensino de Física de Modo Significativo**: Atividades de Eletricidade, Magnetismo e Eletromagnetismo. 2015. 70 f. Dissertação (Mestrado Profissional de Ensino de Física) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, São Paulo, 2015.

LOPES, E. M.; LABURÚ, C. E. Diâmetro de um fio de cabelo por difração (um experimento simples). **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, n. especial: p. 258-264, 2004.

LOURENÇO, A. C.; CRUZ, E. C. A.; CHOUERI JÚNIOR, S. **Circuitos em Corrente Contínua**. 5. ed. São Paulo: Erica, 2002.

MARTINI, G.; SPINELLI, W; REIS, H. CARNEIRO; SANT'ANNA, B. **Conexões com a Física**. 2. ed. v. 2. São Paulo: Moderna, 2013a.

MARTINI, G.; SPINELLI, W; REIS, H. CARNEIRO; SANT'ANNA, B. **Conexões com a Física**. 2. ed. v. 4. São Paulo: Moderna, 2013b.

MOORE, J. W.; STANITSKI, C. L.; JURIS, P. C. **Chemistry**: The Molecular Science. Belmont, CA: Brooks/Cole, 2005.

OMELCZUCK, R. S. A.; SOGA, D.; MURAMATSU, M. 200 anos de caleidoscópio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 3, p. e3602-1-e3602-9, 2017.

PIERSON, H. O. **Handbook of carbon, graphite, diamond and fullerenes**: Properties, Processing and Applications. New Jersey: Noyes Publications, 1993.

RIBEIRO, A. D.; SILVA, D. G.; CRISTO, M. H. O.; SILVA, D. A.; MULLER, F. S.; SOUZA, C. C.; TECHIO, J. G. O.; REVILIAU, S. M.; LUZ, D. A.; MENEZES, V. M. In: MENEZES, V. M. (org.). **Ensino de Física com experimentos de baixo custo**. Curitiba: Appris, 2018.

RIBEIRO, J. L. P. Construção geométrica e demonstração experimental da formação da “imagem ciclópica” em uma associação de dois espelhos planos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 4, p. 4401-1-4401-7, 2014.

SAMPAIO, J. L.; CALÇADA, C. S. **Universo da Física 1: Mecânica**. 2. ed. São Paulo: Atual, 2005a.

SAMPAIO, J. L.; CALÇADA, C. S. **Universo da Física 2: Hidrostática, Termologia e Óptica**. 2. ed. São Paulo: Atual, 2005b.

SAMPAIO, J. L.; CALÇADA, C. S. **Universo da Física 3: Ondulatória, Eletromagnetismo, Física Moderna**. 2. ed. São Paulo: Atual, 2005c.

SERWAY, R. A.; JEWETT, J. W. JR. **Física para cientistas e engenheiros: mecânica**. 8. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012a.

SERWAY, R. A.; JEWETT, J. W. JR. **Física para cientistas e engenheiros: oscilações, ondas e termodinâmica**. 8. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012b.

SILVA, M. M. S. **Introdução aos Circuitos Eléctricos e Electrónicos**. Lisboa: Fundação Caluste Gulbenkian, 2001.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para Cientistas e Engenheiros: luz, óptica e Física Moderna**. 6. ed. v. 4. São Paulo: LTC, 2009.

TITO, M. P.; CANTO, E. L. **Química na Abordagem do Cotidiano**. v. 1. São Paulo: Moderna Plus, 2009.

TORRES, C. M. A.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. de T.; PENTEADO, P. C. M. **Física Ciência e Tecnologia**. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2013.

VUOLO, J. H. **Fundamento da teoria dos erros**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 1996.

XAVIER, C. C.; SILVA, D. G.; MENEZES, V. M. Construção de um kit de experimentos de óptica com materiais de fácil acesso. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, v. 6, p. 3-21, 2019.

XAVIER, C.; BARRETO, B. **Física aula por aula**. 2. ed. São Paulo: FTD, 2013.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física I: Mecânica**. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2013.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **University Physics**. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2007.

ZAMPOLI, Jessica; BRAGA, Luci; OLIVEIRA, Dirlene; SILVA, Daniele; MENEZES, Vivian Machado. Dinamômetro didático de baixo custo. **Cippus - Revista de Iniciação Científica da Unilasalle**, v. 7, p. 45-54, 2017.

SOBRE OS AUTORES

VIVIAN MACHADO DE MENEZES

Doutora, mestra e bacharel em Física. Docente de cursos de graduação e mestrado do *Campus Laranjeiras do Sul* da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) e coordenadora do projeto de iniciação científica *Experimentos de Física utilizando materiais de baixo custo*. Tem experiência nas áreas de Física Médica; propriedades eletrônicas e estruturais de nanoestruturas; estados eletrônicos; experimentos didáticos de baixo custo; modelagem para embalagens de alimentos; *Electrospinning* e ensino de Física.

CLAUDIO CLAUDERSON XAVIER

Graduado no curso Licenciatura Interdisciplinar em Educação do Campo: Ciências Naturais, Matemática e Ciências Agrárias pela Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS). Por anos, foi bolsista no projeto de iniciação científica *O ensino de Física através de experimentos didáticos de baixo custo*.

DANIELE GUERRA DA SILVA

Pós-graduada (*lato sensu*) em Tecnologias da Informação e Comunicação na Educação e graduada em Física Licenciatura Plena pela Universidade Federal de Santa Maria. Atualmente é técnica de laboratório de Física na Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS). Tem experiência na área de ensino de Física e atua como colaboradora no projeto *Experimentos de Física utilizando materiais de baixo custo*.

BRUNA LANGE MARTINS

Acadêmica do curso Ciências Biológicas Licenciatura Plena pela Universidade Federal da Fronteira Sul. Foi bolsista no projeto *Experimentos de Física de baixo custo* com bolsa de iniciação científica pela Fundação Araucária.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos que fizeram/fazem parte e contribuíram de alguma forma com o projeto que deu origem este livro, desde seu início, em 2015: Sonia Maria Reviliau, Júlia Graciele Ortiz Techio, Angelo Donizete Ribeiro, Dayana Antunes da Luz, Maria Helena de Oliveira Cristo, Celso Caitano de Souza, Maria Célia Felski Moscal, Roselei Terezinha Chapievski Gonçalves, Rosane de Lima Pires, Maicon Deiviti Rosa Padilha, Dirlene Aparecida de Oliveira, Margarete Machado, Jéssica Roberta Zampoli, Luci Braga, Denize Almeida da Silva, Fernanda de Souza Muller, Ronei Rudke, Mylena Cristina Reynaud, João Luiz dos Santos de Mello, Hendy Antonia Oliveira da Silva, Eliton Grubler, Danieli Alves dos Santos, Anair Dalmaz do Nascimento, Aline Batista Pagnussati, Thierry Zanardi Zanella, Alan Rodrigo Schiles, Denyse de Souza, Maiara Cristina Schiles, Volnei Polidoro, João Idênio Teixeira, Cerilio Barbosa de Lima, Vitor Augusto Costa e Souza, Rayssa Predebon Brunoro, Franciele Karoline Lenschuko, Gian Machado de Castro, Andresa Freitas e Yasmine Miguel Serafini Micheletto, Wanderson Gonçalves Wanzeller e Maria Eduarda Barbieri Pagotto.

Agradecemos à UFFS, ao CNPq e à Fundação Araucária pelo auxílio financeiro e pelas bolsas de iniciação científica (Edital N° 153/GR/UFFS/2024 e Edital N° 154/GR/UFFS/2024, projetos sob registro PRISMA PES-2024-0423, PES-2024-0416, PES-2024-0262 e PES-2024-0220). Dedicamos um agradecimento especial à Editora UFFS, por acreditar e viabilizar este trabalho.



Reitor	João Alfredo Braida
Vice-Reitora	Sandra Simone Hopner Pierozan
Chefe do Gabinete do Reitor	José Carlos Radin
Pró-Reitor de Administração e Infraestrutura	Edivandro Luiz Tecchio
Pró-Reitor de Assuntos Estudantis	Clovis Alencar Butzge
Pró-Reitora de Gestão de Pessoas	Gabriela Gonçalves de Oliveira
Pró-Reitor de Extensão e Cultura	Willian Simões
Pró-Reitor de Graduação	Elsio José Corá
Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação	Joviles Vitório Trevisol
Pró-Reitor de Planejamento	Ilton Benoni da Silva
Secretária Especial de Obras	Daiane Regina Valentini
Secretário Especial de Tecnologia e Informação	Cassiano Carlos Zanuzzo
Procurador-Chefe	Rosano Augusto Kammers
Diretor do <i>Campus</i> Cerro Largo	Bruno Munchen Wenzel
Diretora do <i>Campus</i> Chapecó	Adriana Remião Luzardo
Diretor do <i>Campus</i> Erechim	Luís Fernando Santos Corrêa da Silva
Diretor do <i>Campus</i> Laranjeiras do Sul	Fábio Luiz Zeneratti
Diretor do <i>Campus</i> Passo Fundo	Jaime Giolo
Diretor do <i>Campus</i> Realeza	Marcos Antônio Beal
Diretor da Editora UFFS	Antonio Marcos Myskiw
Chefe do Departamento de Publicações Editoriais e Revisora de Textos	Marlei Maria Diedrich
Assistente em Administração	Fabiane Pedroso da Silva Sulsbach



Conselho Editorial

Alcione Aparecida de Almeida Alves

Nilce Scheffer

Everton Artuso

Guilherme Dal Bianco

Rosane Rossato Binotto

Izabel Gioveli

Roque Ismael da Costa Güllich

Joice Moreira Schmalfluss

Tassiana Potrich

Maude Regina de Borba

Tatiana Champion

Alessandra Regina Müller Germani

Érica de Brito Pitilin

Valdir Prigol

Melissa Laus Mattos

Antonio Marcos Myskiw

Marlon Brandt

Thiago Ingrassia Pereira

Aline Raquel Müller Tones

Wanderson Gonçalves Wanzeller

Carlos Alberto Cecatto

Samuel da Silva Feitosa

Danielle Nicolodelli

Tiago Vecchi Ricci

Rosemar Ayres dos Santos

Gelson Aguiar da Silva Moser

Inês Claudete Burg

Claudia Simone Madruga Lima

Fabiana Elias

Athany Gutierrez

Débora Tavares de Resende e Silva

Angela Derlise Stübe

Luiz Felipe Leão Maia Brandão

Sergio Roberto Massagli

Samira Peruchi Moretto

Ana Maria de Oliveira Pereira



Associação Brasileira
das Editoras Universitária:

Revisão 1	Bevenuta Sales
Revisão 2	Araceli Pimentel Godinho
Revisão final	Vivian Machado de Menezes
Capa	Paolo Malorgio Studio Ltda
Projeto gráfico e diagramação	Paolo Malorgio Studio Ltda
Divulgação	Diretoria de Comunicação Social
Formatos	e-Pub e PDF

M266 Mãos à obra: experimentos de física econômicos e descomplicados. / Vivian Machado de Menezes (Organizadora) ; Claudio Clauderson Xavier, Daniele Guerra da Silva, Bruna Lange Martins. – Chapecó : Ed. UFFS, [2024].

ISBN 978-65-5019-102-3 (PDF).
978-65-5019-101-6 (EPUB).

1. Física. 2. Mecânica. 3. Dinâmica dos fluidos. 4. Teoria do movimento ondulatório. 5. Eletromagnetismo. 6. Óptica. 7. Atividades criativas na sala de aula. I. Menezes, Vivian Machado de (org).
II. Título.

CDD: 530

Ficha catalográfica elaborada pela
Divisão de Bibliotecas – UFFS
Vanusa Maciel
CRB - 14/1478

