A FÍSICA
através de
Experimentos

V. III

Jucimar Peruzzo

Jucimar Peruzzo

A FÍSICA ATRAVÉS DE EXPERIMENTOS

Volume III

Eletromagnetismo, Física Moderna e Ciências Espaciais

1ª edição

Irani, SC
Edição do Autor
2013

Copyright © 2013 by Jucimar Peruzzo

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte deste livro poderá ser reproduzida ou transmitida, por qualquer meio eletrônico, mecânico, fotográfico, gravação, etc., sem a autorização prévia do autor.

Impresso no Brasil
Printed in Brazil

Ficha Catalográfica

Peruzzo, Jucimar
A Física Através de Experimentos: Eletromagnetismo, Física Moderna e Ciências Espaciais. V.III / Jucimar Peruzzo. Irani (SC): 2013.

286p.
Bibliografia

1. Física Geral. 2. Física Experimental. 3. Experimentos de Física. 4. Laboratório de Física. I. Título.

ISBN: 978-85-913398-5-3 CDD: 530

Editor: Jucimar Peruzzo
E.E.B. Dom Felício C. C. Vasconcelos
E.E.B. Isabel da Silva Telles
Irani / SC
e-mail: jucimarperuzzo@yahoo.com.br

Dedico este livro a todos os meus alunos de ensino médio.

A maior loucura que pode fazer um homem nesta vida
é se deixar morrer.
Sancho Pança

Os poderosos podem matar uma, duas ou três rosas,
mas jamais conseguirão deter a primavera inteira.
Che Guevara

A verdade científica é sempre um paradoxo, se julgar pela experiência
cotidiana que se agarra à aparência efêmera das coisas.
Karl Marx

Nossas virtudes e nossos sentimentos são insuperáveis, assim como força e
matéria. Quando se separam, o homem deixa de existir.
Nikola Tesla

Prefácio

Desde o início de sua existência o ser humano busca respostas para explicar e compreender os fenômenos da natureza. Inicialmente suas causas foram atribuídas à vontade dos deuses. No entanto, com o tempo, ele foi procurando entender os fenômenos de maneira racional.

Embora os fenômenos físicos e suas tentativas de compreensão remontem à antiguidade, a física como ciência, de modo como a conhecemos atualmente, surgiu no século XIX. Nesse período e nos séculos anteriores houve um grande desenvolvimento científico, o que fez com que as ciências naturais se dividissem em física, química, biologia, entre outras.

O objetivo da física é compreender os fenômenos mais elementares da natureza. Neste caso, elementar significa mais básico, mas não, necessariamente mais simples. A física estuda fenômenos que vão desde as partículas constituintes do átomo até grandes estruturas no universo, como as galáxias, ou o próprio universo como um todo. Muitos fenômenos são tão complexos que a física não consegue estudá-los individualmente e utiliza-se de aproximações estatísticas para isso.

A física é muitas vezes considerada uma ciência abstrata, que explica os fenômenos que ocorrem somente em laboratórios. No entanto, estamos rodeados de fenômenos físicos na natureza e cada vez mais na vida quotidiana altamente tecnológica. Na sociedade contemporânea o conhecimento científico é cada vez mais valorizado, devido principalmente à crescente influência que a tecnologia exerce no dia-a-dia humano. Por isso, é inconcebível que na educação formal atual o aluno fique excluído do saber científico.

Nos últimos anos a escola tem sido criticada pela baixa qualidade do seu

ensino, não conseguindo preparar os estudantes para o mercado de trabalho e para a universidade. As aulas de ciências, e em especial as de física, estão muito aquém do ideal. Os resultados quanto à aprendizagem pelos alunos, em sua grande maioria, não são nada animadores. O desempenho é baixo e há pouco interesse em entendê-la. Os professores reclamam do desinteresse dos estudantes e estes, em grande maioria, se referem às aulas de física como sendo chatas, conduzidas por profissionais despreparados e que ficam falando de coisas totalmente abstratas, coisas estas que não lhes atraem.

No ensino de física em nível médio constata-se que as atividades experimentais são raramente utilizadas pela maioria dos professores. Ao tentar entender o porquê disso, encontramos diversas justificativas, tais como: falta de atividades preparadas, pouco tempo para o professor planejar e montar experimentos, recursos insuficientes para reposição e compra de equipamentos e materiais de laboratório, número excessivo de alunos por sala, despreparo do docente, etc. Diante dessa situação começamos a entender o motivo das deficiências existentes no ensino em física e na aprendizagem em geral.

Diversas pesquisas têm sido feitas a respeito do uso de experimentos no ensino de física. Segundo elas, o ensino centrado nos conceitos teóricos, sem incluir situações reais, torna a disciplina desmotivante e chata para o aluno. Nesse sentido, a atividade experimental vem como uma importante ferramenta pedagógica, apropriada para despertar o interesse dos alunos, cativá-los para os temas propostos pelos professores e capaz de ampliar a capacidade para a aprendizagem.

As ciências naturais têm em sua base a experimentação. Os fenômenos são explicados e as teorias somente têm êxito pleno se a experiência as confirmarem. A física, componente desse grupo de ciências, exerce um papel muito importante no mundo atual. Ela participa do desenvolvimento científico e tecnológico com importantes contribuições, cujas decorrências têm alcance econômico, social e político imensos.

Apesar de conter aspectos filosóficos, teóricos e matemáticos, a física é essencialmente uma ciência experimental. Portanto, a realização de experiências é uma parte essencial para o ensino de física. O uso de atividades experimentais como estratégia de ensino tem sido apontada como uma das maneiras mais frutíferas de se minimizar as dificuldades de aprender e de se ensinar física

de modo significativo e consistente. Deve-se criar oportunidades para que o ensino experimental e o ensino teórico se efetuem em concordância.

No entanto, as dificuldades para a prática de atividades experimentais em sala de aula são muitas, como foi comentado anteriormente. Muitos professores até tentam enfrentar esses problemas improvisando aulas práticas e demonstrações com materiais improvisados. Alguns acabam tendo êxito, mas a grande maioria acaba cansando diante do grande trabalho e dos resultados insatisfatórios obtidos.

Com o objetivo de contribuir para a melhoria no ensino de física, enfatizando as atividades experimentais, foi desenvolvido este livro, com 145 experimentos propostos de eletromagnetismo, física moderna e ciências espaciais, o qual é destinado à estudantes de física (em nível médio e superior), ao público em geral e principalmente aos professores de ciências e física.

Os experimentos aqui apresentados utilizam materiais, em sua maioria simples e de fácil obtenção. Além disso, eles não necessitam de um ambiente próprio para serem realizadas, podendo serem efetuados na própria sala de aula (se tiver uma sala ou laboratório próprio, melhor).

Ao descrever cada experimento procurou-se fazer um roteiro mais aberto, mas que possa ser compreendido, de modo que cada experimentador elabore e ajuste certos detalhes à seu critério. Na maioria das vezes pode-se obter resultados semelhantes montando o experimento de uma outra forma, utilizando materiais diferentes dos citados. A idéia é essa mesma, pois a verdadeira experimentação se realiza dessa forma, e não seguindo roteiros do tipo "receita pronta". Em alguns experimentos quantitativos foram colocados dados numéricos de experimentos realizados pelo autor, para facilitar a compreensão do mesmo por parte do leitor.

Os experimentos aqui descritos são baseado em livros, sites e artigos científicos, os quais estão listados nas referências, e foram aprimorados pelo autor (ao seu gosto) em sua prática docente em diversos anos, muitos deles com a ajuda de seus alunos. Evitou-se a apresentação de experimentos mais complexos e trabalhosos de se realizarem, pois isso certamente dificultaria a sua execução em sala de aula, principalmente devido ao grande tempo que seria gasto para isso.

Em muitos livros e manuais de experimentos existentes atualmente, está

descrita a montagem do experimento, mas que nem sempre é seguida do que ocorre e o porquê de tais acontecimentos. Isso, muitas vezes, acaba afugentando o experimentador do desafio de estar realizando ou propondo tal experimento. Por isso, neste livro, em todos os experimentos procurou-se fazer uma análise detalhada dos fenômenos ocorridos e dos resultados obtidos, para que o leitor possa ter mais confiança na sua prática. No entanto, inicialmente induz-se o leitor à uma realização própria do experimento, de modo que ele obtenha resultados, desenvolva uma análise e tire as suas conclusões.

Com poucas exceções, os experimentos propostos visam descrever e ilustrar fenômenos e leis físicas, sem importar-se muito com as aplicações práticas. Neles procurou-se não dar muito ênfase nos procedimentos matemáticos, mas sim, estabelecer relações de caráter qualitativo e semi-qualitativo. Algumas incursões matemáticas desenvolvidas em alguns experimentos quantitativos são próprias do autor deste livro, o que não quer dizer que seja a única ou a melhor. Por isso, é importante um empenho do leitor e do professor para a utilização de outras fontes bibliográficas e a dedicação para criar variantes dos experimentos aqui propostos bem como o de novos, com o objetivo de criar o "seu experimento".

Espera-se que o livro não contenha experimentos que possa comprometer a realização da prática experimental. Isso porque é comum que a decepção com um experimento que não funcionou adequadamente possa levar o experimentador a perder o interesse por esse tipo de atividade. Além disso, salienta-se que, muitas vezes a investigação de um experimento que não "deu certo"pode ser muito mais rica para o processo de ensino-aprendizagem do que o experimento perfeito. É recomendável que o professor sempre faça o experimento antes de levá-lo para sala de aula ou propô-lo para os alunos. Alguns imprevistos ou detalhes mínimos podem comprometer o seu êxito.

As atividades experimentais favorecem o despertar para o maravilhoso mundo da ciência e suas aplicações. Ter interesse e dedicar tempo à esse trabalho é uma aventura muito emocionante. As aulas práticas certamente vão despertar a atenção dos alunos e fazê-los compreender melhor os porquês das coisas, além de desenvolver um pensamento questionador e crítico.

Não aceitar a importância no ensino das aulas experimentais significa destituir o conhecimento físico de seu contexto, reduzindo esta ciência a um sistema

abstrato de definições, leis e fórmulas matemáticas. A física é muito mais do que isso. É uma atividade intelectual extremamente viva e interessante.

Jucimar Peruzzo

Estrutura dos Experimentos Propostos

Todos os experimentos propostos neste livro tem uma mesma apresentação:

Título

Evidencia rapidamente o assunto abordado.

Objetivo(s)

Indica o que se pretende atingir com a realização do experimento proposto.

Material Utilizado

Informa os materiais e/ou equipamentos necessários para a realização do experimento. Alguns materiais sempre podem ser substituídos por outros similares ou equivalentes.

Montagem e Procedimento

Orienta na montagem e na realização do experimento.

Análise e Explicação

Explica em detalhes os resultados do experimento, dando uma boa base conceitual e matemática.

Sumário

1 ELETROMAGNETISMO **1**
1.1 Eletrização por Atrito 1 1
1.2 Eletrização por Atrito 2 2
1.3 Eletrização por Atrito 3 3
1.4 Repulsão Elétrica 4
1.5 Atração e Repulsão Elétrica 5
1.6 Pêndulo Eletrostático 7
1.7 Corpo Carregado e Corpo Neutro 1 9
1.8 Corpo Carregado e Corpo Neutro 2 9
1.9 Eletroscópio de Folhas 10
1.10 Eletroscópio e Eletrização 12
1.11 Garrafa de Leiden 15
1.12 Eletróforo de Volta 16
1.13 Pêndulo Cônico Eletrostático 18
1.14 Eletrizando uma Pessoa 20
1.15 Televisor como Fonte de Alta Tensão 21
1.16 Cargas num Condutor Esférico 21
1.17 Cargas na Superfície 23
1.18 Blindagem Eletrostática 24
1.19 Desviando um Filete de Água 26
1.20 Lâmpada Fluorescente e Atrito 27
1.21 Condutores e Isolantes Elétricos 28
1.22 Condução Eletrolítica em Sólidos 30

1.23 Corrente Elétrica num Meio Eletrolítico 31
1.24 Isolante que não é isolante 33
1.25 Utilizando um Multímetro 34
1.26 Utilizando um Voltímetro 36
1.27 Utilizando um Amperímetro 38
1.28 Utilizando um Ohmímetro 39
1.29 Primeira Lei de Ohm 41
1.30 Segunda Lei de Ohm 43
1.31 Leitura de Resistores 47
1.32 Resistores em Série 50
1.33 Resistores em Paralelo 52
1.34 Chave de Teste de Eletricidade 54
1.35 Corpo Humano e Resistência Elétrica 55
1.36 Efeito Seebeck 56
1.37 Lâmpadas em Paralelo 59
1.38 Lâmpadas em Série 61
1.39 Reostato 62
1.40 Características de um Gerador Elétrico 64
1.41 Corrente de Curto-Circuito 66
1.42 Geradores em Série 68
1.43 Geradores em Paralelo 70
1.44 Características de um Receptor Elétrico 72
1.45 Efeito Joule 1 74
1.46 Efeito Joule 2 76
1.47 Efeito Joule 3 77
1.48 Efeito Termoelétrico 78
1.49 Resistência e Temperatura 79
1.50 Resistividade e Temperatura 81
1.51 Lâmpada Elétrica de Arco 85
1.52 Esfera de Plasma 87
1.53 Estudando um Capacitor 89
1.54 Capacitores em Série 92
1.55 Capacitores em Paralelo 95
1.56 Lei de Ohm Generalizada 96

1.57 Ponte de Fio Deslizante 98
1.58 Motor e Lâmpada em Série 102
1.59 Circuito Paradoxal 1 105
1.60 Circuito Paradoxal 2 106
1.61 Energia Elétrica e Mecânica 108
1.62 Potência de um Gerador Elétrico 110
1.63 Lâmpada que Não Liga 114
1.64 Construindo um Imã 118
1.65 Bússola Magnética 120
1.66 Ponto Curie 121
1.67 Interação através do Campo Magnético 123
1.68 Linhas de Campo Magnético 124
1.69 Campo Magnético Tridimensional 125
1.70 Interação entre Imãs 126
1.71 Polos Magnéticos 127
1.72 Paradoxo Magnético 129
1.73 Materiais Ferromagnéticos 130
1.74 Experimento de Oersted 131
1.75 Campo Magnético de um Condutor Retilíneo 133
1.76 Campo Magnético de uma Bobina Chata 135
1.77 Campo Magnético de um Solenoide 138
1.78 Eletroimã em Forma de Barra 141
1.79 Eletroímã em Forma de Ferradura 143
1.80 Força Magnética sobre uma Carga Elétrica 144
1.81 Força Magnética sobre um Condutor com Corrente Elétrica 1 . 146
1.82 Força Magnética sobre um Condutor com Corrente Elétrica 2 . 148
1.83 Força Magnética sobre o Filamento de uma Lâmpada 149
1.84 Força Magnética entre Dois Condutores Paralelos 150
1.85 Campo Magnético produzido por Corrente Alternada 153
1.86 Levitron - Levitação por Rotação 154
1.87 Energia Armazenada num Indutor 157
1.88 Motor de Faraday 158
1.89 Motor Elétrico Mínimo 1 161
1.90 Motor Elétrico Mínimo 2 163

1.91 Motor Elétrico Mínimo 3 165
1.92 Motor Elétrico Mínimo 4 167
1.93 Motor Elétrico de Tração 168
1.94 Motor Elétrico com Bobinas 169
1.95 Indução Eletromagnética 1 171
1.96 Indução Eletromagnética 2 173
1.97 Transformador Elétrico - Principio de Funcionamento 174
1.98 Transformador Elétrico - Construção 176
1.99 Lei de Lenz 178
1.100 Anel de Thompson 180
1.101 Disco de Arago 1 181
1.102 Disco de Arago 2 184
1.103 Correntes Induzidas 1 186
1.104 Correntes Induzidas 2 188
1.105 Correntes de Foucault 1 190
1.106 Correntes de Foucault 2 192
1.107 Gerador Eletromagnético 194
1.108 Acendendo uma Lâmpada Fluorescente 196
1.109 Produção de H_2 e O_2 197
1.110 Acelerador de Partículas 199
1.111 Gaiola de Faraday 200
1.112 Experimento de Hertz 202
1.113 Ondas Eletromagnéticas 204
1.114 Interferência Eletromagnética 207

2 FÍSICA MODERNA 209
2.1 Espectroscópio 209
2.2 Espectro Contínuo 211
2.3 Chamas Coloridas 213
2.4 Espectro Discreto 216
2.5 Visualizando no Infravermelho 217
2.6 Análise da Chama de uma Vela 219
2.7 Estudando um LED 1 221
2.8 Estudando um LED 2 226

2.9 Constante de Planck 228
2.10 Resistência de um LDR 231
2.11 Ouvindo o Som do Controle Remoto 232

3 CIÊNCIAS ESPACIAIS 235
3.1 Planeta Terra e Gravidade 235
3.2 Achatamento da Terra 236
3.3 Velocidade de Rotação da Terra 238
3.4 Gnômon e Movimento do Sol 241
3.5 Desenhando uma Elipse 242
3.6 Paralaxe 245
3.7 Tamanho Relativo entre os Planetas e o Sol 247
3.8 Rotação da Terra e Formação dos Dias e das Noites 249
3.9 Translação da Terra e Estações do Ano 250
3.10 Movimento da Lua 253
3.11 Diferença no Tamanho da Lua 256
3.12 Potência do Sol 257
3.13 Vapor de Água na Atmosfera 260
3.14 Efeito Estufa 261
3.15 Umidade Relativa do Ar 262
3.16 Simulando um Tornado 265
3.17 Cintilação da Luz das Estrelas 267
3.18 Garrafa Foguete 268
3.19 Balão Foguete 270
3.20 Carrinho Foquete 270

Lista de Figuras

1.1 Eletrização e repulsão das latas. 5
1.2 a- Repulsão entre os canudinhos; b- Atração entre o canudinho e a folha de papel. 6
1.3 Pêndulo eletrostático. 7
1.4 a- Atração; b- Repulsão. 8
1.5 Eletroscópio de folhas. 11
1.6 Eletroscópio. 13
1.7 Elevação e abaixamento da lâmina de seda. 14
1.8 Esquema da garrafa de Leiden. 16
1.9 Esquema do eletróforo de Volta. 17
1.10 Tocando o papel alumínio com o dedo. 17
1.11 Pêndulo cônico. 19
1.12 Distribuição de cargas num condutor esférico. 22
1.13 Distribuição de cargas na superfície de um corpo. 24
1.14 Peneira de plástico. 25
1.15 Peneira de metal. 25
1.16 Desvio de um filete de água. 27
1.17 Estrutura da molécula de H_2O e presença de pólos elétricos. 27
1.18 Testando se um material é condutor ou isolante elétrico. 29
1.19 Condução elétrica do vidro. 31
1.20 Condução eletrolítica. 32
1.21 Multímetro digital. 35
1.22 Medida de tensão elétrica. 37
1.23 Medida de corrente elétrica. 38

1.24 Amperímetro do tipo alicate. 40
1.25 Medida de resistência elétrica. 41
1.26 Fonte, resistor, amperímetro e voltímetro. 42
1.27 Gráfico de $U \times i$ para um resistor ôhmico. 44
1.28 Variação da resistência de um condutor. 45
1.29 Gráfico de $R \times l$ para três condutores elétricos. 48
1.30 Resistor com as quatro faixas coloridas. 49
1.31 Resistores associados em série. 51
1.32 Resistores associados em paralelo. 53
1.33 Chave de teste. 55
1.34 Experimento do Efeito Seebeck. 57
1.35 Associação de lâmpadas em paralelo. 60
1.36 Associação de lâmpadas em série. 61
1.37 Esquema de um reostato. 63
1.38 Pilha e resistor. 65
1.39 Resistor ligado num gerador. 66
1.40 Curto-circuito. 67
1.41 Gráfico $U \times i$ para um gerador. 68
1.42 Geradores associados em série. 69
1.43 Associação de geradores em série. 70
1.44 Geradores associados em paralelo. 70
1.45 Associação de geradores em paralelo. 71
1.46 Receptor elétrico. 74
1.47 Curva característica de um receptor. 74
1.48 Incendiando o grafite. 76
1.49 Pilha, lâmpada, voltímetro e amperímetro. 80
1.50 Resistividade em função da temperatura. 82
1.51 Lâmpada de arco. 85
1.52 Esfera de plasma. 87
1.53 Estudo de um capacitor. 89
1.54 Gráfico do carregamento de um capacitor: a- $Q \times t$; b- $i \times t$. 91
1.55 Gráfico de $U \times t$ durante o carregamento do capacitor. 92
1.56 Gráfico de $U \times t$ durante o descarregamento do capacitor. 94
1.57 Capacitores associados em série. 95

1.58 Capacitores associados em paralelo. 96
1.59 Circuito formado por dois geradores, um receptor e dois resistores. . 97
1.60 Circuito formado por um gerador, um receptor e um resistor. 97
1.61 Ponte de fio deslizante. 99
1.62 Ponte de Wheatstone. 100
1.63 Motor e lâmpada associados em série. 102
1.64 Circuito paradoxal 1. 105
1.65 Lâmpadas associadas em série. 107
1.66 Motor erguendo uma massa. 109
1.67 Esquema do circuito elétrico. 109
1.68 Gerador, reostato, multímetro e amperímetro. 111
1.69 Gráfico de $P_u \times i$ para um gerador elétrico. 112
1.70 Gráfico de $U \times i$ para um gerador elétrico. 114
1.71 Gráfico de $P_u \times i$ para um gerador elétrico. 115
1.72 A lâmpada L_3 não liga. 116
1.73 Circuito com duas malhas. 117
1.74 Produzindo um imã. 119
1.75 Agulha imantada suspensa. 120
1.76 Linhas de campo magnético de um imã. 124
1.77 Linhas de campo magnético de: a- De um imã em forma de barra; b- Entre polos de dois imãs. 125
1.78 Interação entre imãs: a- Atração; b- Repulsão. 127
1.79 Polos magnéticos de imãs. 128
1.80 Objeto ferromagnético: a- Atraído pelo imã; b- Se desprende do imã. 129
1.81 Formação de um novo imã. 130
1.82 a- Bússola próximo ao fio; b- Deflexão da agulha com a passagem de corrente elétrica no fio; c- Inversão do sentido de deflexão da agulha com a mudança de sentido de corrente no fio. 132
1.83 Sentido das linhas de campo magnético geradas por um condutor retilíneo. 132
1.84 Orientação das bússolas ao redor de um condutor retilíneo. 133
1.85 Linhas de campo magnético produzidas por um condutor retilíneo. . 134
1.86 Superfície atravessada por uma corrente i. 134
1.87 Bússola no interior da bobina. 136

1.88 a- Espira percorrida por uma corrente elétrica i; b- Corrente em sentido anti-horário; c- Corrente em sentido horário. 137
1.89 Bússola no interior do solenoide. 139
1.90 a- Solenoide; b- Orientações de i e $\vec{B}$. 140
1.91 Eletroímã em forma de barra. 141
1.92 Eletroímã em forma de ferradura. 144
1.93 Pêndulo e imã. 145
1.94 Orientações de $\vec{B}$, $\vec{v}$ e $\vec{F}_m$ (regra da mão direita). 146
1.95 Fio condutor retilíneo no interior de um imã em forma de ferradura. . 147
1.96 Pêndulo sobre imã. 149
1.97 Imã sendo aproximado da lâmpada. 150
1.98 Condutores paralelos com correntes elétricas. 151
1.99 Direção e sentido dos vetores $\vec{B}$ e $\vec{F}_m$ em condutores paralelos com correntes elétricas de: a- Mesmo sentido; b- Sentidos opostos. 152
1.100 Eletroimã próximo ao fio esticado. 154
1.101 Levitron em funcionamento. 155
1.102 Pião e base do levitron. 156
1.103 Lâmpada e solenoide associados em paralelo. 157
1.104 Motor de Faraday. 159
1.105 Forças nas extremidades do fio móvel. 160
1.106 Esquema do motor elétrico mínimo 1. 161
1.107 a- Constituição da bobina (rotor); b- Extremidade da bobina parcialmente raspada. 162
1.108 Forças magnéticas sobre uma espira retangular. 163
1.109 Esquema do motor elétrico mínimo 2. 164
1.110 Esquema do motor elétrico mínimo 3. 166
1.111 Forças sobre o rotor. 166
1.112 Esquema do motor elétrico simples 4. 167
1.113 Esquema do motor elétrico de tração. 169
1.114 Motor com bobinas. 170
1.115 Imã e solenoide. 171
1.116 Fluxo magnético. 172
1.117 Fone de ouvido, enrolamentos e pilha. 174
1.118 Solenoides montados no mesmo núcleo. 175

1.119 Esquema do transformador. 177
1.120 a- Imã e espira; b- Imã aproximando-se da espira; c- Imã afastando-se da espira. 180
1.121 Esquema do experimento anel de Thomson. 181
1.122 Imã suspenso sobre o disco 1. 182
1.123 Imã suspenso sobre o disco 2. 183
1.124 Disco suspenso sobre um imã. 185
1.125 Imã suspenso e copos plásticos. 187
1.126 a- Indução de correntes elétricas com sentidos opostos; b- Surgimento de uma força magnética. 187
1.127 Esfera sendo solta no interior do tubo. 189
1.128 Pêndulo oscilando entre os polos de um eletroímã. 191
1.129 Lâmina: a- Inteiriça; b- Com fendas. 192
1.130 Disco girando entre os polos do eletroímã. 193
1.131 Gerador eletromagnético: a- Corrente alternada (AC); b- Corrente contínua (CC). 196
1.132 Experimento para realização de eletrólise. 198
1.133 Esquema do acelerador linear. 200
1.134 Acelerador linear mais intenso. 200
1.135 Blindagem eletrostática. 202
1.136 Experimento de Hertz. 203
1.137 Circuito gerador de ondas eletromagnéticas. 205

2.1 Esquema do espectroscópio. 210
2.2 Lâmpada, cd, lupa e tela de projeção. 212
2.3 a- Elétron absorve um fóton e passa do nível 2 para o nível 3; b- Elétron emite um fóton e retorna do nível 3 para o nível 2. 215
2.4 Linhas paralelas do espectro. 217
2.5 Câmera digital e controle remoto. 218
2.6 Imagem captada pela câmera digital. 219
2.7 Chama de uma vela. 220
2.8 Estrutura de bandas: a- Metais; b- Isolantes; c- Semicondutores. . . . 222
2.9 Estrutura do: a- Si puro; b- Si dopado. 223

2.10 Emissão de um fóton devido a recombinação de um elétron da BC com um buraco na BV. 224
2.11 Espectro de diferentes leds. 225
2.12 Estudando um led (diodo). 227
2.13 Gráfico de $i \times V$ para um diodo. 227
2.14 Gráfico $i \times V$ para um led. 230
2.15 Som do controle remoto. 233

3.1 Forças dirigidas para o centro da Terra. 236
3.2 Rotação e achatamento do aro. 237
3.3 Distâncias h e d. 239
3.4 Distâncias D, d, H e h. 240
3.5 Gnômon. 241
3.6 Desenhando uma elipse. 243
3.7 Componentes de uma elipse. 244
3.8 Posição das canetas vistas de cima - canetas alinhadas. 245
3.9 Posição das canetas vistas de cima - canetas desalinhadas. 246
3.10 Efeito da paralaxe: a- Imperceptível; b- Perceptível. 247
3.11 Rotação do planeta Terra. 250
3.12 Movimento do planeta Terra ao redor do Sol. 251
3.13 Ângulo de inclinação. 252
3.14 Estações do Ano. 253
3.15 Movimento da Lua ao redor da Terra. 254
3.16 Fases da Lua. 255
3.17 Ilusão de óptica. 257
3.18 Incidência da radiação solar sobre a lata com água. 258
3.19 Esquema do psicrômetro de bulbo seco-molhado. 263
3.20 a- Garrafas ligadas pela boca; b- Simulação de um tornado. 266
3.21 Projeção luz *laser* na parede. 267
3.22 Garrafa foguete. 269
3.23 Montagem do carrinho foguete. 271
3.24 Carrinho foguete se movendo. 271

Lista de Tabelas

1.1 Dados de U e i. 43
1.2 Valores de l, U, i e R para um fio condutor. 45
1.3 Fio de $NiCu$ com $d = 0,404mm$. 46
1.4 Fio de $NiCu$ com $d = 0{,}813mm$. 46
1.5 Fio de Fe com diâmetro de $0{,}50mm$. 47
1.6 Valores de resistências de resistores. 48
1.7 Código de cores de resistência. 49
1.8 Código de cores de tolerância. 50
1.9 Dados Experimentais. 50
1.10 Valores de T, U, i e R para a espira. 84
1.11 Valores de U e t durante o carregamento do capacitor. 91
1.12 Valores de U e t durante o descarregamento do capacitor. 93
1.13 Valores de U, i e P_u de um gerador. 113

2.1 Dados de V e i para um led. 229

3.1 Diâmetros dos astros do sistema solar. 248
3.2 Umidade relativa do ar através de medidas de temperatura e depressão. 264

Capítulo 1

ELETROMAGNETISMO

1.1 Eletrização por Atrito 1

Objetivos

Mostrar e estudar o processo de eletrização por atrito.

Materiais Utilizados

Papel picado, 1 pedaço de plástico, 1 folha de caderno.

Montagem e Procedimento

Espalhe um pouco de papel picado sobre uma mesa. Coloque sobre o papel picado o plástico e veja que nada ocorre.

Em seguida amasse a folha de caderno e atrite-a no plástico. Pegue novamente o plástico e aproxime-o do papel picado. Perceba agora que os pedacinhos de papel são atraídos para o plástico.

Análise e Explicação

Quando dois corpos de natureza diferentes são atritados eles podem ficar eletrizados. Durante o tempo em que eles são atritados, há transferência de

elétrons de um corpo para outro, de modo que o corpo que perde elétrons fica eletrizado positivamente e o que recebe elétrons fica eletrizado negativamente. Estando um objeto eletrizado, ele exerce uma força de atração sobre um objeto neutro.

Durante o atrito um corpo recebe ou cede elétrons e isso vai depender da sua constituição. Existe uma série denominada série triboelétrica que relaciona materiais que recebem ou perdem elétrons quando atritados uns com outros. Nela o material que vem antes perde elétrons para o material que vem depois. Entre alguns componentes dessa série podemos citar:

Pele humana - couro - vidro - cabelo - náilon - lã - seda - alumínio - papel - algodão - madeira - acrílico - borracha sintética - isopor - PVC.

1.2 Eletrização por Atrito 2

Objetivo

Verificar o processo de eletrização por atrito.

Materiais Utilizados

1 canudo de refresco ou 1 régua de plástico, 1 toalha de papel ou 1 pedaço de papel higiênico, papel picado (folha de caderno).

Montagem e Procedimento

Coloque um pouco de papel picado sobre a mesa. Esfregue o canudinho ou a régua no papel higiênico ou na toalha de papel, e em seguida aproxime-o dos pedacinhos de papel. Observe que estes são atraídos, sendo alguns aderidos ao canudo.

Se o canudinho não for muito grande, depois de atritado com o papel, você pode aproximá-lo de um objeto grande, como uma parede, e ele ficará grudado.

O experimento pode também ser feito usando um balão de borracha cheio de ar no lugar do canudo.

Análise e Explicação

Quando se atritam dois corpos diferentes, o contato íntimo de suas superfícies faz com que um deles ceda elétrons para o outro. Dessa forma, os dois corpos ficam carregados eletricamente: o que cede elétrons torna-se positivo e o que recebe fica negativo[1].

Depois de ser atritado com o papel o canudo ficou carregado eletricamente e passou a atrair pedaços pequenos de papel, ou conseguiu ficar grudado na parede. Isso ocorre porque o canudo eletrizado repele as cargas iguais no papel e na parede e a região próxima do canudo passa a ter cargas opostas, ocorrendo a atração elétrica.

O papel fica grudado no canudo ou este à parede até que não haja passagem de cargas elétricas entre os corpos. Quando isso ocorre, passa a haver repulsão, já que os corpos ficam com cargas de mesmo sinal.

É importante lembrar que os materiais utilizados devem estar bem limpos e secos para que os efeitos sejam significativos. Além disso, somente o atrito entre alguns materiais os deixam carregados. O manuseio frequente dos canudos, por exemplo, faz com que eles fiquem impregnados de suor e gordura das mãos, acabando por deixar de produzir os efeitos eletrostáticos.

Para o canudo ficar grudado na parede, esta não deve ser muito lisa, pois, o que prende o canudo à parede é a força de atrito, que não o deixa cair. A força elétrica comprime o canudo contra a parede, propiciando a existência da força de atrito.

1.3 Eletrização por Atrito 3

Objetivo

Apresentar o processo de eletrização por atrito.

[1] Na maioria dos experimentos de eletrostática não é necessário saber o verdadeiro sinal da carga elétrica que cada corpo adquiriu.

Materiais Utilizados

1 lata metálica (essas de leite em pó), 1 pedaço de plástico, 1 folha de caderno, 1 mesa horizontal.

Montagem e Procedimento

Atrite a folha de caderno no plástico. Coloque a lata deitada sobre a mesa e aproxime da lata o plástico. Você conseguirá fazer a lata rolar, devido ao fato dela ser atraída pelo plástico.

Análise e Explicação

A explicação para este experimento já foi dada nos Exps. (1.1) e (1.2).

1.4 Repulsão Elétrica

Objetivo

Mostrar a repulsão entre cargas elétricas de mesmo sinal.

Materiais Utilizados

2 latas de refrigerante (vazias), 1 pedaço ou 1 pano de lã, 1 bastão de plástico, 2 pedaços de fio de náilon, 1 suporte para suspensão.

Montagem e Procedimento

Prenda cada lata de refrigerante num fio, e este no suporte, de modo que o conjunto fique suspenso. Atrite o bastão de plástico com a lã, de modo a eletrizá-lo, e o encoste em cada uma das latas. Coloque várias regiões do bastão em contato com as latas, pois, sendo isolante, as cargas ficam presas em cada região do bastão.

Aproximando as latas, observe que elas sofrem repulsão. Um esquema do experimento está na Fig.(1.1).

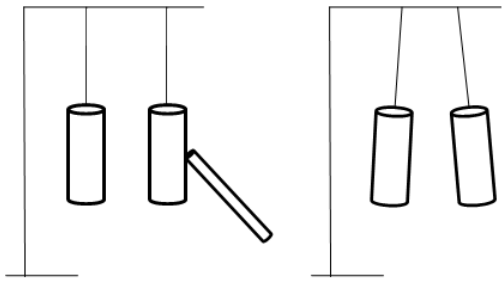

Figura 1.1: Eletrização e repulsão das latas.

Análise e Explicação

Ao ser atritado com a lã o bastão de plástico ficou eletrizado por atrito, adquirindo carga elétrica de sinal contrário a da lã. Ao se encostar na lata, o bastão transferiu parte de sua carga elétrica para ela. Desse modo, as duas latas são eletrizadas com cargas elétricas de mesmo sinal e, ao se aproximarem, elas sofrem uma força de repulsão.

1.5 Atração e Repulsão Elétrica

Objetivo

Verificar a ocorrência da atração e repulsão entre corpos eletricamente carregados.

Materiais Utilizados

2 canudinhos (de refrigerante), 1 palito (de churrasco, ou semelhante), 1 folha de papel.

Montagem e Procedimento

Disponha o palito na vertical, de modo que ele fique firme. Dobre um dos canudinhos pela metade e apoie-o na ponta do palito, deixando-o livre para que ele possa girar livremente.

Pegue este canudinho que está sobre o palito, atrite-o na folha de papel e em seguida coloque-o novamente sobre o palito. Atrite o outro canudinho na folha de papel e aproxime-o do canudinho suspenso. Observe que os canudinhos se repelem (Fig.1.2-a). Em seguida aproxime a folha com que atritou os canudinhos e constate que ocorre atração entre eles (Fig.1.2-b).

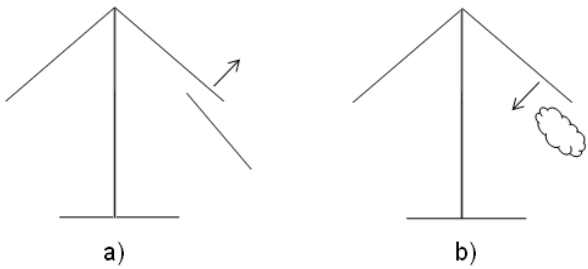

Figura 1.2: a- Repulsão entre os canudinhos; b- Atração entre o canudinho e a folha de papel.

Análise e Explicação

Após serem atritados os corpos ficaram carregados com cargas elétricas de sinais opostos. Ao aproximar os dois canudinhos, eles se repelem, pois os mesmos têm cargas elétricas de mesmo sinal. Como o canudinho e o papel têm cargas elétricas de sinais opostos, ocorre entre eles uma força elétrica de atração.

1.6 Pêndulo Eletrostático

Objetivos

Construir e mostrar o funcionamento de um pêndulo eletrostático.

Materiais Utilizados

1 pedaço de papel alumínio (esse de envolver doces), 1 base de madeira com braço de sustentação ou algo semelhante, fio fino de náilon, fita adesiva, 1 canudinho ou 1 régua, papel toalha ou papel higiênico.

Montagem e Procedimento

Faça uma pequena esfera de papel alumínio e prenda-a com um pedacinho de fita na extremidade do fio. Amarre a outra extremidade do fio no braço de sustentação horizontal, de modo que o mesmo fique suspenso e possa se mover livremente. De maneira geral, o fio de náilon com a esfera de alumínio pode ser pendurado em qualquer local que sirva de suporte. Está montado o pêndulo eletrostático, como representado na Fig.(1.3).

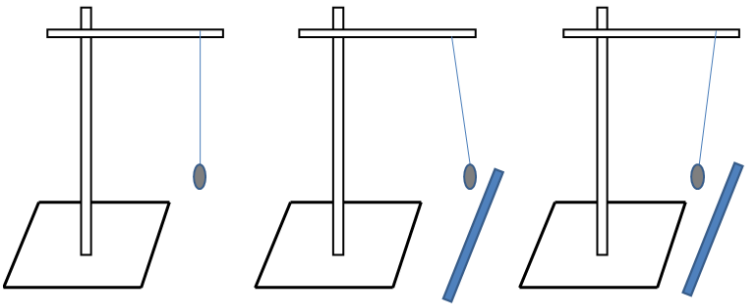

Figura 1.3: Pêndulo eletrostático.

Atritando o canudinho ou régua no papel toalha ou papel higiênico, e aproximando da esfera de alumínio, você observa que esta é atraída. Em seguida,

encostando o canudinho na esfera, você percebe que a mesma é repelida. Se tocar o pêndulo com o dedo ela volta a ser atraída pelo canudinho (Fig.1.3).

Análise e Explicação

Inicialmente a esfera de alumínio está eletricamente neutra, ou seja, com cargas positivas em igual número de cargas negativas. No entanto, quando o bastão eletrizado se aproxima, ocorre uma separação de cargas na esfera, deixando-a num estado chamado polarizado.

No estado polarizado as cargas elétricas de sinais opostas às cargas do bastão ficam mais próximas, enquanto as de mesmo sinal ficam mais afastadas. A esfera é atraída pelo bastão porque a força de atração é maior que a força de repulsão (Fig.1.4-a).

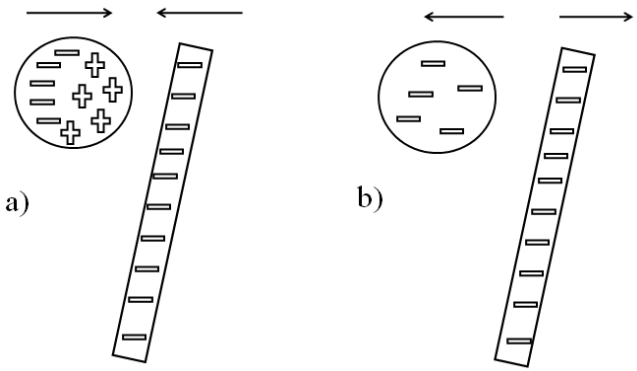

Figura 1.4: a- Atração; b- Repulsão.

Quando a esfera encosta no bastão ocorre a passagem de partículas carregadas entre eles, e ambos adquirem cargas de mesmo sinal (eletrização por contato). Após isso, eles e repelem (Fig.1.4-b).

1.7 Corpo Carregado e Corpo Neutro 1

Objetivo

Verificar a atração entre um corpo eletricamente carregado e um corpo neutro.

Materiais Utilizados

1 balão de borracha.

Montagem e Procedimento

Esfregue o balão cheio de ar no seu cabelo seco e depois o encoste na parede ou no teto. Perceba que o balão fica grudado.

Análise e Explicação

Os cabelos secos são doadores, em potencial, de elétrons, enquanto a borracha e o plástico são ávidos por elétrons, e tendem a extraí-los quando atritados com outras superfícies.

Ao aproximar o balão eletrizado de uma parede eletricamente neutra, as cargas elétricas no balão atraem mais intensamente as cargas de sinal oposto na parede do que repele as de mesmo sinal. Com isso o balão gruda na parede.

1.8 Corpo Carregado e Corpo Neutro 2

Objetivo

Verificar a atração entre um corpo eletricamente carregado e um corpo neutro.

Materiais Utilizados

1 lata de refrigerante vazia, 1 balão de borracha ou 1 régua.

Montagem e Procedimento

Esfregue o balão cheio de ar nos cabelos secos, de modo a eletrizá-lo. Estando a lata numa superfície horizontal, aproxime dela o lado eletrizado do balão. Observe que a lata é atraída pelo mesmo.

Análise e Explicação

O metal da lata (alumínio) possui um grande número de elétrons livres. A lata, como um todo, é eletricamente neutra. Os elétrons livres da lata se afastam do balão, carregado negativamente, quando você o aproxima da lata. A força de atração entre o balão e as cargas positivas fixas superam a força repulsiva entre ele e os elétrons móveis. A força resultante produz um torque que faz a lata girar e segue o balão.

1.9 Eletroscópio de Folhas

Objetivos

Construir e examinar o funcionamento de um eletroscópio de folhas.

Materiais Utilizados

1 pote plástico (ou um recipiente de vidro transparente) com tampa plástica, 1 fio metálico rígido, 1 folha de papel alumínio, 1 esfera metálica.

Montagem e Procedimento

Faça um furo no centro da tampa plástica e passe o fio metálico por esse orifício. Na extremidade do fio que ficará dentro do recipiente faça uma dobra, de modo que nele fique pendurada uma tira dobrada de papel alumínio.

Coloque a tampa no pote e ajuste o fio metálico de modo que a folha de alumínio fique livre no seu interior. Coloque a esfera metálica presa na extremidade superior do fio. Como opcional para a esfera metálica pode-se apenas enrolar um pouco o fio na sua parte superior, aumentando a área de contato. Um esquema do eletroscópio de folhas está na Fig.(1.5).

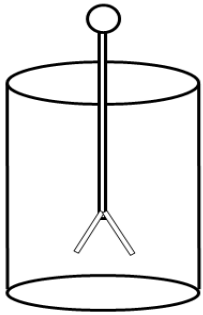

Figura 1.5: Eletroscópio de folhas.

Aproxime um corpo eletrizado da esfera condutora e perceba que as folhas de alumínio se afastam. Se o eletroscópio estiver carregado e nele for aproximado um corpo eletrizado com carga de mesmo sinal, as folhas se afastam ainda mais. Se o corpo eletrizado aproximado tiver carga de sinal contrário as folhas de fecham.

Análise e Explicação

Para verificar se um corpo está ou não eletrizado basta aproximá-lo da esfera do eletroscópio (só aproximar, não encostar). Se o corpo estiver neutro nada ocorrerá no eletroscópio, mas se ele estiver eletrizado, com carga positiva ou negativa, a esfera ficará carregada, por indução, com carga de sinal oposto ao da carga desse corpo. Já as lâminas metálicas, localizadas na outra extremidade da haste, se eletrizarão com cargas de mesmo sinal que a do corpo, o que provocará a repulsão entre elas, fazendo com que se afastem uma da outra.

Pelo processo descrito conseguimos saber apenas se o corpo está eletrizado ou não, mas não identificamos o sinal da carga elétrica. Para isso, inicialmente devemos carregar o eletroscópio com uma carga elétrica de sinal conhecido, o que faz com que as folhas se afastem um pouco. Após isso aproximamos da esfera do eletroscópio o corpo eletrizado, cujo sinal da carga se deseja descobrir. Se o corpo estiver eletrizado com carga de mesmo sinal que o da existente

no eletroscópio as folhas de afastarão ainda mais. Se o corpo tiver carga de sinal oposto à existente no eletroscópio, as folhas se aproximarão.

Considere o eletroscópio inicialmente carregado negativamente. A aproximação de um corpo também carregado negativamente provocará o deslocamento de mais elétrons livres da esfera para as lâminas, fazendo com que elas se afastem ainda mais. Se o corpo estiver carregado positivamente ocorrerá uma concentração maior de elétrons na esfera. A subida parcial dos elétrons das folhas para a esfera fará com que as folhas se aproximem um pouco.

1.10 Eletroscópio e Eletrização

Objetivos

Construir um eletroscópio simples e mostrar os processos de eletrização por contato e por indução.

Materiais Utilizados

1 suporte de madeira, 2 canudinhos de plástico grande, cartolina, tiras de seda (essas que existem em algumas balas de coco), fita adesiva, papel toalha.

Montagem e Procedimento

Corte um pedaço retangular e um disco de cartolina, faça uma pequena dobra na parte superior do pedaço retangular e nele cole o disco. Prenda a cartolina num canudinho e fixe-o na base de madeira, de modo que o conjunto fique na vertical. Com o auxílio da fita adesiva prenda a tirinha de papel de seda na região central do retângulo de cartolina. Está montado o eletroscópio (Fig.1.6).

Após atritar o outro canudinho de plástico com o papel toalha, aproxime-o do eletroscópio, por cima do disco. Observe, dessa forma, que a lâmina de seda se elevará. Afastando o canudinho do disco, a lâmina abaixa, voltando a se aproximar da placa.

Aproxime novamente o canudinho carregado do disco do eletroscópio e toque-o com os dedos, segurando-o pressionado fortemente por um pequeno

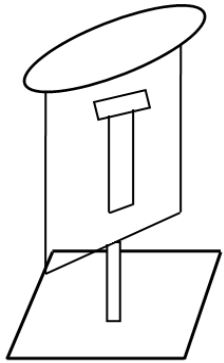

Figura 1.6: Eletroscópio.

período. Após isso solte o disco e, em seguida, afaste o canudinho. Você verificará que a lâmina de seda se levanta.

Carregando novamente o canudinho através do atrito com o papel toalha, aproxime-o do eletroscópio, desta vez encostando e esfregando no disco. Observe que a lâmina se levantará em linha reta e permanecerá elevada, mesmo depois do canudinho ser afastado. Tocando o disco do eletroscópio com o dedo, a lâmina abaixará em seguida.

Análise e Explicação

Consideremos novamente que no atrito com o papel toalha o canudinho ficou eletrizado negativamente. Aproximando-o do eletroscópio, a lâmina de seda se levanta, devido ao fato das cargas negativas da mesma terem sido repelidas pelo canudinho, concentrando-se na parte inferior da placa e da lâmina. Dessa forma, tendo cargas de mesmo sinal, a lâmina é repelida pela placa e se afasta dela. Afastando o canudinho carregado do disco, as cargas elétricas voltam a se redistribuir como de início, e a lâmina de seda volta à posição normal (Fig.1.7).

No segundo momento, quando se aproxima o bastão carregado negativamente do eletroscópio e segurando o disco com a mão, as cargas elétricas ne-

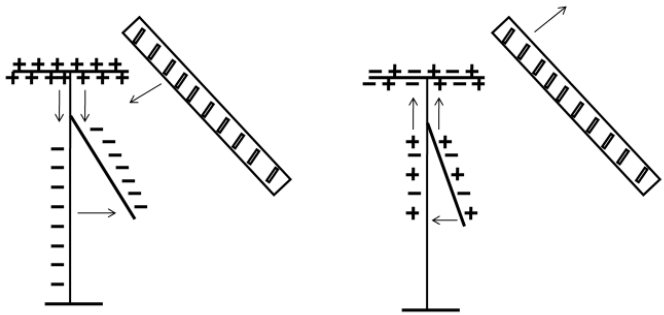

Figura 1.7: Elevação e abaixamento da lâmina de seda.

gativas do eletroscópio tendem a se afastar do canudinho, acabando por escoar pelas mãos do experimentador. Ao retirar a mão do disco, impedimos que as partículas que se deslocaram voltem ao eletroscópio. O eletroscópio ficou carregado positivamente. Enquanto não afastamos o canudo do disco, as cargas positivas se mantém concentradas praticamente na parte superior do eletroscópio. Como a parte inferior permanece neutra, a lâmina fica encostada na placa. Ao afastar o canudo eletrizado as cargas elétricas positivas se redistribuem por todo o eletroscópio e a lâmina acaba sendo repelida pela placa. Através desse processo o eletroscópio fica carregado por indução, e sempre adquire carga elétrica de sinal oposto ao bastão carregado.

Quando o bastão carregado é encostado no disco do eletroscópio ocorre a passagem de carga elétrica do bastão para o eletroscópio. Nesse processo de eletrização, denominado eletrização por contato, o corpo eletrizado, neste caso o eletroscópio, adquire carga de mesmo sinal que o corpo que o eletriza (o bastão carregado). Considerando que o bastão estava carregado negativamente, o eletroscópio também ficou carregado com cargas negativas. A lâmina e a placa ficaram com cargas elétricas de mesmo sinal e por isso sofrem uma força de repulsão.

Quando tocamos o eletroscópio carregado com os dedos, ele acaba se descarregando e a lâmina abaixa. Considerando que o eletroscópio estava carre-

gado negativamente, quando encosta-se os dedos, o excesso de cargas negativas flui para o dedo e para o corpo da pessoa (um corpo bem maior) e daí, talvez para a terra. Voltando o eletroscópio ao estado eletricamente neutro, a lâmina volta à sua posição normal.

1.11 Garrafa de Leiden

Objetivo

Construir o capacitor conhecido como garrafa de Leiden.

Materiais Utilizados

1 pote plástico com tampa, 1 pedaço de papel alumínio, 1 vareta com esfera metálica na ponta, supercola.

Montagem e Procedimento

Revista as paredes internas e externas do pote com papel alumínio, colando-o na parede. As folhas internas e externas devem ser independentes. Fure a tampa do pote no seu centro, de modo que por ela passe a vareta. Quando fechada a tampa, a vareta metálica deve encostar no fundo interno do pote, o qual também está revestido de papel alumínio. Um esquema da constituição da garrafa de Leiden está na Fig.(1.8).

Com a mão envolvendo o alumínio da parte externa, aproxime a esfera da garrafa num gerador de Van der Graaf ou outro dispositivo de carregamento eletrostático, e segure-a por um certo tempo. Depois afaste do gerador e encoste a esfera numa outra pessoa (com o consentimento desta).

Análise e Explicação

O primeiro dispositivo construído para armazenar carga elétrica foi a garrafa de Leiden, construída em meados do século XVIII em Leiden, Holanda, pelo físico Petrus Van Musschenbroek.

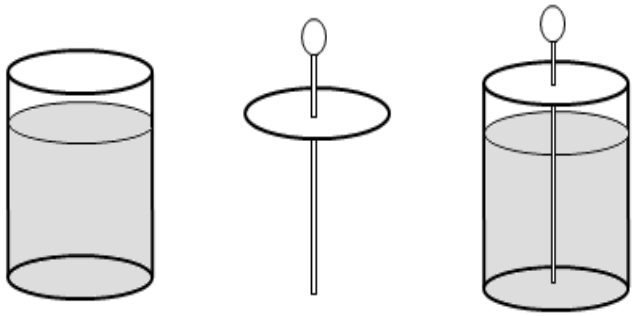

Figura 1.8: Esquema da garrafa de Leiden.

Originalmente a garrafa de Leiden era um recipiente de vidro contendo água no seu interior e um fio condutor submerso nessa água. O fio funcionava como um terminal interno e a mão da pessoa que segurava a garrafa funcionava como terminal externo. Com esse dispositivo era possível armazenar energia em quantidade suficiente para produzir faíscas elétricas.

Apesar de conseguir armazenar pequenas quantidades de carga elétrica, a garrafa de Leiden serviu de base para o desenvolvimento dos modernos capacitores (condensadores).

1.12 Eletróforo de Volta

Objetivo

Construir um eletróforo de Volta.

Materiais Utilizados

1 disco de papelão, 1 cabo isolante de madeira ou plástico, 1 folha de papel alumínio (pode substituir o disco de papelão e a folha de papel por um disco de alumínio), 1 folha espessa de plástico, tecido de lã ou seda, supercola.

Montagem e Procedimento

Cubra uma das faces do disco de papelão com papel alumínio deixando uma sobra em seu contorno, a qual deve ser dobrada e colada na outra face. Na superfície oposta à revestida com alumínio fixe com cola o cabo isolante de tal modo que, quando segurado pelo cabo a sua mão fique distante da borda do papel alumínio. Está construído o eletróforo de Volta, cujo esquema está representado na Fig.(1.9).

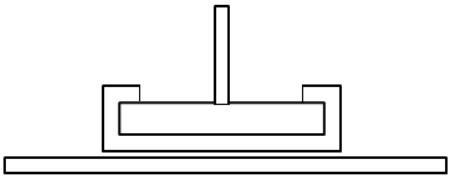

Figura 1.9: Esquema do eletróforo de Volta.

Estando a superfície de plástico disposta sobre a mesa, atrite-a com lã, de modo à eletrizá-la. Em seguida apoie o eletróforo sobre o plástico, segurando-o pelo cabo isolante. Com o alumínio ainda encostado sobre o plástico, toque o papel alumínio da borda superior com seu dedo (Fig.1.10). Desencoste o dedo do alumínio e afaste o eletróforo do plástico. Dessa forma o disco está eletrizado e sua carga poderá ser utilizada em alguns experimentos, tais como no pêndulo eletrostático, entre outros.

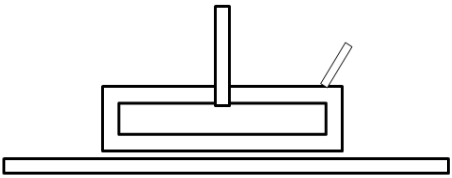

Figura 1.10: Tocando o papel alumínio com o dedo.

Coloque dois dedos da sua mão, um próximo do disco e o outro do plástico e observe a produção de faíscas. Para recarregar o eletróforo basta repetir o procedimento anterior, mas sem a necessidade de eletrizar novamente o plástico, pois ele não perdeu a sua carga (desde que o ambiente esteja bem seco).

Análise e Explicação

O eletróforo de Volta é um gerador eletrostático de pequeno porte, mas muito útil em experimentos, principalmente devido à sua simplicidade.

Ao ser atritado com a lã a folha do plástico fica eletrizada. Ao colocar o disco metálico (pode ser metálico ou apenas revestido) sobre a folha de plástico, ele sofre o efeito da indução eletrostática. As cargas elétricas se separam: as de mesmo sinal que as do plástico vão para a parte superior do disco (bordas de alumínio) e as de sinais contrários ficam acumuladas na face inferior, rente ao plástico. Ao encostar o dedo na parte superior as cargas com sinal igual as do plástico fluem para o corpo da pessoa. Ao retirar o dedo a situação se mantém e, separando-se o disco do plástico, o disco fica carregado eletricamente, com carga de sinal contrário a do plástico.

Com isso concluímos que a carga elétrica que carrega o eletróforo não veio do plástico e sim por intermédio do seu corpo. O plástico eletrizado funciona como uma fonte de energia e não perde sua força quando atrai as cargas contrárias do papel alumínio que recebe o disco do eletróforo. A energia adquirida pelo eletróforo vem do trabalho realizado pela pessoa para afastar o disco do plástico. Esse trabalho fica armazenado no disco sob forma de energia potencial eletrostática.

1.13 Pêndulo Cônico Eletrostático

Objetivo

Construir um pêndulo cônico eletrostático.

Materiais Utilizados

1 bolinha de tênis de mesa, papel alumínio (desses que estão envoltos em alguns doces), 1 pedaço de barbante, 1 pedaço de lã.

Montagem e Procedimento

Atrite a bolinha de tênis de mesa com a lã, de modo que ela fique eletrizada. Com o papel alumínio faça uma pequena bolinha e nela prenda o barbante, de modo a formar um pêndulo.

Coloque a bolinha de tênis de mesa sobre uma superfície e nela encoste a bolinha de alumínio. A bolinha de tênis de mesa vai sendo eletrizada com cargas de mesmo sinal, e elas vão se repelir. Depois de estar suficientemente carregado, coloque a esfera do pêndulo à girar sobre a bolinha de tênis de mesa. Observe que o pêndulo vai executar um movimento cônico, como representado na Fig.(1.11).

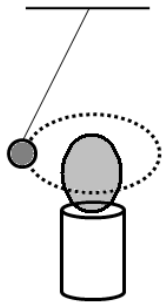

Figura 1.11: Pêndulo cônico.

Análise e Explicação

O pêndulo descreve um movimento cônico, pois a esfera de alumínio é constantemente repelida pela bolinha de tênis de mesa, já que ambas tem carga elétrica de mesmo sinal.

1.14 Eletrizando uma Pessoa

Objetivo

Eletrizar uma pessoa a um potencial elétrico de milhares de Volts.

Materiais Utilizados

1 gerador de Van der Graaf[2], 1 banco isolante (o vidro é um bom isolante, que pode ser usado como base inferior para o banco), 1 pessoa.

Montagem e Procedimento

Coloque a pessoa sobre o banco isolante, encostando as duas mãos no gerador, o qual é ligado em seguida. A pessoa vai sendo carregada junto com o gerador. Se a pessoa tiver cabelo comprido, e que esteja bem seco, ele ficará todo arrepiado. Se ela enconstar a mão em outra pessoa, esta receberá um leve choque.

Análise e Explicação

O gerador vai carregando e vai transferindo as cargas elétricas para a pessoa. Como a pessoa está isolada eletricamente do meio externo, o seu potencial elétrico vai aumentando, podendo chegar até alguns milhares de Volts.

O cabelo da pessoa eletrizada se arrepia todo porque cada fio fica carregado com carga de mesmo sinal, tendendo a se afastar um do outro. Ao encostar-se numa outra pessoa, devido à diferença de potencial, ocorre a passagem de uma pequena corrente elétrica por elas, provocando um leve choque.

[2]Se você não dispor de um gerador de Van der Graaf, você poderá, com um pouco de esforço, construir um dele. Existem diversas referências bibliográficas em que você pode encontrar o procedimento detalhado para isso, como por exemplo, o site feira de ciências (`www.feiradeciencias.com.br`).

1.15 Televisor como Fonte de Alta Tensão

Objetivos

Utilizar um televisor de tubo como uma fonte de alta tensão para experimentos de eletrostática.

Materiais Utilizados

1 televisor de tubo, 1 pedaço de papel alumínio, 1 fio condutor, fita adesiva, 1 clipe.

Montagem e Procedimento

Revista quase toda a tela do televisor com uma folha de papel alumínio, deixando os cantos desta arredondados. Prenda as laterais da folha com fita, de modo que o alumínio fique bem liso e encostado na tela (alise-o se for necessário). Fixe com o clipe o fio condutor num dos cantos da folha de alumínio. Esse fio pode ser utilizado como uma fonte de alta tensão em experimentos de eletrostática.

Utilize preferencialmente uma televisão preto e branco das mais antigas, que praticamente não se usa mais. A cada pouco tempo ligue e desligue o televisor.

Análise e Explicação

O televisor adquire em sua tela uma grande quantidade de carga elétrica negativa (elétrons) nos momentos de ligar e de desligar. Essas cargas são captadas pela folha metálica e conduzidas pelo fio. O acúmulo de cargas no fio faz com que ele adquira um elevado potencial elétrico.

1.16 Cargas num Condutor Esférico

Objetivo

Verificar a distribuição de cargas num condutor esférico.

Materiais Utilizados

Uma esfera metálica oca (esta pode ser feita dobrando uma lata com outro formado), 1 suporte isolante, 1 esfera metálica pequena com cabo isolante, 1 eletróforo de Volta, 1 pêndulo eletrostático ou 1 eletroscópio de folhas.

Montagem e Procedimento

Inicialmente carregue a esfera metálica, disposta sobre um suporte ou superfície isolante, utilizando um eletróforo de Volta ou um gerador de Van der Graaf, ou através de algum outro procedimento. Como exemplo deste último pode-se realizar o atrito entre um bastão de plástico e um pedaço de lã e encostar o bastão diversas vezes na lata.

Encoste a esfera metálica pequena, denominada esfera de prova, na parte interna da esfera. Em seguida retire-a e aproxime-a do pêndulo eletrostático, e constate que ela não está carregada eletricamente.

Realize o mesmo procedimento, mas agora encostando a esfera de prova na parte externa da esfera oca. Pelos métodos já descritos você perceberá que a esfera de prova ficará carregada. Um esquema da montagem e da realização do experimento está na Fig.(1.12).

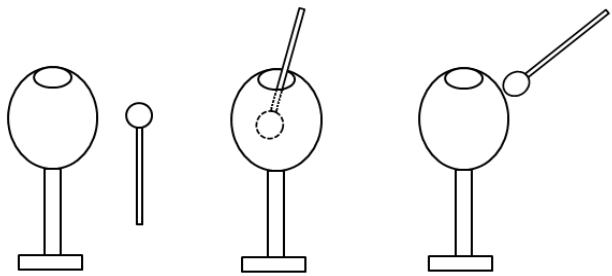

Figura 1.12: Distribuição de cargas num condutor esférico.

Análise e Explicação

No interior de um condutor em equilíbrio eletrostático não há movimento ordenado de cargas elétricas, pois não há uma agente causador do movimento, ou seja, uma diferença de potencial elétrico entre dois pontos quaisquer. O potencial elétrico permanece constante.

Na parte interna do condutor o campo elétrico é nulo. Se caso não fosse nulo os elétrons sofreriam a ação de uma força e se movimentariam, gerando uma corrente elétrica.

Estando o condutor eletrizado, as cargas elétricas se situam na sua superfície, pois sofrem repulsão mútua e tendem a ficar o mais longe possível umas das outras. Nessa região o campo elétrico não é nulo e os vetores campo elétrico $\vec{E}$ tem direções perpendiculares à superfície.

1.17 Cargas na Superfície

Objetivo

Observar como se distribuem as cargas elétricas na superfície de um corpo.

Materiais Utilizados

papel cartolina, 3 canudinhos de refrigerante, papel de bala, fita adesiva, pedaço de lã.

Montagem e Procedimento

Prenda ou amarre um pedaço de papel cartolina em dois canudinhos de refrigerante. Com fita adesiva prenda uma fitinha de papel de bala em cada lado da cartolina. Eletrize a cartolina por contato com um canudinho atritado com papel, por exemplo. Mantenha a cartolina esticada e perceba que as duas fitas começam a se erguer, sendo repelidas pela cartolina. Curve a cartolina, de modo a formar um cilindro, e perceba que agora somente a fita externa fica erguida. Um esquema da montagem e do procedimento deste experimento está representado na Fig.(1.13).

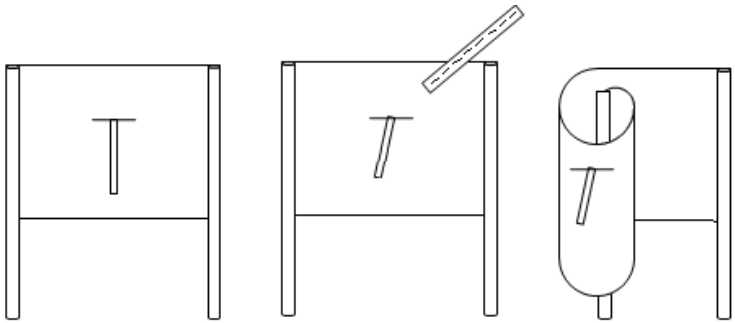

Figura 1.13: Distribuição de cargas na superfície de um corpo.

Análise e Explicação

Nos condutores eletrizados as cargas elétricas tendem a se concentrarem nas suas superfícies, já que elas procuram se afastar o máximo uma da outra. E isso independe se o condutor é maciço ou oco.

O formato do condutor influenciará na distribuição das cargas na sua superfície externa. No caso de um condutor esférico, a distribuição de cargas é uniforme, mas se o condutor tiver superfície irregular, a concentração de cargas será maior nas regiões pontiagudas.

1.18 Blindagem Eletrostática

Objetivo

Verificar o fenômeno da blindagem eletrostática.

Materiais Utilizados

1 placa de isopor, 1 peneira de plástico, 1 peneira de metal, 1 régua ou bastão de plástico, 1 pedaço de lã, papel picado.

Montagem e Procedimento

Coloque um pouco de papel picado sobre a placa de isopor e aproxime deles a régua ou bastão atritado com a lã. Como sabemos, a régua atrairá os pequenos pedaços de papel.

Entre a régua e os pedaços de papel coloque uma pequena peneira de plástico (Fig.1.14). Se esta peneira estiver bem limpa e seca você verá que os pedaços de papel continuarão a ser atraídos pela régua eletrizada.

Figura 1.14: Peneira de plástico.

Substitua a peneira de plástico pela peneira metálica (Fig.1.15). Repita o mesmo procedimento e constate que neste caso os pedaços de papel não serão atraídos pela régua eletrizada.

Figura 1.15: Peneira de metal.

Análise e Explicação

A peneira metálica produz uma blindagem eletrostática sobre os pedaços de papel, impedindo que estes sofram a ação do campo elétrico produzido pela régua eletrizada.

Uma região do espaço, quando envolta por um condutor elétrico, torna-se livre da ação de campos elétricos criados por cargas elétricas externas. O campo elétrico no interior de um condutor em equilíbrio é sempre nulo.

1.19 Desviando um Filete de Água

Objetivo

Observar o desvio de um filete de água quando nele for aproximado um corpo carregado eletricamente.

Materiais Utilizados

1 torneira de água (em funcionamento), 1 bastão de plástico, 1 pedaço de lã.

Montagem e Procedimento

Atrite o bastão de plástico com a lã, de modo a eletrizá-lo, e aproxime-o de um filete de água oriundo da torneira[3]. Observe que o filete acaba sendo atraído pelo bastão, curvando a sua trajetória, como mostra a Fig.(1.16).

Análise e Explicação

Quando aproximado do filete de água as cargas elétricas em excesso na superfície do material carregado irão atraí-lo. Isso ocorre porque as moléculas de água (H_2O) tem formato angular, o que leva ao aparecimento de polos elétricos (são moléculas polares), como representado no esquema da Fig.(1.17).

[3] O filete de água pode também ser obtido através de um furo em uma garrafa feito com uma agulha ou um prego.

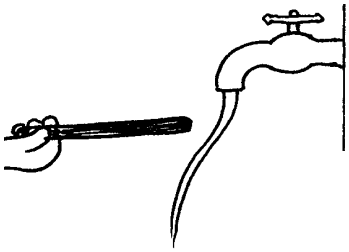

Figura 1.16: Desvio de um filete de água.

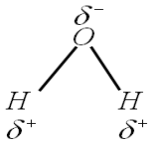

Figura 1.17: Estrutura da molécula de H_2O e presença de pólos elétricos.

Através da indução as cargas do bastão irão organizar as moléculas da água, permitindo que haja o desvio do filete de água, devido à atração entre cargas elétricas de sinais opostos.

1.20 Lâmpada Fluorescente e Atrito

Objetivo

Acender uma lâmpada fluorescente através do atrito.

Materiais Utilizados

1 lâmpada fluorescente (pode ser uma lâmpada queimada), 1 tubo de PVC, 1 papel toalha ou 1 flanela.

Montagem e Procedimento

Esfregue o tubo de PVC com o papel toalha ou a flanela. Num ambiente escuro aproxime o tubo da lâmpada fluorescente e perceba que ela se ilumina. Você também pode iluminar a lâmpada usando luvas de proteção, segurando com uma mão uma das extremidades e esfregando a lâmpada com a outra mão, em movimentos de vai e vem (envolva a lâmpada com a luva).

Análise e Explicação

A lâmpada fluorescente é formada por um tubo de vidro lacrado, cujas paredes internas são recobertas com pó de fósforo. No tubo há vapor de mercúrio rarefeito e um gás inerte (geralmente argônio), mantido a baixa pressão.

Ao ser atritado o tubo de PVC fica carregado negativamente e a lâmpada fica carregado positivamente. A aproximação do tubo de PVC da lâmpada, ou o atrito da própria lâmpada, faz com que as cargas elétricas acumuladas em sua parede de vidro produza um campo elétrico intenso o bastante para acelerar alguns elétrons livres em seu interior. Esses poucos elétrons acelerados se chocam com os átomos de mercúrio e arrancam elétrons ligados a eles, desencadeando um processo que acaba gerando mais elétrons livres. Tais elétrons colidem com outros átomos neutros de mercúrio que se encontram pelo caminho e transferem energia para eles. Alguns elétrons ligados a esses átomos são promovidos para níveis de mais alta energia. Os elétrons excitados retornam ao seu estado de mais baixa energia com a emissão de luz ultravioleta. A luz ultravioleta emitida pelos átomos de mercúrio incide na parede revestida de pó de fósforo, produzindo luz visível num processo chamado fosforescência.

1.21 Condutores e Isolantes Elétricos

Objetivo

Verificar se diferentes materiais são condutores ou isolantes elétricos.

Materiais Utilizados

1 pilha (ou 2 pilhas associadas em série, ou qualquer outra fonte de corrente contínua de baixa tensão), 1 lâmpada (compatível com a tensão da fonte[4]), 2 fios condutores, 1 prego, 1 clipe, 1 régua, 1 borracha, 1 pedaço de papel, 1 lápis, entre outro objetos.

Montagem e Procedimento

Ligue cada um desses objetos em série num circuito com a fonte e a lâmpada. Se o material que constitui o objeto utilizado for condutor a lâmpada se acende. Se o material for isolante, a lâmpada não acende. Um esquema da montagem do experimento está na Fig.(1.18).

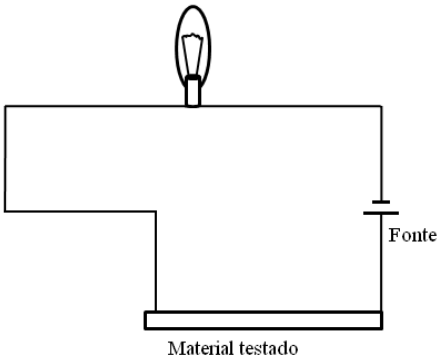

Figura 1.18: Testando se um material é condutor ou isolante elétrico.

Análise e Explicação

Dependendo da capacidade de conduzir cargas elétricas os materiais podem ser classificados em condutores e isolantes elétricos.

[4]Em toda lâmpada vem impresso a tensão e a potência. Por exemplo, uma lâmpada que tem os valores $5W - 1,5V$, significa que ela opera com $5W$ de potência quando submetida a uma tensão de $1,5V$.

Um material é chamado de condutor elétrico quando há nele grande quantidade de portadores de carga elétrica que podem se movimentar com facilidade. Os portadores de carga podem ser elétrons livres, como os existentes nos metais, ou íons positivos e negativos, presentes em soluções eletrolíticas. Isso faz com que o material conduza facilmente uma corrente elétrica. Como exemplo de condutores elétricos podemos citar todos os metais.

Os isolantes elétricos não conduzem corrente elétrica e são chamados também de dielétricos. Como exemplo de isolantes elétricos temos o vidro, o ar, a borracha, o plástico, a porcelana, a água pura, etc.

1.22 Condução Eletrolítica em Sólidos

Objetivo

Demonstrar o fenômeno da condutividade eletrolítica em sólidos.

Materiais Utilizados

1 fonte de tensão alternada ($110V$ ou $220V$), 1 lâmpada incandescente (compatível com a tensão da fonte), 1 bico de Bunsen, fio metálico (ou fio de bobina grosso no qual foi retirado o esmalte), 1 tubo de vidro.

Montagem e Procedimento

Pegue o tubo de vidro e enrole nele dois pedaços de fio condutor, de modo que fiquem um pouco afastados ($0,5cm$) do centro do tubo (os dois pedaços de fios não são interligados). Conecte este circuito à fonte elétrica e em série com ele a lâmpada incandescente. Coloque o bico de Bunsen de modo que sua chama incida no tubo de vidro na região compreendida entre os dois fios.

Um esquema da montagem do experimento está representada na Fig.(1.19).

Acenda a chama do bico de Bunsen e ligue o circuito à rede elétrica. Inicialmente parece que não ocorre nada, mas depois de um curto intervalo de tempo observe o surgimento de faíscas entre os fios e que a lâmpada começa a brilhar (a intensidade da lâmpada começa fraca e vai aumentando. Após

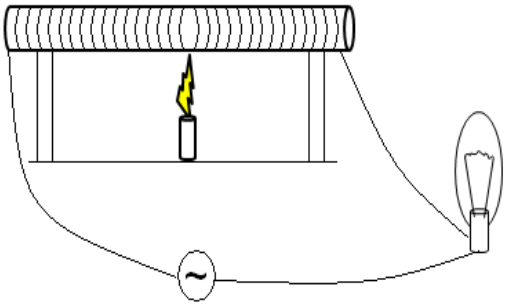

Figura 1.19: Condução elétrica do vidro.

um certo tempo pode-se retirar a chama sem que a corrente pare de fluir pelo circuito. Decorrido um tempo maior o tubo de vidro pode acabar fundindo.

Análise e Explicação

Sendo um isolante, a condutividade elétrica do vidro não se baseia no movimento dos elétrons, como ocorre nos metais. Ela baseia-se no movimento dos íons, cujo fenômeno é chamado de condutividade eletrolítica. Somente em alta temperatura o vidro permite que esse fenômeno ocorra.

1.23 Corrente Elétrica num Meio Eletrolítico

Objetivo

Verificar a condução de eletricidade num meio eletrolítico.

Materiais Utilizados

1 fonte de baixa tensão, 1 lâmpada (compatível com a tensão da fonte), 1 recipiente de vidro ou plástico transparente, fios condutores, sal de cozinha (cloreto de sódio), açúcar, água.

Montagem e Procedimento

Conecte a lâmpada em série com a fonte e deixe o circuito aberto, de modo que duas pontas do fio condutor (terminais) possam ser introduzidas dentro do recipiente. Despeje água no recipiente e na água coloque os dois terminais, de modo que eles não encostem um no outro. Um esquema do experimento está na Fig.(1.20).

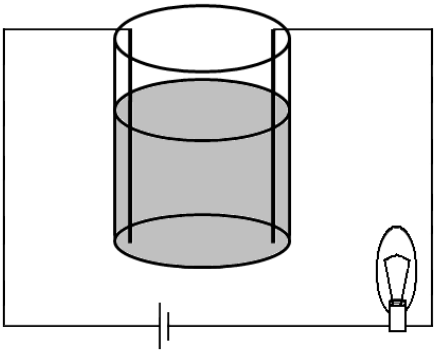

Figura 1.20: Condução eletrolítica.

Verifique se a lâmpada liga ou não. Em seguida adicione sal na água e observe se ocorre alguma diferença. Repita o mesmo experimento, substituindo o sal pelo açúcar.

Análise e Explicação

A água pura não conduz corrente elétrica[5], mas quando nela é dissolvido cloreto de sódio ($NaCl$), formando uma solução eletrolítica, ela passa a conduzir.

Numa solução aquosa os íons Na^+ e Cl^- que formam os retículos cristalinos são separados pelas moléculas de água, ficando livres na solução e con-

[5] A água comum conduz corrente elétrica, quando submetida à voltagens altas, devido aos minerais que nela estão dissolvidos.

duzindo corrente elétrica. Esse processo recebe o nome de dissociação iônica e é representado pela equação

$$NaCl_{(s)} \xrightarrow{H_2O} Na^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

A solução de açúcar não conduz corrente elétrica porque, diferentemente do $NaCl$, que é uma substância iônica (formado por ligações iônicas) o açúcar é uma substância molecular (formado por ligações moleculares) e em solução não origina entidades com carga elétrica.

1.24 Isolante que não é isolante

Objetivo

Demonstrar que certos objetos que consideramos serem isolantes elétricos, não são em certas situações.

Materiais Utilizados

1 eletroscópio (do Exp.1.10), 1 canudinho de plástico, 1 papel toalha, 1 borracha, 1 palito de madeira, 1 régua de acrílico, 1 pedaço de arame (ou metal semelhante), outros objetos de interesse.

Montagem e Procedimento

Eletrize o canudinho de plástico atritando-o com o papel toalha. A seguir, esfregue-o no disco do eletroscópio, eletrizando este por contato. Se necessário, repita o procedimento diversas vezes.

Estando o eletroscópio eletrizado, no qual se verifica a haste de seda levantada, encoste diferentes objetos no seu disco, segurando-os pela mão. Se o objeto for isolante, o eletroscópio não descarrega, e a lâmina se mantém erguida. No entanto, se o objeto for condutor, o eletroscópio descarrega e a haste abaixa.

Constate que o eletroscópio descarrega com o contato da maioria dos materiais, com exceção de alguns poucos, como o plástico, o náilon e o acrílico.

Análise e Explicação

O que é surpreendente neste experimento é que alguns materiais considerados inicialmente isolantes elétricos, como a madeira, o papel e a borracha, por exemplo, não se comportam como tal, e acabam descarregando o eletroscópio.

É importante inicialmente esclarecer que não existe um material isolante perfeito. O que há são os bons e os maus condutores de eletricidade. Materiais que, nas instalações elétricas do cotidiano se comportam como bons isolantes, como a borracha, quando submetidos à altas tensões tornam-se condutores.

Nos circuitos elétricos comuns a tensão ou diferença de potencial elétrica existente varia de $110V$ a $220V$. Já nas experiências eletrostáticas, esse valor chega facilmente a alguns milhares de Volts. No entanto, apesar de a tensão ser alta, a quantidade de carga elétrica movimentada é sempre pequena, não oferecendo perigo.

1.25 Utilizando um Multímetro

Objetivo

Aprender a manusear um multímetro.

Materiais Utilizados

1 multímetro.

Montagem e Procedimento

O multímetro é um instrumento que tem como finalidade medir grandezas elétricas, como a tensão, a corrente e a resistência. Na Fig.(1.21) temos a imagem de um multímetro digital.

Pegue o multímetro e analise a sua estrutura, olhe os seus terminais de entrada, as pontas de prova, a chave rotativa de seleção e as escalas. Depois coloque-o para funcionar, efetuando algumas medidas. Procure trabalhar sempre com tensões elétricas baixas, evitando o risco de choque elétrico.

Figura 1.21: Multímetro digital.

Mas antes de utilizar o equipamento é muito importante estudar o seu manual. Existem diversos tipos de multímetros, mas praticamente todos têm a mesma base de funcionamento.

Análise e Explicação

Os instrumentos de medidas servem para mensurar grandezas físicas. O multímetro é um aparelho que incorpora diversos instrumentos de medida, tendo como padrão o voltímetro, o amperímetro e o ohmímetro, e como opcionais o capacímetro, o termômetro, o frequencímetro, entre outros.

Os valores podem ser obtidos de forma analógica ou digital. No instrumento analógico o resultado é mostrado por um ponteiro que deflete sobre uma escala graduada, sendo que a leitura é feita comparando o valor indicado e o fundo de escala selecionado. No instrumento digital o resultado é mostrado

diretamente num *display*, conforme o valor de fundo de escala selecionado.

Seja analógico ou digital, o multímetro possui dois ou mais terminais de entrada nos quais são ligadas as pontas de provas. A ponta de prova vermelha deve ser ligada ao terminal positivo do multímetro (terminal positivo pode ter mais do que um, devendo ser conectado naquele apropriado para se fazer determinada medida) e a ponta de prova preta deve ser ligada ao terminal negativo do multímetro (geralmente existe apenas um).

Os multímetros possuem alguns controles, sendo o principal a chave rotativa para a seleção da grandeza a ser medida com os respectivos valores de fundo de escala. Por precaução, ao selecionar uma escala sempre selecione a maior, quando não se sabe o valor aproximado a ser medido. As medidas obtidas nesse momento lhe indicarão se há a possibilidade de diminuir a escala e, com isso, melhorar a precisão da leitura. Nos multímetros modernos a chave rotativa não existe, sendo o ajuste feito de maneira automática.

Nunca mude de escala com o multímetro fazendo a medição. Antes de girar a chave seletora separe as pontas de prova do lugar medido, depois mude a escala, e então volte a fazer a medida. Maiores detalhes da utilização de um multímetro serão dados nos experimentos seguintes.

1.26 Utilizando um Voltímetro

Objetivo

Medir uma tensão elétrica ou diferença de potencial (ddp) com um multímetro.

Materiais Utilizados

1 multímetro (que pode funcionar como voltímetro), 1 pilha, 1 bateria, 1 tomada (da rede elétrica convencional).

Montagem e Procedimento

Para que o multímetro funcione como voltímetro, selecione uma das escalas para medida de tensão, em corrente contínua (CC) ou corrente alternada

(CA). Para medir a tensão ligue os terminais do voltímetro em paralelo com o circuito, nos pontos em que se deseja conhecer a ddp, como mostra o esquema da Fig(1.22).

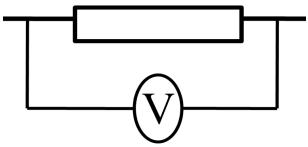

Figura 1.22: Medida de tensão elétrica.

Meça a diferença de potencial entre os polos da pilha, da bateria e da tomada da rede elétrica convencional. Lembre-se que a pilha e a bateria são fontes de CC e a rede elétrica convencional funciona com CA. Tome cuidado em efetuar a medida de tensão na tomada. Introduza as pontas de prova do multímetro nos terminais da mesma, segurando-as pela parte isolante (jamais encoste na ponta metálica nessa situação).

Análise e Explicação

O voltímetro é o instrumento utilizado para medir a tensão elétrica entre dois pontos de um circuito elétrico. Se a tensão a ser medida for contínua (CC) o polo positivo do voltímetro deve ser ligado ao ponto de maior potencial e o polo negativo ao ponto de menor potencial. Com isso, o voltímetro indicará um valor positivo de tensão. Se as ligações dos terminais do voltímetro estiverem invertidas, no digital o *display* indicará um valor negativo, e no analógico o ponteiro tentará defletir no sentido contrário, podendo danificá-lo.

Se a tensão a ser medida for alternada (CA) os polos positivo e negativo do voltímetro podem ser ligados ao circuito sem levar em conta a polaridade, e o mesmo registrará uma medida sempre positiva.

A resistência interna de um voltímetro ideal é bem elevada, com o objetivo de impedir que a corrente elétrica do circuito passe por ele, de modo a não interferir na medida.

1.27 Utilizando um Amperímetro

Objetivo

Medir a intensidade de corrente elétrica num circuito com um multímetro.

Materiais Utilizados

1 multímetro (que pode funcionar como amperímetro), 1 pilha ou 1 bateria, 1 lâmpada (compatível com a tensão da fonte escolhida), cabos conectores.

Montagem e Procedimento

Para que o multímetro funcione como amperímetro selecione uma das escalas para medida de corrente (CC ou CA). Abra o circuito num ponto desejado e ligue o amperímetro em série, de modo que a corrente passe por ele (Fig.1.23). A corrente que passa por um dispositivo pode ser medida antes ou depois dele, pois ela é a mesma.

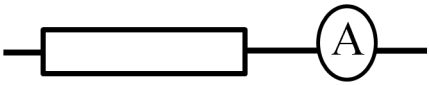

Figura 1.23: Medida de corrente elétrica.

Faça um circuito com a pilha (ou bateria) e a lâmpada e conecte o amperímetro em série com o mesmo, medindo a intensidade de corrente elétrica que passa por ele.

Nunca coloque o amperímetro em paralelo com um componente energizado, pois isso pode danificá-lo seriamente.

Análise e Explicação

O amperímetro é o instrumento utilizado para medir a corrente elétrica que atravessa um condutor ou um dispositivo. Se a corrente a ser medida for

contínua (CC), o polo positivo do amperímetro deve ser ligado ao ponto pelo qual a corrente convencional entra e o polo negativo ao ponto pelo qual ela sai. Dessa forma, o amperímetro indicará um valor positivo. Estando a ligação dos terminais invertida, o amperímetro digital indicará um valor negativo, e no analógico o ponteiro tentará defletir no sentido contrário, podendo danificá-lo.

Se a corrente a ser medida for alternada (CA) os polos positivo e negativo do amperímetro podem ser ligados ao circuito sem levar em conta a polaridade, resultando sempre numa medida positiva.

A resistência elétrica de um amperímetro ideal é nula, de modo que ele não influencie no circuito a ser medido.

Um tipo de amperímetro CA muito usado em instalações elétricas residenciais e industriais é o amperímetro de alicate (Fig.1.24). Nele a corrente é medida de forma indireta, a partir do campo magnético que surge em torno do condutor. A vantagem desse amperímetro é que não há necessidade de abrir o condutor para realizar a medida, oferecendo maior proteção para o operador, principalmente quando a corrente a ser medida é de alta intensidade.

1.28 Utilizando um Ohmímetro

Objetivo

Medir a resistência elétrica de um dispositivo com um multímetro.

Materiais Utilizados

1 multímetro (que pode funcionar como ohmímetro), 1 resistor (ou mais), 1 pedaço de metal, 1 régua de plástico, outros materiais diversos.

Montagem e Procedimento

Para que o multímetro funcione como um ohmímetro basta selecionar uma das escalas para medir resistência elétrica. Em seguida ligue os seus terminais em paralelo com o dispositivo a ser medido, não importando a polaridade dos mesmos (Fig.1.25).

Figura 1.24: Amperímetro do tipo alicate.

Utilizando esse procedimento meça a resistência elétrica do resistor, e dos outros materiais. Perceba que nos bons condutores de eletricidade a resistência é baixa e nos maus condutores ela é alta.

Análise e Explicação

A resistência elétrica é a propriedade que toda substância possui (exceto os supercondutores) de se opor a passagem de corrente elétrica. O ohmímetro é o instrumento utilizado para medir essa resistência.

Para medir a medida da resistência de um dispositivo, circuito ou resistor (ou conjunto deles), é necessário que ele não esteja submetido a qualquer

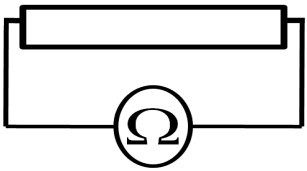

Figura 1.25: Medida de resistência elétrica.

tensão, pois isso poderia provocar erro de medida e até danificar o aparelho. Além disso, não se deve segurar os terminais do dispositivo a ser medido com as mãos, pois a resistência do corpo humano pode interferir na medida.

1.29 Primeira Lei de Ohm

Objetivos

Levantar dados de tensão e corrente num resistor e determinar a sua resistência.

Materiais Utilizados

1 fonte variável de tensão ($1V$-$12V$), 1 resistor, 2 multímetros, cabos conectores.

Montagem e Procedimento

Ligue um multímetro (amperímetro) em série com o resistor e a fonte e o outro multímetro (voltímetro) em paralelo com o resistor, como mostra o esquema da Fig.(1.26).

Varie a tensão na fonte desde o mínimo até o máximo e retire valores de tensão U e corrente i no resistor. Desenhe um gráfico de $U \times i$ e encontre o valor da resistência R do resistor.

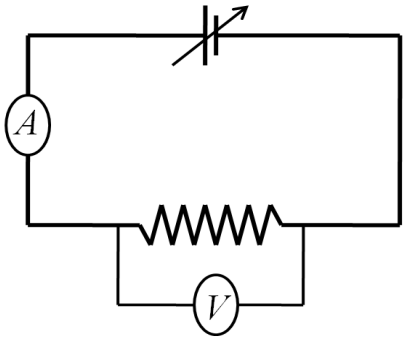

Figura 1.26: Fonte, resistor, amperímetro e voltímetro.

Análise e Explicação

Em seus trabalhos o físico alemão George S. Ohm obteve uma relação entre a tensão U aplicada em um condutor e a intensidade da corrente i que passa por ele. Ohm verificou que em certos condutores chamados ôhmicos, a tensão U e a intensidade de corrente i eram diretamente proporcionais, ou seja,

$$\frac{U}{i} = \frac{U_1}{i_1} = \frac{U_2}{i_2} = \frac{U_n}{i_n}, \tag{1.1}$$

cujo gráfico de $U \times i$ é uma reta que passa pela origem dos eixos.

Na relação (1.1) nota-se que a razão U/i tem sempre o mesmo valor, ou seja, é igual a uma constante. Essa constante é chamada de resistência elétrica do condutor e é representada por R. De (1.1) obtemos a primeira lei de Ohm

$$\frac{U}{i} = R,$$

a qual pode ser escrita como

$$U = Ri.$$

A primeira lei de Ohm pode ser enunciada como:

> Em um condutor ôhmico a intensidade de corrente que passa por ele é proporcional à tensão aplicada entre seus terminais.

A primeira lei de Ohm também pode ser utilizada para resistores não ôhmicos, onde a resistência R varia em função da tensão U e o gráfico deixa de ser uma reta. No entanto, a relação (1.1) já não é mais válida, pois, para cada par de valores de tensão e corrente teremos uma resistência elétrica.

Experimentalmente foi obtido os dados dispostos na Tab.(1.1), e com eles construiu-se o gráfico de $U \times i$, que se encontra na Fig.(1.27). Através deles constatamos que a resistência do resistor utilizado está em torno de 100Ω.

Tabela 1.1: Dados de U e i.

$U(V)$	$i(mA)$
1,10	11,1
2,05	20,7
3,10	31,5
4,00	40,5
5,00	50,6
6,02	61,2
7,11	72,9
8,00	81,8
9,20	92,5
10,08	104,9
11,12	116,4
12,50	132,7

Os resistores têm diversas finalidades, como nos circuitos eletrônicos, onde limitam a intensidade de corrente elétrica através de determinados componentes, protegendo-os de sobrecargas.

1.30 Segunda Lei de Ohm

Objetivo

Verificar como a resistência de um condutor varia em função do seu comprimento e do seu diâmetro.

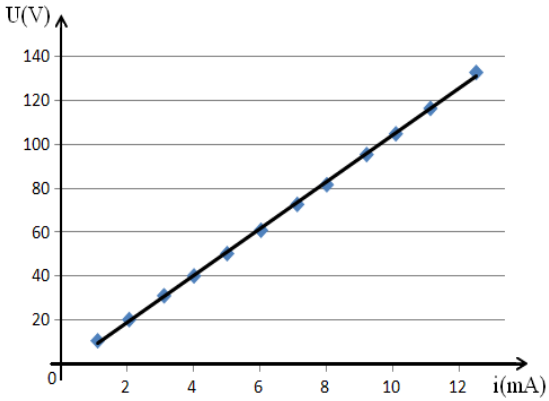

Figura 1.27: Gráfico de $U \times i$ para um resistor ôhmico.

Materiais Utilizados

1 fonte de baixa tensão, 2 ou mais fios condutores homogêneos (de comprimentos e espessuares diferentes), 2 multímetros, 1 régua, cabos conectores.

Montagem e Procedimento

Um esquema da montagem do circuito está na Fig.(1.28). Conecte um multímetro (amperímetro) em série e o outro (voltímetro) em paralelo com o circuito. Estique bem o fio, dispondo-o sobre uma superfície isolante, e divida-o em intervalos de comprimentos iguais, fazendo, por exemplo, traços sobre a superfície que o contém.

Deixe o conector 1 fixado numa extremidade do fio. Ligue o conector 2 nas posições A, B, C, etc. de modo a variar o comprimento do fio. Para um determinado fio, registre os valores de tensão (U) e intensidade de corrente (i) para cada ponto. Com os valores de U e i determine a resistência de cada intervalo de comprimento do fio, a partir da primeira lei de Ohm $R = U/i$. Disponha esses dados numa tabela, como a Tab.(1.2) e faça um gráfico da resistência em função do comprimento, explorando a segunda lei de Ohm.

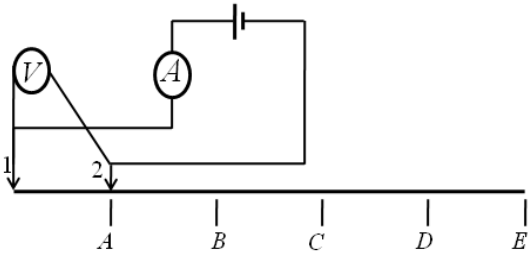

Figura 1.28: Variação da resistência de um condutor.

Tabela 1.2: Valores de l, U, i e R para um fio condutor.

$l(m)$	$U(mV)$	$i(mA)$	$R(\Omega)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

Repita o procedimento utilizando outros fios de diferentes espessuras e comprimentos. Desenhe o gráfico de $R \times l$.

Análise e Explicação

A segunda lei de Ohm fornece a resistência elétrica de um condutor em função de suas características, tais como seu comprimento, sua área de secção transversal e o tipo do material do qual é constituído.

Ela pode ser enunciada como:

> A resistência elétrica R de um condutor homogêneo é proporcional ao seu comprimento l, inversamente proporcional à sua área de secção transversal A e depende do material que o constitui e da sua temperatura.

Reunindo essas informações escrevemos matematicamente a segunda lei como

$$R = \rho \frac{l}{A},$$

onde ρ é a resistividade elétrica e seu valor depende do material que constitui o condutor e da temperatura em que ele se encontra.

Utilizando três fios diferentes foram obtidos os seguintes dados experimentais:

Fio A: Fio de níquel-cobre ($NiCu$) com diâmetro d igual a $0,404mm$ (Tab.1.3).

Tabela 1.3: Fio de $NiCu$ com $d = 0,404mm$.

$l(m)$	$U(mV)$	$i(mA)$	$R(\Omega)$
0,21	94	50,0	1,88
0,42	185	49,4	3,74
0,63	275	48,6	5,57
0,84	359	47,9	7,54
1,05	441	47,1	9,37

Fio B: Fio de níquel-cobre ($NiCu$) com diâmetro de $0{,}813mm$ (Tab.1.4)..

Tabela 1.4: Fio de $NiCu$ com $d = 0{,}813mm$.

$l(m)$	$U(mV)$	$i(mA)$	$R(\Omega)$
0,21	23	51,4	0,45
0,42	46	51,0	0,89
0,63	49	50,9	1,33
0,84	90	50,5	1,78
1,05	111	50,4	2,24

Fio C: Fio de ferro (Fe) com diâmetro de $0{,}50mm$ (Tab.1.5).

Na Fig.(1.29) temos os gráfico de $R \times l$ para os três fios condutores analisados.

Tabela 1.5: Fio de Fe com diâmetro de $0{,}50mm$.

$l(m)$	$U(mV)$	$i(mA)$	$R(\Omega)$
0,21	7	51,3	0,14
0,42	14	51,3	0,27
0,63	21	51,2	0,42
0,84	27	51,2	0,53
1,05	35	51,2	0,68

1.31 Leitura de Resistores

Objetivo

Determinar o valor da resistência de diversos resistores através do código de cores e da medição direta com o ohmímetro.

Materiais Utilizados

1 multímetro, resistores de valores diversos.

Montagem e Procedimento

Escolha um resistor e verifique as suas faixas de cores. Através do código de cores determine o valor da sua resistência. Em seguida, encontre esse mesmo valor medindo-o diretamente com o ohmímetro. Após isso, compare os resultados.

Para uma melhor análise de dados é conveniente montar uma tabela como a Tab.(1.6). O valor teórico e a tolerância são obtidos através do código de cores e o valor medido é o valor obtido com o multímetro.

Análise e Explicação

Cada resistor possui um código de cores, que são quatro estreitas faixas coloridas nele impressas, as quais fornecem o valor da sua resistência e a tolerância, que é uma margem de erro para esse valor.

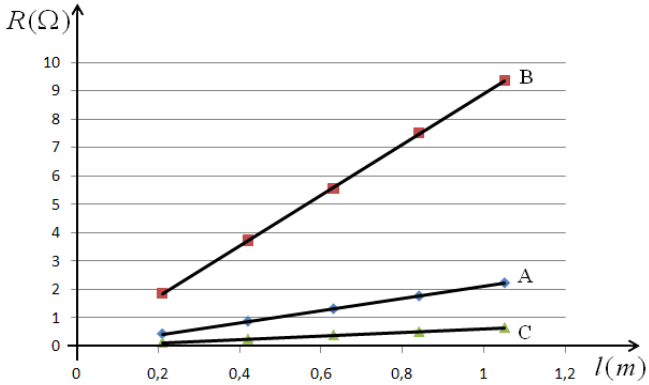

Figura 1.29: Gráfico de $R \times l$ para três condutores elétricos.

Tabela 1.6: Valores de resistências de resistores.

Valor Teórico	**Int. de Tolerância**	**Valor Medido**
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

Sendo que a 1ª, a 2ª, a 3ª e a 4ª faixa são representadas, respectivamente por x, y, z e k, temos que a resistência, em Ω, é dada por

$$R = (xy \times 10^z \pm k).$$

x, y e z são dígitos, cujos valores associados com as cores estão representados na Tab.(1.7). k representa a imprecisão no valor da resistência R. Seu valor também está associado a um código de cor, como na Tab.(1.8).

Vamos dar um exemplo: Um resistor possui as faixas, dispostas na seguinte ordem a partir da primeira: vermelha, verde, marrom, prata. Associando as cores com os valores, temos, respectivamente: 2, 5, 1 e 10%. Com isso vem que o valor teórico da resistência desse resistor é

$$R = 25 \times 10^1 \pm 10\%,$$

Figura 1.30: Resistor com as quatro faixas coloridas.

Tabela 1.7: Código de cores de resistência.

Faixa Colorida	**Dígito**
Preta	0
Marrom	1
Vermelha	2
Laranja	3
Amarela	4
Verde	5
Azul	6
Violeta	7
Cinza	8
Branca	9

ou seja, o valor da resistência é de 250Ω, com uma tolerância de 10%. Sendo 10% de 250 igual a 25, constatamos que o resistor possui uma resistência cujo valor fica compreendido entre 225Ω e 275Ω. Se o valor da resistência medido com o multímetro estiver dentro desse intervalo, o resistor está em condições normais de funcionamento.

Na Tab.(1.9) temos um conjunto de dados e medidas (valor teórico, intervalor de tolerância e valor medido) referentes a nove resistores, sendo três de cada tipo.

Tabela 1.8: Código de cores de tolerância.

Faixa Colorida	**Dígito**
Ouro	5%
Prateada	10%
Sem Cor	20%

Tabela 1.9: Dados Experimentais.

Teórico (Ω)	**Int. Tolerância** (Ω)	**Medido** (Ω)
$(10 \times 10^1 \pm 5\%)$	$95 - 105$	100,4; 100,5; 99,7
$(10 \times 10^2 \pm 5\%)$	$950 - 1050$	992; 988; 987
$(10 \times 10^5 \pm 5\%)$	$9{,}50,\ 9{,}50 \times 10^5$	$9{,}88,\ 9{,}95,\ 9{,}91 \times 10^5$

1.32 Resistores em Série

Objetivo

Estudar uma associação de resistores em série.

Materiais Utilizados

3 resistores, 1 fonte de baixa tensão, 1 multímetro, cabos conectores.

Montagem e Procedimento

Monte o circuito de acordo com o esquema da Fig.(1.31). Com o multímetro efetue a medida da resistência de cada resistor, da corrente que passa em cada um deles, bem como da tensão fornecida pela fonte e a tensão que cada resistor é submetido. Depois faça uma análise dos dados obtidos.

Procure não demorar muito na realização do experimento, de modo a evitar o aquecimento excessivo dos resistores e a influência nos resultados.

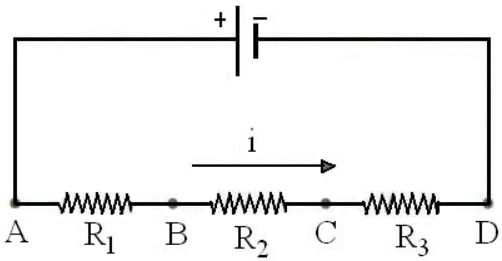

Figura 1.31: Resistores associados em série.

Análise e Explicação

Na associação de resistores em série a intensidade da corrente elétrica que passa por um dos resistores é a mesma que para todos os demais resistores:

$$i = i_1 = i_2 = i_3. \tag{1.2}$$

A tensão elétrica entre os terminais da associação é igual à soma da tensão em que cada resistor está submetido:

$$U = U_1 + U_2 + U_3. \tag{1.3}$$

Chamamos de resistor equivalente a um resistor hipotético capaz de substituir todos os resistores da associação. Este resistor suporta a mesma tensão U e é percorrido pela mesma corrente i da associação.

Relacionando a lei de Ohm $U = Ri$ com a Eq.(1.3), temos

$$R_{eq}i = R_1 i_1 + R_2 i_2 + R_3 i_3. \tag{1.4}$$

Considerando (1.2) obtemos da Eq.(1.4)

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3.$$

No experimento realizado se associou em série os resistores R_1, R_2 e R_3, cujas resistências medidas com um ohmímetro foram: $R_1 = 990\Omega$, $R_2 =$

1014Ω e $R_3 = 1029\Omega$. A fonte que alimentava a associação fornecia uma tensão $U = 3{,}240V$ e a corrente que passava pelos resistores era $i = 1{,}08mA$. A tensão em que cada resistor estava submetido era $U_1 = 1{,}08V$, $U_2 = 1{,}08V$ e $U_1 = 1{,}08V$.

Desses dados pode-se constatar que a resistência equivalente da associação é $R_{eq} = 990 + 1014 + 1029 = 3033\Omega$. Pela lei de Ohm $U = Ri$ temos que a corrente fornecida pela fonte é $i = 3{,}24/3033 = 1{,}07mA$, bem próximo dos $i = 1{,}08mA$ medidos diretamente. A soma da tensão de cada resistor fornece a tensão total da associação $U = 1{,}080 + 1{,}075 + 1{,}082 = 3{,}237V$, a qual é bem próxima da tensão da fonte $U = 3{,}240V$. Através da tensão e da resistência calcula-se a intensidade de corrente que passa em cada resistor pela relação $i_n = U_n/R_n$ (a qual deve ser igual), donde vem $i_1 = 1{,}09mA$, $i_2 = 1{,}06mA$ e $i_3 = 1{,}05mA$.

Como exemplos de dispositivos associados em série num circuito, temos os equipamentos de segurança elétrica. O fusível é um dispositivo constituído por um material condutor de baixo ponto de fusão, que se rompe quando percorrido por uma corrente elétrica com intensidade superior a um determinado valor. Isso faz com que o circuito elétrico se abra, e os aparelhos elétricos não sejam danificados.

1.33 Resistores em Paralelo

Objetivo

Estudar uma associação de resistores em paralelo.

Materiais Utilizados

1 fonte de baixa tensão, 3 resistores, 1 multímetro, cabos conectores.

Montagem e Procedimento

Monte o circuito de acordo com o esquema da Fig.(1.32).

Com o multímetro meça a resistência de cada resistor (tire eles do circuito), a corrente que passa por cada um deles, a tensão da fonte e a tensão que cada

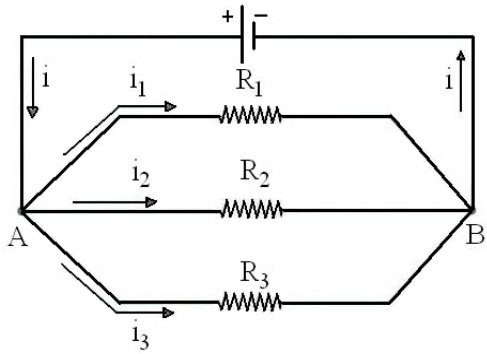

Figura 1.32: Resistores associados em paralelo.

resistor está submetido. Analise os dados obtidos.

Análise e Explicação

Na associação em paralelo, todos os resistores estão submetidos à mesma tensão, de modo que

$$U = U_1 = U_2 = U_3 \tag{1.5}$$

Nessa associação a corrente total i divide-se entre os resistores associados, de forma que

$$i = i_1 + i_2 + i_3. \tag{1.6}$$

Pela lei de Ohm, a corrente elétrica que passa num resistor é

$$i = \frac{U}{R}. \tag{1.7}$$

Para determinar a resistência do resistor equivalente, levemos (1.7) em (1.6):

$$\frac{U}{R_{eq}} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3}. \tag{1.8}$$

Relacionando (1.8) com (1.5) obtemos que a resistência equivalente é

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{2}{R_2} + \frac{3}{R_3}. \tag{1.9}$$

Neste experimento trabalhou-se com três resistores, R_1, R_2 e R_3, cujas resistências eram $R_1 = 996\Omega$, $R_2 = 988\Omega$ e $R_3 = 990\Omega$. A tensão da fonte era $U = 3,02V$ e a corrente por ela fornecida $i = 9{,}13mA$. Cada resistor foi percorrido pelas correntes $i_1 = 3{,}03mA$, $i_2 = 3{,}06mA$ e $i_3 = 3{,}05mA$.

Através da Eq.(1.9) encontramos que a resistência equivalente da associação é $R_{eq} = 330{,}4\Omega$. Aplicando a primeira lei de Ohm temos que a corrente total fornecida pela fonte é $i = U/R_{eq} = 3{,}02/330{,}4 = 9{,}14mA$, igual a soma das correntes que percorre cada resistor $i = 3{,}03 + 3{,}06 + 3{,}05 = 9{,}14mA$ e bem próxima do valor $9{,}13mA$ medido diretamente.

1.34 Chave de Teste de Eletricidade

Objetivos

Verificar o funcionamento de uma chave de teste de eletricidade.

Materiais Utilizados

1 chave de teste, 1 tomada elétrica ($110V$ ou $220V$).

Montagem e Procedimento

Introduza a ponta da chave de teste num dos polos da tomada. Coloque o polegar na parte metálica atrás do cabo e observe a lâmpada da chave ligar. Se não ligar coloque no outro polo da tomada. Na Fig.(1.33) temos a imagem de uma chave de teste.

Análise e Explicação

A chave de teste possui em seu interior uma lâmpada de neônio que, quando submetida a uma tensão elétrica, fica com esse gás ionizado, o que permite a passagem de corrente por ele, produzindo luz.

Ao encostar a chave de teste no terminal do fio fase é estabelecida uma tensão entre o condutor da rede elétrica e a terra. Essa conexão é feita pelo seu

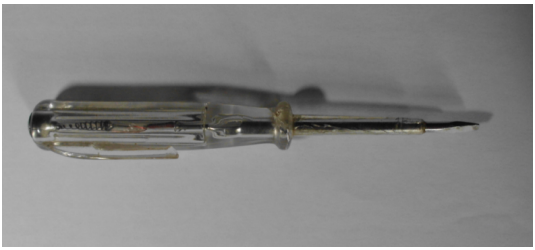

Figura 1.33: Chave de teste.

corpo, por isso que se deve colocar o dedo na parte metálica atrás do cabo. A corrente que passa é muito pequena, de modo que ela não causa choque.

Quando se encosta a chave no terminal do fio neutro não passa corrente por ela, pois a pessoa e a terra estão ligadas num mesmo potencial, e não existe diferença de potencial entre elas.

1.35 Corpo Humano e Resistência Elétrica

Objetivo

Verificar a resistência elétrica do corpo humano.

Materiais Utilizados

1 ohmímetro.

Montagem e Procedimento

Segure uma ponta de prova do ohmímetro em cada mão, estando estas separadas, e meça a resistência elétrica. Em seguida molhe as mãos e repita o mesmo procedimento, observando que o valor da resistência diminui. Esse mesmo processo pode ser realizado medindo a resistência de outras partes do corpo.

Análise e Explicação

Quando se estabelece uma tensão U entre dois pontos do corpo humano, flui através dele uma corrente elétrica, cuja intensidade depende de U e da resistência elétrica R entre os pontos considerados.

A resistência elétrica entre duas partes do corpo depende dos pontos considerados e também da umidade da pele. A resistência da pele seca é de cerca de 50.000Ω e da pele úmida de 1.000Ω. Essa diminuição da resistência ao molhar a pele ficou constatada no experimento

A sensação de choque elétrico surge quando passa pelo corpo correntes de intensidades superiores a $1mA$. Acima de $10mA$ sente-se dor e por volta de $20mA$ começa-se a ter dificuldades de respirar. As correntes fatais são aquelas com intensidade entre $100mA$ e $200mA$.

1.36 Efeito Seebeck

Objetivos

Demonstrar e estudar o efeito Seebeck.

Materiais Utilizados

2 fios de metais diferentes (ferro, cobre, alumínio, níquel, por exemplo), 1 voltímetro, 1 vela (ou 1 fogareiro), 1 recipiente com água e gelo.

Montagem e Procedimento

Desencape as pontas de três pedaços de fio, sendo dois de um tipo (que chamaremos de fio A) e um de outro (fio B). Enrole fortemente as pontas, formando duas junções, como mostra o esquema da Fig.(1.34).

Coloque uma das junções dentro do recipiente com água e gelo e a outra na chama da vela. Ligue as pontas do fio A no voltímetro (menor escala de tensão) e perceba que o mesmo acusa uma diferença de potencial de alguns microvolts. Retire uma das junções fora do recipiente ou da chama e observe que essa diferença de potencial diminui. Deixando as duas junções fora do

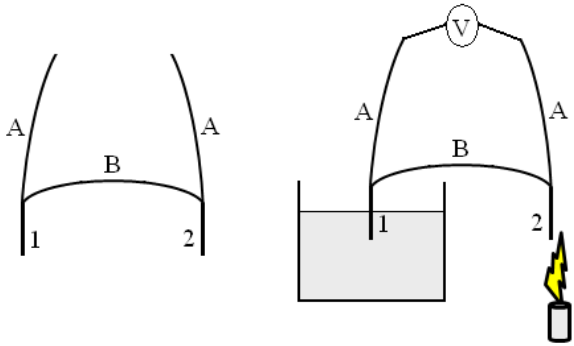

Figura 1.34: Experimento do Efeito Seebeck.

recipiente e da chama, a tensão entre as duas pontas do fio A vai diminuindo, até chegar a $0V$.

Análise e Explicação

O efeito Seebeck foi descoberto em 1821 pelo físico alemão Thomas Seebeck. Juntando as pontas de dois fios metálicos diferentes e mantendo as junções em temperaturas diferentes, surge uma tensão elétrica nas suas extremidades.

Sabe-se que um campo elétrico pode produzir uma corrente elétrica em sólidos. Do mesmo modo, variações de temperatura também podem produzir correntes elétricas. Na escala atômica uma diferença de potencial provoca a difusão de portadores de carga do lado quente para o lado frio.

Considere um metal cujas extremidades estão em diferentes temperaturas. Com isso, a densidade de elétrons livres é diferente nessas duas regiões, o que origina um campo elétrico no metal. Um outro campo elétrico é produzido pelo gradiente de temperatura no metal (variação de temperatura ao longo do metal). Juntos dão origem a uma corrente elétrica.

A extremidade mais quente faz com que os elétrons dessa região tenham maior energia cinética e se acumulem no lado mais frio, gerando uma ten-

são elétrica nas extremidades do condutor. A acumulação dos transportadores carregados no lado frio cessa em um certo valor da tensão. Um aumento da diferença de temperatura aumenta a acumulação de portadores de carga no lado frio, levando a um aumento da tensão elétrica, e vice-versa.

A tensão elétrica U é dada por

$$U = (S_B - S_A)(T_2 - T_1),$$

onde S_A e S_B são os coeficientes de Seebeck para os materiais A e B, valor este que depende de cada material[6], e T_1 e T_2 as temperaturas nas junções 1 e 2, sendo que $T_2 > T_1$. Admitindo constante a diferença entre os coeficientes de Seebeck para os dois materiais, tal que $\alpha = S_B - S_A$, a tensão U gerada é proporcional à diferença de temperatura $(T_2 - T_1)$. O valor de α é geralmente da ordem de $10^{-6} V/°C$, o que significa que a tensão criada é da ordem de algumas dezenas de microvolts por Celsius de diferença de temperatura.

Metais geralmente têm valores de S pequenos. Já os semicondutores podem ser dopados com cargas negativas ou positivas (excesso ou falta de elétrons), fazendo com que a magnitude de S seja grande. Junções semicondutoras são comuns em dispositivos de geração de energia, enquanto que as junções metálicas são mais comuns em instrumentos de medição de temperatura.

Na maioria das situações, um dispositivo baseado no efeito Seebeck não é uma boa opção para ser usado como gerador elétrico, pois sua eficiência é inferior se comparada aos demais tipos. Uma grande desvantagem é a baixa potência produzida por cada célula, o que exige a construção de muitas delas para a obtenção de uma potência desejada. No entanto, é usado em situações especiais, como em sondas espaciais, que exigem baixa potência e longa duração. As sondas *Voyagers*, que desbravaram o sistema solar, utilizavam geradores do tipo termoelétrico baseados no efeito Seebeck. A diferença de temperatura é produzida pelo calor gerado por baterias nucleares.

[6] A equação anterior somente é válida quando se considera S_A e S_B constante para um determinado intervalo de temperatura.

1.37 Lâmpadas em Paralelo

Objetivos

Representar uma associação de lâmpadas em paralelo e estudar as suas propriedades.

Materiais Utilizados

1 pilha ou bateria, 3 lâmpadas (compatíveis com a tensão da pilha ou da bateria)[7], conectores elétricos.

Montagem e Procedimento

Com os conectores associe as três lâmpadas em paralelo e conecte a associação com a fonte, de acordo com o esquema da Fig.(1.35). É importante que se deixe três aberturas, que funcionarão como chaves, nos pontos específicos do circuito. Essas chaves também poderão ser feitas simplesmente com a remoção da lâmpada do seu soquete.

Estando todo o circuito fechado, observe que as três lâmpadas brilharão igualmente. Ao abrir qualquer uma das chaves, a lâmpada de número correspondente deixa de funcionar, enquanto as outras continuam brilhando normalmente.

Análise e Explicação

Lâmpadas incandescentes se comportam como os resistores elétricos. A intensidade da luz por elas emitida dará a percepção usual da potência dissipada em cada lâmpada.

[7] Nas experiências de associação de lâmpadas, tanto em paralelo como em série, pode-se utilizar lâmpadas normais, que são conectadas à voltagens típicas das residências ($110V$ ou $220V$). No entanto, deve-se tomar muito cuidado para não tomar choque elétrico. Se desejar montar circuitos utilizando tais lâmpadas, deve ter conectores apropriados ou somente juntar e soltar fios com o circuito desligado da fonte.

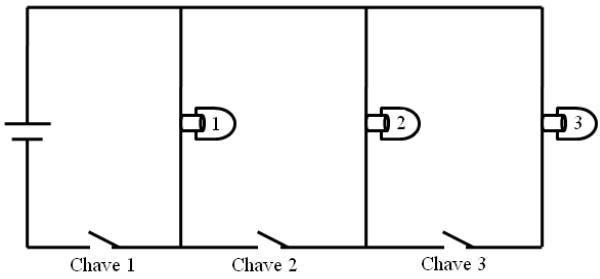

Figura 1.35: Associação de lâmpadas em paralelo.

Na associação em paralelo todas as lâmpadas estão submetidas à mesma diferença de potencial, que é a diferença de potencial da fonte U:

$$U_1 = U_2 = U_3 = U.$$

Por isso, cada lâmpada se comporta como se estivesse ligada diretamente na fonte, funcionando independentemente uma das outras.

A associação em paralelo é o tipo de associação no qual a maioria dos equipamentos estão ligados na rede elétrica do nosso cotidiano. Se um deles tiver problemas, os outros continuam funcionando normalmente.

A intensidade da corrente i que sai da fonte é dada pela soma das correntes que passa por cada lâmpada:

$$i = i_1 + i_2 + i_3.$$

Cada lâmpada dissipa uma potência P que é dada por

$$P = Ui_n,$$

onde i_n é a intensidade de corrente que passa por ela. Se uma das lâmpadas queimar ou uma das chaves for aberta, as outras lâmpadas vão continuar brilhando normalmente (mesma potência). O que vai acontecer é que a fonte vai fornecer uma menor corrente i, o que implica numa menor potência P_t (potência total).

1.38 Lâmpadas em Série

Objetivos

Representar uma associação de lâmpadas em série e estudar as suas propriedades.

Materiais Utilizados

1 pilha ou 1 bateria, 3 lâmpadas (compatíveis com a tensão da pilha ou da bateria), conectores elétricos.

Montagem e Procedimento

Com os conectores associe as três lâmpadas em série e conecte a associação à fonte, conforme mostra o esquema da Fig.(1.36).

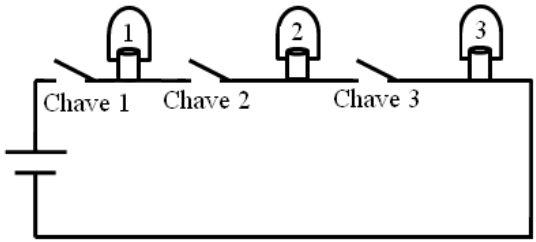

Figura 1.36: Associação de lâmpadas em série.

Verifique que, se abrir qualquer um dos conectores (chaves), todas as lâmpadas da associação se desligam. Isso ocorre porque nessa associação a corrente não se divide, sendo a mesma que passa por todo o circuito.

Análise e Explicação

Quando ligadas em série as lâmpadas brilham com uma luminosidade bem fraca. Isso ocorre porque a tensão em cada uma é submetida é uma parte da

tensão total U fornecida pela fonte, ou seja,

$$U = U_1 + U_2 + U_3.$$

Sendo i a corrente que sai da fonte, na associação em série temos

$$i = i_1 = i_2 = i_3,$$

ou seja, a corrente que passa por cada uma das lâmpadas é a mesma que passa pela fonte.

Sendo menor que a tensão total, a potência dissipada por cada lâmpada será

$$P = U_n i.$$

As associações em série são utilizadas em sistemas eletrônicos, para dividir a tensão em vários componentes e em dispositivos de segurança. Os fusíveis são dispositivos elétricos de proteção ligados em série com um sistema ou equipamento de seu interesse. Quando a intensidade de corrente é elevada, acima de certo valor, o fusível se rompe, bloqueando a passagem de corrente para o restante do circuito, impedindo que cause danos.

1.39 Reostato

Objetivo

Construir um reostato para regular a intensidade de corrente elétrica num circuito.

Materiais Utilizados

1 bateria ($9V$ ou $12V$), 1 lâmpada (compatível com a voltagem da fonte), 1 fio de $Ni - Cr$ (níquel-Cromo) ou grafite (de alta resistência elétrica), conectores elétricos.

Montagem e Procedimento

O experimento é montado de acordo com o digrama da Fig.(1.37). Ligue a lâmpada na fonte e no fio de $Ni - Cr$, o qual deve ficar fixo no ponto b. Um outro conector elétrico deve ser ligado entre a fonte e o fio (posição a). Varie a posição do conector inicialmente em a, aproximando-o de d, de modo a aumentar a luminosidade da lâmpada. Observe que a intensidade da lâmpada é máxima quanto $a = b$.

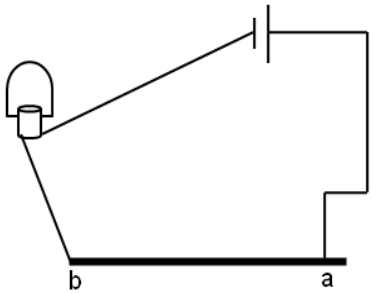

Figura 1.37: Esquema de um reostato.

Análise e Explicação

O reostato é também chamado de potenciômetro ou resistor de resistência variável. Quanto maior é a resistência do circuito para uma tensão constante, menor é a intensidade de corrente que passa por ele.

A potência elétrica que uma lâmpada dissipa é dada por

$$P = Ri^2,$$

onde R é a resistência (que vamos considerar neste caso constante) e i a corrente elétrica que passa por ela.

No circuito deste experimento, a maior resistência oferecida é pelo fio $Ni-Cr$ (ou pela haste de grafite). Percebemos que, à medida que diminui-se o comprimento do fio, aumenta a potência da lâmpada. Isso ocorre porque a

resistência de um condutor é proporcional ao seu comprimento, de acordo com a segunda lei de Ohm:

$$R = \rho \frac{l}{A},$$

onde ρ é a resistividade do material, l o comprimento e A a área de secção transversal do condutor. Portanto, diminuindo-se l, R também diminui.

Pela primeira lei de Ohm

$$i = \frac{U}{R},$$

mantendo-se a tensão U no fio constante e diminuindo-se o valor de R, aumenta-se o valor da corrente que passa por ele. Sendo que a lâmpada está ligada em série com o fio, a corrente que passa por eles é a mesma. Portanto, diminuindo-se o comprimento do fio de $Ni - Cr$, aumenta-se a potência dissipada pela lâmpada.

1.40 Características de um Gerador Elétrico

Objetivos

Determinar a força eletromotriz e a resistência interna de um gerador elétrico.

Materiais Utilizados

1 pilha $(1,5V)$, conectores elétricos, 1 resistor (resistência em torno de 100Ω), 2 multímetros.

Montagem e Procedimento

Utilizando um multímetro como voltímetro, meça a tensão da pilha, estando essa isolada. Em seguida monte o circuito de acordo com a Fig.(1.38), e meça os valores da tensão a que o resistor está submetido e a intensidade da corrente elétrica que percorre o circuito.

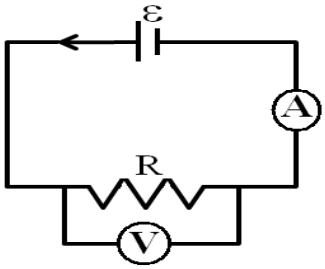

Figura 1.38: Pilha e resistor.

Análise e Explicação

Um gerador elétrico é um dispositivo capaz de transformar outros tipos de energia em energia elétrica, de modo a estabelecer e manter uma tensão elétrica entre dois pontos de um circuito ligado a ele.

Quanto maior a tensão mantida pelo gerador maior será o trabalho (ou energia) fornecida ao circuito, resultando numa corrente elétrica mais intensa. A razão entre o trabalho W e a quantidade de carga q que passa por uma secção transversal do condutor é denominada força eletromotriz ε:

$$\varepsilon = \frac{W}{q}.$$

Num circuito a corrente elétrica sempre vai do potencial maior para o potencial menor do gerador[8]. Considere o esquema da Fig.(1.39), em que um resistor de resistência R está ligado a um gerador.

O gerador também apresenta uma resistência à corrente elétrica, denominada resistência interna[9] r . Dessa forma, a tensão elétrica U em que o resistor está submetido é dada pela equação geral dos geradores

$$U = \varepsilon - ri, \tag{1.10}$$

onde $ri = U_r$ é a queda de tensão provocada pela resistência interna r

[8]No interior do gerador a corrente flui do potencial menor para o maior.

[9]Um gerador ideal deveria ter $r = 0$.

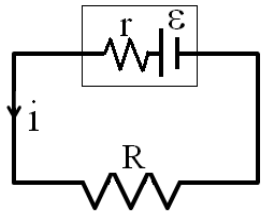

Figura 1.39: Resistor ligado num gerador.

Quando se mede o valor de U com o circuito aberto (fonte isolada), se está determinando a força eletromotriz ε do gerador. Experimentalmente mediu-se a força eletromotriz ε da pilha como sendo $\varepsilon = 1{,}518V$. Conectando um resistor de 100Ω na pilha verificou-se que ele estava submetido a uma tensão U de $1{,}341V$ e passava pelo circuito uma corrente i de $13{,}52mA$.

A partir de (1.10) vem que a resistência interna do gerador r é dada por

$$r = \frac{\varepsilon - U}{i}.$$

Substituindo os dados anterior nesta equação encontramos $r = 83{,}73\Omega$.

1.41 Corrente de Curto-Circuito

Objetivo

Determinar a corrente de curto-circuito de uma pilha e de uma bateria.

Materiais Utilizados

1 pilha ($1{,}5V$), 1 bateria ($9V$), 2 fios conectores, 1 amperímetro.

Montagem e Procedimento

Ligue o amperímetro em série com a pilha e feche o circuito, como mostra o esquema da Fig.(1.40). Procure fazer a medida da corrente rapidamente, para

que a fonte não se descarregue muito. Repita o mesmo procedimento com a bateria.

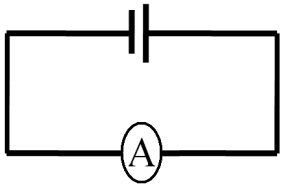

Figura 1.40: Curto-circuito.

Análise e Explicação

Quando ligamos um condutor (resistência elétrica aproximadamente nula) diretamente entre os polos de um gerador, a intensidade de corrente tende a ser elevada. Essa condição, denominada curto-circuito, deve ser evitada, pois a corrente alta produz um calor intenso por efeito Joule, podendo danificar a fonte ou provocar incêndio na instalação elétrica. Por isso que as instalações elétricas possuem um sistema de proteção, como os fusíveis e os disjuntores.

Fazendo um gráfico com dados de tensão U e corrente i ($U \times i$) oriundos de um gerador, obtém-se uma reta decrescente, como a representado na Fig.(1.41). Quando a reta cruza o eixo vertical temos $i = 0$, e a da Eq.(1.10) vem que

$$U = \varepsilon.$$

Aqui o circuito está aberto e a tensão U nos extremos do gerador é igual a sua força eletromotriz ε.

O ponto de intersecção da reta com o eixo da corrente possui tensão nula e é denominado corrente de curto circuito i_{cc}. Nesse caso o circuito não oferece nenhuma resistência elétrica à corrente. Fazendo $U = 0$ em (1.10) encontramos a corrente de curto circuito

$$i_{cc} = \frac{\varepsilon}{r},$$

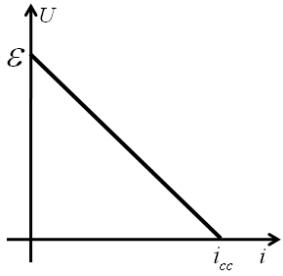

Figura 1.41: Gráfico $U \times i$ para um gerador.

que é o valor máximo de corrente que o gerador pode suportar.

No experimento realizado, para uma pilha já um pouco descarregada ($\varepsilon = 0{,}81V$) foi encontrado $i_{cc} = 0{,}26A$ e para uma bateria também já bastante descarregada ($\varepsilon = 4{,}9V$), $i_{cc} = 0{,}13A$.

1.42 Geradores em Série

Objetivo

Estudar uma associação de geradores em série.

Materiais Utilizados

2 pilhas ($1{,}5V$), 2 multímetros, 1 resistor ou 1 lâmpada, fios conectores.

Montagem e Procedimento

Associe as duas pilhas (geradores) em série, como mostra o esquema da Fig.(1.42). Meça com o multímetro (voltímetro) a força eletromotriz de cada gerador.

Em seguida conecte o resistor e o multímetro (amperímetro) em série com o circuito. Determine novamente a tensão nos terminais de cada gerador, da associação de geradores e a corrente no circuito. Analise os dados obtidos.

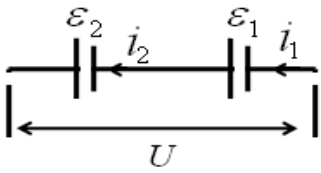

Figura 1.42: Geradores associados em série.

Análise e Explicação

De maneira semelhante que na associação de resistores em série, temos que a intensidade de corrente elétrica i que passa pelo resistor é a mesma que percorre cada um dos geradores:

$$i = i_1 = i_2.$$

A força eletromotriz da associação ε é igual a soma da força eletromotriz de cada gerador:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2.$$

A resistência interna equivalente da associação r_{eq} é a soma das resistências internas de cada gerador:

$$r_{eq} = r_1 + r_2.$$

Veja a Fig.(1.43). De acordo com a equação característica do gerador, as tensões nos geradores 1 e 2 são, respectivamente,

$$U_{ab} = \varepsilon_1 - r_1 i. \tag{1.11}$$

$$U_{bc} = \varepsilon_2 - r_2 i. \tag{1.12}$$

Sendo $U_{ac} = U_{ab} + U_{bc}$, a partir das relações (1.11) e (1.12) obtemos a tensão nos extremos da associação (pontos a e c) como sendo

$$U_{ac} = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) - i(r_1 + r_2).$$

Uma associação de geradores em série é utilizada para se obter, entre os terminais de uma associação, uma diferença de potencial elétrico que seja maior do que a diferença de potencial entre os terminais de apenas um gerador.

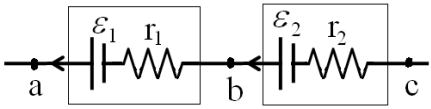

Figura 1.43: Associação de geradores em série.

1.43 Geradores em Paralelo

Objetivo

Estudar uma associação de geradores em paralelo.

Materiais Utilizados

2 pilhas ($1{,}5V$), 2 multímetros, 1 resistor (ou 1 lâmpada), fios conectores.

Montagem e Procedimento

Inicialmente meça com o multímetro (voltímetro) a força eletromotriz de cada pilha (gerador). Após isso associe os dois geradores em paralelo, como mostra o esquema da Fig.(1.44) e determine a força eletromotriz da associação.

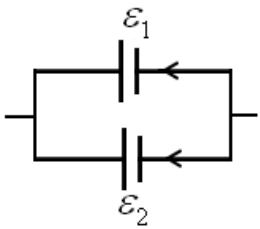

Figura 1.44: Geradores associados em paralelo.

Em seguida conecte o resistor e o multímetro (amperímetro) em série com a associação de geradores. Determine novamente a tensão nos terminais da

associação de geradores e a corrente que passa pelo circuito. Analise os dados obtidos.

Análise e Explicação

Numa associação em paralelo a corrente total fornecida pela associação é igual a soma das correntes elétricas fornecidas por cada gerador:

$$i = i_1 + i_2. \tag{1.13}$$

A resistência interna do gerador equivalente é dada por

$$\frac{1}{r_{eq}} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}.$$

Se os geradores forem iguais, a força eletromotriz da associação ε é igual a força eletromotriz de cada gerador

$$\varepsilon = \varepsilon_1 = \varepsilon_2.$$

Veja a Fig.(1.45). Como os dois geradores estão conectados nos mesmos terminais a e b, a tensão elétrica entre eles pode ser expressa em função da força eletromotriz, da resistência interna e da intensidade de corrente elétrica em cada um dos geradores.

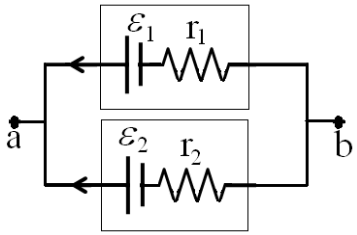

Figura 1.45: Associação de geradores em paralelo.

Para o gerador 1 temos $U_{ab} = \varepsilon_1 - r_1 i_1$, de modo que

$$i_1 = \frac{\varepsilon_1 - U_{ab}}{r_1}. \tag{1.14}$$

De maneira semelhante, para o gerador 2 temos $U_{ab} = \varepsilon_2 - r_2 i_2$, donde vem

$$i_2 = \frac{\varepsilon_2 - U_{ab}}{r_2}. \tag{1.15}$$

Substituindo (1.14) e (1.15) em (1.13), temos

$$i = \frac{\varepsilon_1 - U_{ab}}{r_1} + \frac{\varepsilon_2 - U_{ab}}{r_2}. \tag{1.16}$$

Isolando U_{ab} na Eq.(1.16), vem que

$$U_{ab} = \left(\frac{\varepsilon_1 r_2 + \varepsilon_2 r_1}{r_1 + r_2}\right) - i\left(\frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}\right). \tag{1.17}$$

Na Eq.(1.17) o termo dentro do primeiro parênteses corresponde à força eletromotriz equivalente da associação de dois geradores em paralelo. No segundo parênteses temos a resistência equivalente interna dos dois geradores.

Uma das razões pelas quais se evitam as associações de pilhas em paralelo é que, se houver diferenças de forças eletromotrizes, ocorrerão correntes internas à associação, acarretando um indesejável consumo de energia, mesmo quando o circuito estiver desligado. Dessa forma, um dos geradores acaba atuando como consumidor.

Um motivo para se utilizar pilhas em paralelo poderia ser o de aumentar a energia armazenada na associação, a fim de que as pilhas operassem durante um tempo maior. No entanto, esse objetivo é facilmente alcançável utilizando-se pilhas maiores, já que a energia química armazenada cresce com o volume da pilha.

Maiores intensidades de correntes podem ser obtidas com pilhas com resistências internas menores. Pilhas maiores têm resistência interna mais baixa que pilhas menores.

1.44 Características de um Receptor Elétrico

Objetivo

Estudar as características de um receptor elétrico.

Materiais Utilizados

1 fonte variável de tensão contínua ($0V - 12V$), 1 motor elétrico ($12V$), 2 multímetros, fios conectores.

Montagem e Procedimento

Ligue o motor na fonte, um multímetro (voltímetro) em paralelo com o motor e o outro multímetro (amperímetro) em série com o circuito. Varie a tensão e registre os pares de dados de tensão U e intensidade de corrente i no motor. Com esses dados construa um gráfico e faça uma análise do mesmo.

Análise e Explicação

Denomina-se receptor elétrico o dispositivo que recebe energia elétrica de uma fonte e a converte em outro tipo de energia, desde que não seja calor. Como exemplo de receptores elétricos temos: motor elétrico, computador, rádio, televisão, batedeira, etc.

Ao passar pelo receptor as cargas elétricas realizam trabalho, pois a energia elétrica consumida é transformada em outro tipo de energia. Dessa forma, a grandeza chamada força contra eletromotriz ε' representa a quantidade de energia elétrica (W) transformada por unidade de carga (q) que passa pelo receptor:

$$\varepsilon' = \frac{W}{q}.$$

A grandeza ε' pode ser pensada como a tensão elétrica consumida pelo dispositivo elétrico para a realização de sua função.

Na Fig.(1.46) temos um esquema de um receptor elétrico. O símbolo que representa o receptor é o mesmo do gerador, mas aqui o sentido da corrente é do potencial maior (polo +) para o potencial menor (polo -), contrário ao gerador. r' é a resistência interna do receptor, que também dissipa energia.

Entre os terminais de um receptor há uma queda de tensão, principalmente devido à perda de energia elétrica dos portadores de carga ao realizarem trabalho. Dessa forma, a tensão U é a soma das duas quedas de tensão no receptor:

$$U = \varepsilon' + r'i.$$

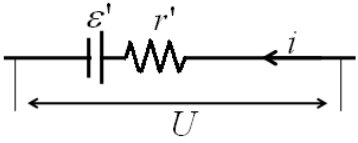

Figura 1.46: Receptor elétrico.

A curva característica de um receptor está na Fig.(1.47), que é um gráfico de $U \times i$. Através dele percebemos que, quanto maior a intensidade de corrente elétrica, maior a tensão na resistência interna e maior a diferença de potencial nos terminais do receptor.

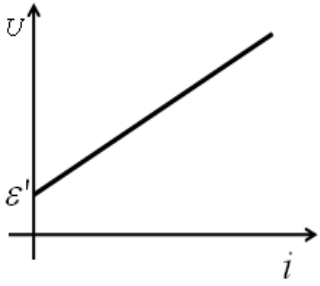

Figura 1.47: Curva característica de um receptor.

1.45 Efeito Joule 1

Objetivo

Demonstrar o efeito Joule, que é a transformação de energia elétrica em energia térmica.

Materiais Utilizados

1 bateria ($9V$ ou $12V$), 1 palha de aço fina (essas de lavar louça), 2 fios conectores.

Montagem e Procedimento

Conecte os fios nos terminais da bateria (se necessário use fita adesiva para prendê-los) e as outras duas extremidades encoste na palha de aço. Você verá ela se aquecer e começar a queimar. Repita o procedimento diversas vezes encostando e separando os fios conectores na palha de aço. Ao entrar em contato com a palha de aço as duas pontas dos fios conectores devem ficar próximas uma da outra.

Análise e Explicação

A energia existe na natureza sob diversas formas e tem a capacidade de se transformar de uma forma em outra. Devido à resistência oferecida pelos condutores à passagem de uma corrente elétrica, parte dessa energia elétrica é transformada em energia térmica (calor). Esse fenômeno denomina-se efeito Joule ou efeito térmico.

Quando um fio condutor é submetido a uma tensão elétrica, um campo elétrico se estabelece no seu interior. Esse campo elétrico origina uma força elétrica sobre os elétrons livres, acelerando-os em um sentido[10]. Durante o movimento os elétrons vão colidindo com os átomos do retículo cristalino do metal, o que causa o aumento de temperatura do fio. Entre duas colisões sucessivas a velocidade média típica dos elétrons livres é de $10^6 m/s$ e a velocidade de deriva no fio é da ordem de $10^{-4} m/s$.

O que acontece nesse experimento é uma manifestação do efeito Joule. Ao passar uma corrente elétrica pela palha de aço ela se aquece e acaba queimando. Isso ocorre porque os fios da palha são muito finos. Devido ao emaranhamento em que tais fios se encontram, ocorre uma queima sucessiva. Sendo que a bateria fornece uma tensão baixa, para ocorrer a queima é importante

[10] Isso na corrente contínua. Na corrente alternada esse sentido muda diversas vezes por segundo.

que os terminais estejam próximos um do outro, tendo somente uma pequena quantidade de palha entre eles. É importante também lembrar que, devido à alta corrente fornecida pela bateria (circuito em curto), ela esgota-se rapidamente.

1.46 Efeito Joule 2

Objetivo

Verificar o efeito joule.

Materiais Utilizados

1 barra de grafite de $0{,}5mm$, 1 bateria ($9V$ ou $12V$), 2 fios conectores (1 com um jacarezinho na ponta), 1 bolinha de alumínio.

Montagem e Procedimento

Coloque a bolinha de alumínio numa extremidade do grafite. Prenda a ela o jacarezinho e conecte a outra extremidade do fio num polo da bateria. Ligue o outro fio no outro polo da bateria e encoste a outra ponta na outra extremidade do grafite (Fig.1.48). Feche o circuito e observe que o grafite começa a aquecer, elevando sua temperatura até provocar a emissão de luz.

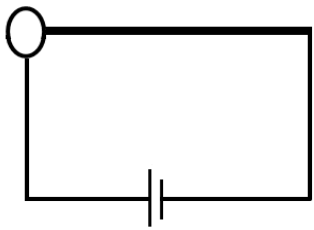

Figura 1.48: Incendiando o grafite.

Análise e Explicação

A corrente elétrica que passa pelo grafite provoca a elevação de sua temperatura. Isso faz com que ela comece a brilhar e acabe incendiando-se, emitindo luz.

1.47 Efeito Joule 3

Objetivos

Verificar a ocorrência do efeito Joule, bem como analisar as quantidades de energia envolvidas no processo.

Materiais Utilizados

2 multímetros, água, 1 cronômetro, 1 fonte de tensão alternada ($110V$ ou $220V$), 1 ebulidor (compatível com a tensão da fonte), 1 termômetro, 1 proveta (ou balança de precisão), 1 béquer.

Montagem e Procedimento

Coloque uma certa quantidade de água no béquer, medindo sua massa através da balança ou o seu volume através da proveta (elas são proporcionais, pois a densidade da água é $\rho = 1g/ml$). Com o termômetro meça a temperatura inicial da água.

Em seguida coloque o ebulidor (que é um resistor) na água, coloque um multímetro (amperímetro) em série com o circuito e o outro multímetro (voltímetro) em paralelo com o resistor. Ligue o ebulidor conectando as extremidades na fonte elétrica de modo a fechar o circuito, e cronometre o aquecimento da água durante um certo intervalor de tempo. Com o amperímetro, meça a corrente elétrica que passa pelo ebulidor, e com o multímetro a tensão a que ele está submetido. Ao final do aquecimento meça a temperatura da água contida no béquer (não é necessário aquecê-la muito).

Encontre a energia dissipada no resistor elétrico, bem como a energia que a água recebeu. Compare os resultados obtidos.

Análise e Explicação

A energia dissipada no resistor (em Joule J) é dada por

$$E = P\Delta t,$$

onde P é a potência do resistor (em $W =$ Watts) e Δt é o intervalo de tempo em que ele ficou ligado. A potência dissipada é dada por

$$P = Ui0$$

e a energia dissipada pode ser escrita como

$$E = Ui\Delta t.$$

A quantidade de energia ou calor Q recebida pela água para variar sua temperatura entre T_0 e T é determinada por

$$Q = mc(T - T_0),$$

onde m é a sua massa e c o seu calor específico. Para fazer uma comparação direta é interessante usar o calor específico da água como sendo $c = 4{,}18 J/g°C$.

1.48 Efeito Termoelétrico

Objetivo

Detectar a emissão de elétrons por uma lâmpada incandescente.

Materiais Utilizados

1 eletroscópio (pêndulo eletrostático ou eletroscópio de folhas), 1 lâmpada incandescente (com soquete e conexão, pronta para funcionar), papel alumínio, fita adesiva.

Montagem e Procedimento

Envolva a parte de vidro da lâmpada com papel alumínio, prendendo-o com fita. Ligue a lâmpada e aproxime-a do pêndulo. Você verificará a esfera ser atraída pela lâmpada, no caso do pêndulo eletrostático, ou as folhas de alumínio se afastarem uma da outra, no caso do eletroscópio de folhas.

Análise e Explicação

Os átomos de um corpo estão tanto mais agitados quanto maior é a sua temperatura. Ao colidirem com os átomos vizinhos os átomos podem fornecer energia a seus elétrons, causando transições eletrônicas. Se um elétron ganha energia suficiente ele salta para níveis mais externos (mais energéticos), podendo até se libertar do átomo.

O efeito termoelétrico é a ocorrência de um fluxo de elétrons que sai de um metal, devido ao aumento de sua temperatura. Este efeito foi descrito inicialmente em 1873 por Frederick Guthrie e foi redescoberto por Thomas Edison em 1880 quando estudava lâmpadas incandescentes[11].

Os filamentos das lâmpadas incandescentes de tungstênio são aquecidos à cerca de $2500°C$, sem atingir o ponto de fusão. Através do efeito Joule o filamento passa a irradiar energia quando a temperatura ultrapassa os cerca de $500°C$. Quando liga-se uma lâmpada incandescente inicia-se a emissão de elétrons pelo filamento aquecido. Esses elétrons emitidos eletrizam o alumínio que reveste a lâmpada e sua carga elétrica é acusada pelo eletroscópio.

É importante salientar que, no efeito termoelétrico os elétrons são extraídos devido ao recebimento de energia térmica, enquanto no efeito fotoelétrico isso ocorre por causa da absorção de fótons de radiações eletromagnéticas.

1.49 Resistência e Temperatura

Objetivo

Verificar o aumento da resistência de uma lâmpada com a elevação da sua temperatura.

[11] Por isso o efeito termoelétrico é também chamado de Efeito Edison.

Materiais Utilizados

1 pilha ou 1 bateria, 1 lâmpada (compatível com a fonte), 2 multímetros.

Montagem e Procedimento

Meça a resistência da lâmpada diretamente com o multímetro (ohmímetro). Em seguida monte um circuito elétrico com essa mesma lâmpada, de acordo com a Fig.(1.49).

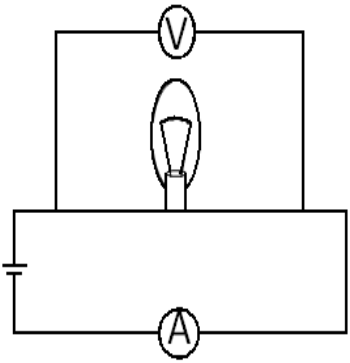

Figura 1.49: Pilha, lâmpada, voltímetro e amperímetro.

Deixe a lâmpada funcionando um pouco e meça com o voltímetro o valor da tensão em que ela está submetida e com o amperímetro o valor da intensidade da corrente que passa pelo circuito, e também pela lâmpada. Através da lei de Ohm encontre o valor da resistência da lâmpada em funcionamento e compare com o seu valor medido com a lâmpada desligada.

Análise e Explicação

O ohmímetro nunca deve ser usado com o circuito conectado à fonte de alimentação, já que ele tem a sua própria fonte de alimentação. Esta faz circular uma pequena intensidade de corrente pelo componente em teste e avalia a

queda de tensão sobre ele.

A seguir vamos analisar quantitativamente o comportamento da lâmpada baseado dos dados experimentais obtidos pelo autor.

A resistência elétrica da lâmpada medida com o ohmímetro foi de $6{,}1\Omega$. No circuito elétrico, conectada numa fonte de $9{,}1V$, foi constatada a passagem de $0{,}22A$ de corrente pela lâmpada. Utilizando a relação $R = U/i$:

$$R = \frac{9{,}1}{0{,}22},$$

encontramos uma resistência de 41Ω.

Perceba como a resistência elétrica da lâmpada aumentou consideravelmente (quase sete vezes) estando ela em funcionamento. Isso se deve ao aumento da temperatura do filamento da lâmpada por onde flui a corrente elétrica.

1.50 Resistividade e Temperatura

Objetivos

Observar como a resistividade elétrica varia em função da temperatura e calcular o coeficiente de temperatura da resistividade de alguns condutores.

Materiais Utilizados

2 multímetros, 1 termômetro, água, 1 recipiente (de plástico ou de vidro), 1 resistor (uns 100Ω), 1 pedaço de fio condutor, 1 fonte de tensão contínua ($12V$ ou $24V$), cabos conectores.

Montagem e Procedimento

Monte o experimento de acordo com o esquema da Fig.(1.50). Enrole o fio condutor formando uma pequena espira e introduza-o dentro do recipiente e este encha de água. Utilizando os cabos conectores associe o resistor e um multímetro (amperímetro) em série com o circuito e um multímetro (voltímetro) em paralelo com a espira. Mergulhe o termômetro na água para acompanhar a temperatura da mesma e ligue o circuito na fonte. Levante vários pontos

de tensão, intensidade de corrente e temperatura. Analise esses dados e encontre o valor do coeficiente de temperatura da resistividade do material utilizado. Repita o procedimento com outro tipo de material condutor.

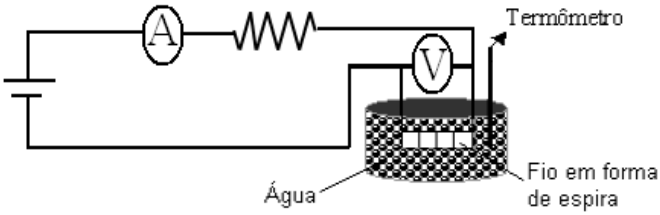

Figura 1.50: Resistividade em função da temperatura.

Análise e Explicação

A resistência elétrica de um condutor é uma característica que depende do material do qual ele é constituído, de sua geometria e de sua temperatura. Matematicamente ela é definida por

$$R = \rho \frac{l}{A},$$

onde l é o comprimento do condutor, A a área de secção transversal e ρ a constante de proporcionalidade, denominada resistividade.

Consideremos agora dois condutores metálicos idênticos, à temperaturas diferentes. Observa-se que o condutor que estiver a temperatura mais alta terá uma maior resistência elétrica. Isso pode ser explicado se levarmos em conta que, a uma temperatura mais alta, o grau de agitação dos átomos da rede cristalina do metal é maior. O aumento das amplitudes de oscilações dos átomos aumenta a probabilidade de choque entre estes e os elétrons livres.

Se o comprimento l e a área A do fio permanecem constantes, o que varia é a resistividade. Sendo $R = \rho k$, onde k é a constante (l/A), vemos que a resistência é proporcional à resistividade. Dentro de uma faixa limitada de

temperatura, a resistividade aumenta com o aumento da temperatura de uma maneira aproximadamente linear. A variação da resistividade $\Delta\rho$ é dada por

$$\Delta\rho = \rho_0 \alpha \Delta T,$$

onde ρ_0 é a resistividade inicial na temperatura T_0, e α o coeficiente médio de temperatura da resistividade. Portanto, temos que, o valor da resistividade de um material a uma temperatura T é

$$\rho = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)]. \tag{1.18}$$

Desprezando os efeitos da dilatação térmica com o aumento da temperatura, podemos estender a relação anterior para os valores de resistência de um fio condutor de comprimento inicial l, área de secção transversal A e que seja feito desse mesmo material. Daí temos $R_0 = \rho_0 l/A$ e $R = \rho l/A$, donde, dividindo R por R_0 vem

$$R = \frac{\rho}{\rho_0} R_0.$$

De maneira semelhante que (1.18), temos que $R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$. Isolando α obtemos

$$\alpha = \frac{R - R_0}{R_0(T - T_0)}. \tag{1.19}$$

A maioria dos metais normais tem resistividade que aumentam linearmente com a temperatura. Na realidade, porem, há sempre uma região não linear, em temperaturas muito baixas, e a resistividade tende para um certo valor finito nas vizinhanças do zero absoluto ($0K$). Essa resistividade residual se deve as colisões dos elétrons com as impurezas e imperfeições do metal.

A resistividade elétrica dos condutores é baixa, enquanto dos isolantes é alta. O coeficiente de temperatura dos metais é positivo ($\alpha > 0$), indicando que a resistividade e, consequentemente, a resistência elétrica, aumentam com a elevação da temperatura. Para os semicondutores o coeficiente de temperatura é negativo ($\alpha < 0$), indicando que a resistividade e a resistência diminuem com o aumento da temperatura. Por exemplo, o coeficiente de temperatura da resistividade da prata é $3,8 \times 10^{-3}(^\circ C^{-1})$ e do silício é $-75 \times 10^{-3}(^\circ C^{-1})$.

No experimento realizado pelo autor registrou-se o primeiro ponto de intensidade de corrente i e tensão U na espira quando a temperatura inicial (T_0)

era $20°C$. Com o ebulidor elevou-se a temperatura da água (e também da espira) até $90°C$, e nesse intervalo registrou-se vários pontos de i e U. Com esses valores pode-se determinar a resistência pela relação $R = U/i$.

Na Tab.(1.10) temos os valores experimentais da temperatura T, da tensão U e da intensidade de corrente elétrica i na espira, bem como os respectivos valores de resistência R, sendo estes obtidos a partir da primeira lei de Ohm.

Tabela 1.10: Valores de T, U, i e R para a espira.

$T(°C)$	$U(mV)$	$i(mA)$	$R(\Omega)$
20	13,4	83,1	0,161
25	13,9	83,4	0,167
43	14,7	83,6	0,176
49	15,0	83,7	0,179
53	15,4	83,8	0,184
61	15,7	83,8	0,187
70	16,2	83,9	0,193
76	16,5	84,0	0,196
85	16,9	84,2	0,201
90	17,3	84,4	0,205

Construindo um gráfico de R em função de T pode-se ver que a resistência aumenta de maneira aproximadamente linear com a temperatura. Se a resistência aumenta com a temperatura, a resistividade elétrica varia de maneira proporcional.

Utilizando a relação (1.19), com os dados extremos da Tab.(1.10) encontramos que o coeficiente de temperatura da resistividade médio do cobre é

$$\alpha = \frac{0{,}205 - 0{,}161}{0{,}161(90 - 20)},$$

donde vem

$$\alpha = 3{,}9 \times 10^{-7}(°C^{-1}).$$

1.51 Lâmpada Elétrica de Arco

Objetivo

Observar a formação de um arco elétrico.

Materiais Utilizados

2 bastões de carvão (retirados de pilhas velhas), conectores elétricos, fios rígidos, 1 fonte de tensão alternada ($110V$ ou $220V$), 1 ebulidor elétrico (compatível com a tensão da fonte), 1 recipiente com água, 2 parafusos, 1 chave de fenda, 1 base de madeira.

Montagem e Procedimento

Com a faca afine uma das pontas de cada bastão de carvão e, com pedaços de fios rígidos, faça dois suportes metálicos, apoiados numa base de madeira para prender o bastões, de modo que eles possam ser encostados ou afastados um do outro (Fig.1.51).

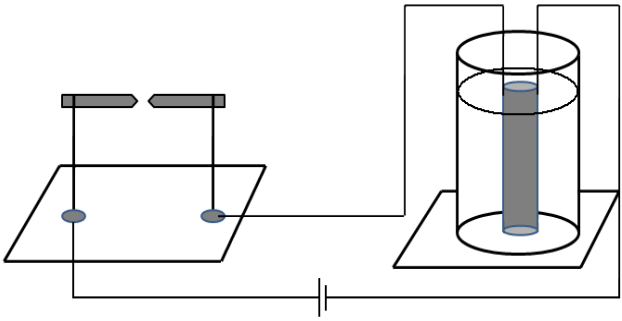

Figura 1.51: Lâmpada de arco.

Cada um dos bastões é conectado a um plugue, que vai conectado à uma fonte elétrica de corrente alternada. Em série com esse circuito coloque o ebulidor elétrico, mergulhado dentro de um recipiente com água.

O arco entre os bastões forma-se com uma tensão de cerca de $70V$. Por isso, a resistência ligada em série vai fazer com que haja uma tensão menor entre os bastões do que a fonte elétrica, além de permitir que haja um dissipação de energia no circuito, fazendo passar uma corrente considerável por ele.

Com os bastões desencostados e a resistência mergulhada na água, ligue os cabos conectores na fonte. Usando um alicate com cabo isolante, encoste as pontas dos bastões de carvão, pressionando um dos suporte de apoio. Fechando o circuito elétrico (a resistência começa a ferver a água) vá afastando vagarosamente o bastão (por poucos cm) e observe a formação de um arco luminoso entre eles, de intenso brilho. Tome cuidado ao olhar diretamente para a luz gerada.

Análise e Explicação

Quando se liga os cabos na fonte, não ocorre passagem de corrente elétrica, pois o circuito está aberto (os bastões não estão encostados). Mesmo estando próximos, a baixa tensão em que estão submetidos não permite que o fluxo de corrente rompa a resistência elétrica do ar entre eles. Para vencer cada mm de distância no ar é necessário cerca de $1.000V$ de tensão.

O encostamento dos dois bastões de carvão faz com que eles e o ar ao seu redor se aqueçam. Esse aquecimento arranca elétrons das moléculas dos gases, entre os quais vapor de água e dióxido de carbono gerado pelo carvão, formando um plasma. Isso reduz bastante a rigidez elétrica do ar e possibilita a passagem da corrente elétrica entre os bastões, mesmo depois de afastados. Essa corrente aquece o ar a cerca de $4.000°C$ e o arco de luz gerado é formado de plasma.

O arco elétrico recebe este nome porque a corrente de ar que se eleva tende a desviá-lo para cima, dando a ela a forma de arco. Grande parte da luz produzida não provém especificamente do arco, mas sim, das extremidades superaquecidas dos bastões de carvão, o qual alcança uma temperatura de cerca de $3.000°C$.

1.52 Esfera de Plasma

Objetivos

Verificar e estudar o funcionamento de uma esfera de plasma.

Materiais Utilizados

1 esfera de plasma.

Montagem e Procedimento

Ligue a esfera de plasma (Fig.1.52) e observe o seu funcionamento. Aproxime a mão sob a esfera e veja o comportamento dos filetes de plasma no seu interior.

Figura 1.52: Esfera de plasma.

Análise e Explicação

Cada filete observado na esfera está sob a forma de plasma, pois nele os átomos apresentam-se ionizados. Se você colocar a mão sobre a esfera, elétrons livres se descarregam através do seu corpo. Apesar de a voltagem elétrica ser alta, o contato com a esfera não é perigoso, pois a corrente que passará pelo seu corpo é de baixa intensidade.

Na base do aparelho existe um circuito eletrônico que gera o sinal de alta tensão (entre $8.000V$ e $15.000V$) numa frequência ao redor dos $20kHz$. A esfera é preenchida com pequena quantidade de gás inerte, geralmente neônio ou argônio. A baixa pressão interna fica por volta de $0{,}0001atm$, o que aumenta o livre caminho médio entre portadores de carga elétrica, antes de colidir com outros portadores ou átomos. Se o livre percurso médio é longo, os portadores de cargas podem acelerar durante maior intervalo de tempo e, com isso, adquirir maior energia cinética entre as colisões e, o mais importante, podem fazer isso com a aplicação de um campo elétrico pouco intenso. Desse modo, os efeitos das descargas nesse gás rarefeito são melhores apreciados do que se usássemos intensos campos elétricos em gases sob pressão atmosférica.

Sob o efeito do intenso campo elétrico que cerca o eletrodo central da esfera, ocorre a ionização do gás rarefeito e observa-se o faiscamento entre esse eletrodo central (sob alto potencial elétrico) e a esfera de vidro que está no potencial elétrico do solo. O faiscamento não tem direção privilegiada, uma vez que o eletrodo central (pequena esfera de vidro preenchida com farpas de grafite) é equidistante de qualquer porção da esfera de vidro externa. Quando um corpo aterrado (mão do experimentador, por exemplo) se aproxima da esfera, o campo elétrico fica mais intenso entre o eletrodo central e o solo. Nesse caso, as descargas ocorrerão preferencialmente nessa região da esfera, formando filetes elétricos mais intensos do que os fluxos anteriormente observados.

O uso da alta frequência previne danos no corpo humano, uma vez que as correntes elétricas que se dirigem para a terra, provenientes da esfera, em última instância percorrendo a mão e o corpo, não passam pelo interior do corpo, e sim pela superfície da pele. Isso protegerá o experimentador de qualquer choque elétrico que, de qualquer modo é bastante moderado, pois as correntes envolvidas têm baixas intensidades. Quando alguém aproxima sua mão da esfera haverá faísca entre a esfera e as pontas dos dedos. Se outra pessoa aproxima sua mão da mão dessa primeira haverá também faiscamento entre os dedos dessa segunda pessoa e a pele da mão da primeira. Ambas as pessoas sentirão as pequenas picadas do faiscamento.

1.53 Estudando um Capacitor

Objetivo

Observar como varia a tensão e a corrente em um capacitor quando este é submetido a um processo de carga e descarga em um circuito RC.

Materiais Utilizados

2 multímetros, 1 capacitor ($1000\mu F$, do tipo eletrolítico), 1 fonte de corrente contínua de baixa tensão (compatível com a tensão do capacitor), fios conectores, 1 resistor (em torno de 500Ω), 1 cronômetro[12].

Montagem e Procedimento

Monte o circuito RC (resistor - capacitor) conforme o esquema da Fig.(1.53). Preste atenção na polaridade do capacitor, o qual deve ser ligado corretamente.

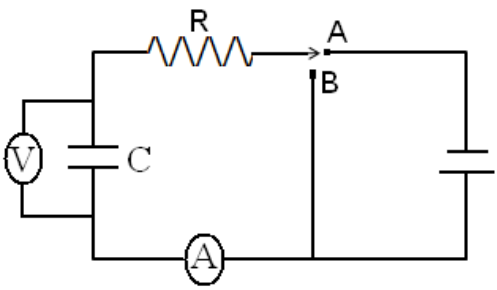

Figura 1.53: Estudo de um capacitor.

Conecte um multímetro (voltímetro) em paralelo com o capacitor e o outro (amperímetro) em série com ele. Feche o circuito em A de modo que o capacitor inicie o carregamento e observe como varia a tensão sobre ele, bem como a intensidade da corrente que passa pelo circuito. Feche a chave A e

[12] Diversos celulares possuem cronômetros bons.

acione simultaneamente o cronômetro até atingir uma determinada tensão no capacitor (de maneira uniforme). Após cada registro descarregue o capacitor, colocando-o em curto-circuito (fechando a chave B). Por exemplo, feche o circuito e marque o tempo que a tensão demora para elevar-se até $2V$. Descarregue o capacitor e marque o tempo que a tensão demora para subir até $4V$, e assim sucessivamente. Se tiver um cronômetro que vai marcando os tempos acumulados, o processo pode ser feito na sequência.

Depois de carregar totalmente o capacitor feche o circuito em B, de modo a descarregá-lo. Anote numa tabela os valores da tensão em função do tempo. Com esses dados desenhe gráficos de $U \times t$. O resistor R é acoplado em série ao circuito para suavizar a carga ou descarga do capacitor.

Análise e Explicação

Um capacitor é formado por duas placas condutoras separadas por um isolante. Quando se estabelece uma diferença de potencial (tensão) entre tais placas há um fluxo de cargas para elas, de modo que as mesmas ficam carregadas eletricamente com cargas de sinais contrários.

A carga Q que um capacitor armazena é proporcional à tensão U entre seus terminais:

$$Q = CU,$$

onde C é a constante de proporcionalidade denominada capacitância. A capacitância C depende apenas das características do capacitor, e sua unidade de medida é o Faraday (F).

Quando um capacitor descarregado é ligado a um gerador, ele começa a acumular carga elétrica. As armaduras do capacitor adquirem cargas elétricas de mesmo valor Q e sinais opostos. Durante o processo de carregamento a quantidade de carga armazenada no capacitor aumenta com o tempo até atingir um valor máximo (Fig.1.54-a) e a corrente diminui. Quando o capacitor estiver carregado, $i = 0$ (Fig.1.54-b).

No experimento realizado a fonte era de $24V$, o capacitor tinha capacitância de $100\mu F$ e o resistor resistência de $220k\Omega$. Os dados obtidos durante o carregamento do capacitor estão na Tab.(1.11), com os quais construiu-se o gráfico da Fig.(1.55).

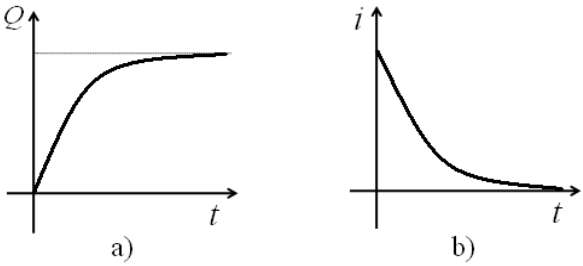

Figura 1.54: Gráfico do carregamento de um capacitor: a- $Q \times t$; b- $i \times t$.

Tabela 1.11: Valores de U e t durante o carregamento do capacitor.

$U(V)$	$t(s)$
2,0	2,09
6,0	5,62
9,0	8,78
12,0	15,50
15,0	18,03
18,0	28,56
21,0	53,84
24,0	254,00

Observa-se que inicialmente a voltagem aumenta rapidamente, tornando-se mais lenta quanto mais próxima da voltagem máxima se aproximar. A intensidade da corrente é máxima no início e vai decrescendo a seguir. Isso ocorre porque, estando inicialmente vazio, é facilitado o acúmulo de cargas no interior do capacitor. Conforme ele vai ficando carregado, as cargas que já estão armazenadas vão repelindo as que estão chegando, tornando mais difícil o processo.

Inicialmente carregou-se o capacitor até o seu máximo ($24V$, ou bem próximo deste). A seguir colocou-se o capacitor em curto circuito, registrando

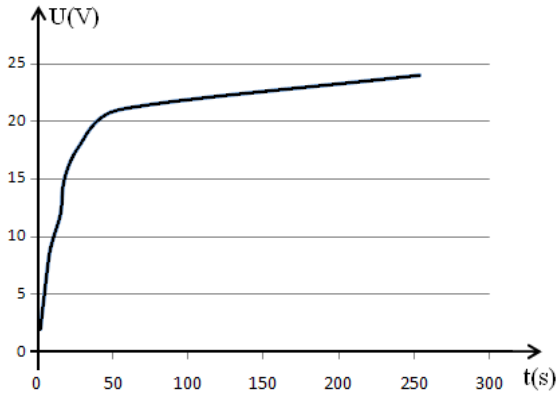

Figura 1.55: Gráfico de $U \times t$ durante o carregamento do capacitor.

com o cronômetro os intervalos de tempo correspondentes para a queda de tensão ($2V$ em $2V$), os quais estão dispostos na Tab.(1.12).

Durante o descarregamento as cargas concentradas no capacitor repelem--se intensamente no início, afastando-se umas das outras, o que faz com que a corrente inicial seja alta e depois vá diminuindo com o tempo.

1.54 Capacitores em Série

Objetivo

Estudar as características de uma associação de capacitores em série.

Materiais Utilizados

1 fonte de baixa tensão de corrente contínua, 1 multímetro, 2 capacitores (com capacitâncias conhecidas, da mesma ordem mas com valores diferentes), conectores elétricos.

Tabela 1.12: Valores de U e t durante o descarregamento do capacitor.

$U(V)$	$t(s)$
22,0	1,66
20,0	4,13
18,0	6,88
16,0	9,00
14,0	11,47
12,0	14,57
10,0	18,54
8,0	22,22
6,0	26,24
4,0	36,00
2,0	60,00
0,0	127,00

Montagem e Procedimento

Associe os capacitores em série, como no diagrama da Fig.(1.57), e os carregue totalmente. Com o multímetro meça as tensões em que os capacitores c_1 e c_2 estão submetidos (respectivamente as tensões U_{AB} e U_{BD}), bem como a tensão em que a associação está submetida (tensão U_{AD}).

Em seguida calcule a carga elétrica acumulada em cada capacitor, considerando o valor das suas capacitâncias e as tensões medidas. Determine também a capacitância equivalente usando os dados já conhecidos.

Análise e Explicação

Na associação em série as cargas elétricas acumuladas nos capacitores são iguais:

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3,$$

porque a carga que vai para a placa de um capacitor veio do outro capacitor. Isso ocorre porque cada capacitor é percorrido pela mesma corrente até ser carregado.

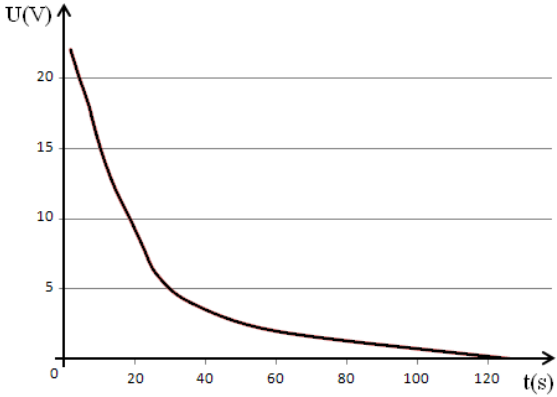

Figura 1.56: Gráfico de $U \times t$ durante o descarregamento do capacitor.

A tensão total da associação divide-se em cada capacitor, de modo que

$$U = U_1 + U_2 + U_3. \tag{1.20}$$

Sendo a tensão em cada capacitor dada por

$$U = \frac{Q}{C}, \tag{1.21}$$

encontramos a capacitância do capacitor equivalente levando (1.21) em (1.20):

$$\frac{Q}{C_{eq}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3},$$

donde vem

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}.$$

A associação em série é usada quando se deseja dividir a tensão entre vários capacitores, sendo que individualmente eles não sustentam a tensão total. A tensão por capacitor é inversamente proporcional à capacitância, ou seja, o capacitor de maior capacitância estará submetido a menor tensão.

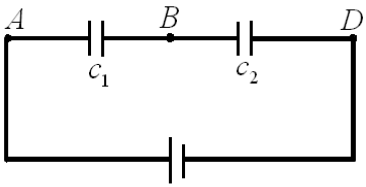

Figura 1.57: Capacitores associados em série.

1.55 Capacitores em Paralelo

Objetivo

Estudar as características de uma associação de capacitores em paralelo.

Materiais Utilizados

1 fonte de baixa tensão de corrente contínua, 1 multímetro, 2 capacitores (com capacitâncias conhecidas, da mesma ordem mas com valores diferentes), conectores elétricos.

Montagem e Procedimento

Ligue os capacitores em paralelo, como representado no esquema da Fig.(1.58). Meça as tensões U_{AB} e U_{DE} e determine os valores das mesmas grandezas encontradas na associação em série.

Análise e Explicação

Na associação em paralelo a tensão total é a mesma que a tensão entre as placas de cada capacitor:

$$U = U_1 = U_2 = U_3. \tag{1.22}$$

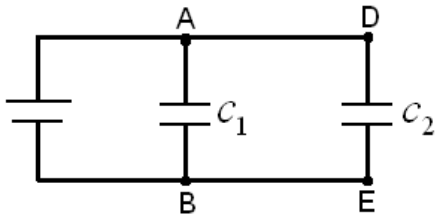

Figura 1.58: Capacitores associados em paralelo.

A carga total armazenada pela associação é a soma da carga armazenada por cada capacitor:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3. \tag{1.23}$$

Sendo $Q = CU$, determinamos a capacitância do capacitor equivalente a partir de (1.23):

$$C_{eq}U = C_1U_1 + C_2U_2 + C_3U_3. \tag{1.24}$$

Relacionando (1.22) com (1.24) obtemos

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3.$$

A associação em paralelo é usada quando se deseja uma grande capacitância para uma mesma tensão, geralmente baixa, no capacitor. É utilizada quando deseja-se acumular uma grande quantidade de cargas elétricas.

1.56 Lei de Ohm Generalizada

Objetivos

Construir um circuito e estudá-lo aplicando a lei de Ohm generalizada.

Materiais Utilizados

2 multímetros, 2 pilhas (ou 2 baterias), 2 resistores, 1 motor elétrico (compatível com a tensão da fonte), cabos conectores.

Montagem e Procedimento

Monte um circuito com os componentes citados, como representado na Fig.(1.59). O circuito pode ser de outro tipo e com um número diferente de componentes. Utilizando os dois multímetros (um como voltímetro e o outro como amperímetro) obtenha dados dos componentes e faça um estudo utilizando a lei de Ohm generalizada.

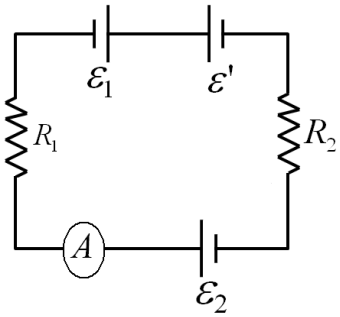

Figura 1.59: Circuito formado por dois geradores, um receptor e dois resistores.

Análise e Explicação

Consideremos um circuito formado por um gerador, um receptor e um resistor, como mostra o esquema da Fig.(1.60).

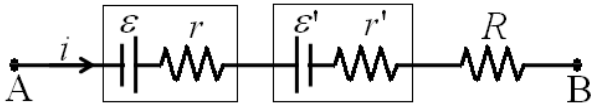

Figura 1.60: Circuito formado por um gerador, um receptor e um resistor.

As tensões elétricas no gerador (U_g), no receptor (U_r) e no resistor (U_R)

são dadas, respectivamente por

$$U_g = \varepsilon - ri,$$

$$U_r = -\varepsilon' - r'i,$$

$$U_R = -Ri.$$

Os termos com sinal negativo indicam a diminuição do potencial entre os terminais de tal dispositivo.

A diferença de potencial entre os pontos A e B do circuito é dada pela soma das variações de tensões em cada dispositivo:

$$U_{AB} = \varepsilon - ri - \varepsilon' - r'i - Ri,$$

ou

$$U_{AB} = \varepsilon - \varepsilon' - (r + r' + R)i. \tag{1.25}$$

De maneira geral, se existirem vários geradores, receptores e resistores no circuito, escrevemos a Eq.(1.25) como

$$U_{AB} = \sum \varepsilon - \sum \varepsilon' - \sum (r + r' + R)i, \tag{1.26}$$

que é conhecida como lei de Ohm generalizada por considerar todos os dispositivos de um circuito elétrico fechado.

Considerando os pontos A e B coincidentes, ou seja, um circuito fechado, a diferença de potencial entre esses dois pontos será nula ($U_{AB} = 0$), de modo que escrevemos (1.26) como

$$\sum \varepsilon - \sum \varepsilon' = \sum (r + r' + R)i. \tag{1.27}$$

1.57 Ponte de Fio Deslizante

Objetivo

Estudar as pontes de Wheatstone e de fio deslizante.

Materiais Utilizados

1 multímetro, 2 resistores (resistências diferentes, mas de mesma ordem de grandeza), cabos conectores, 1 régua, 1 condutor homogêneo, 1 fonte de baixa tensão de corrente contínua.

Montagem e Procedimento

Com o multímetro (ohmímetro) meça as resistências dos resistores. Em seguida monte o experimento de acordo com o esquema da Fig.(1.61), usando o multímetro como amperímetro.

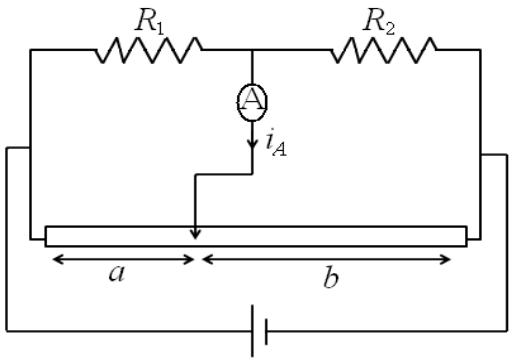

Figura 1.61: Ponte de fio deslizante.

Estique o condutor homogêneo ao longo de uma régua graduada. Estando o cursor ligado ao amperímetro, deslize-o pelo fio, mantendo sempre contato com ele. Quando o cursor se encontra numa determinada posição da régua, o amperímetro acusará $i_A = 0$, o que significa que a ponte de fio entrou em equilíbrio. Conhecendo o valor de um dos resistores, e através dos valores de a e b, calcule o valor da resistência do outro resistor.

Análise e Explicação

Antes de comentarmos sobre a ponte de fio vamos falar sobre a ponte de Wheatstone, que foi inventada em 1833 por S. H. Chriestie e posta em prática a partir de 1847 por Charles Wheatstone. A ponte de Wheatstone é um circuito utilizado em medidores elétricos para obter o valor de uma resistência desconhecida, a partir de um conjunto de outras resistências conhecidas. Geralmente utiliza-se quatro resistências, sendo duas fixas e de valores conhecidos, uma variável e de valor conhecido, e uma fixa e de valor desconhecido, a qual pretende-se determinar.

Considere o esquema da Fig.(1.62), onde R_1 é uma resistência fixa desconhecida, R_2 é uma resistência variável (reostato), R_3 e R_4 são resistências conhecidas.

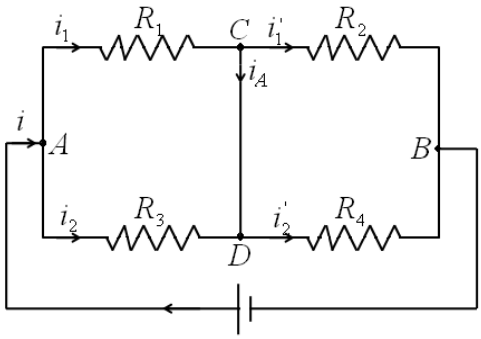

Figura 1.62: Ponte de Wheatstone.

Para determinar R_1 varia-se a resistência R_2 até que o amperímetro não acuse mais a passagem de corrente ($i_A = 0$). Nessas condições tem-se que $V_C = V_D$, $i_1 = i_1'$ e $i_2 = i_2'$.

Aplicando a primeira lei de Ohm nos resistores R_1 e R_3 temos que $V_A - V_C = R_1 i_1$ e $V_A - V_D = R_3 i_2$. Sendo que $V_C = V_D$, dessas duas relações vem que

$$R_1 i_1 = R_3 i_2. \tag{1.28}$$

Nos resistores R_2 e R_4 temos que $V_C - V_B = R_2 i_1'$ e $V_D - V_B = R_4 i_2'$. Sendo $V_C = V_D$, $i_1 = i_1'$ e $i_2 = i_2'$, temos

$$R_2 i_1 = R_4 i_2. \tag{1.29}$$

Dividindo a Eq.(1.28) pela Eq.(1.29) encontramos que R_1 é dado por

$$R_1 = R_2 \frac{R_3}{R_4}. \tag{1.30}$$

Na ponte de fio (ponto de fio deslizante, mais precisamente) os resistores R_3 e R_4 são substituídos por um fio condutor homogêneo, de secção reta constante, esticado ao longo de uma régua graduada. Um esquema da ponte de fio deslizante está representado na Fig.(1.61).

Consideremos o fio condutor de raio r e comprimentos parcelados a e b. Sendo a resistência de um condutor dada por $R = \rho l/A$, as resistências R_3 e R_4, referentes respectivamente aos comprimentos a e b, são

$$R_3 = \rho \frac{a}{A}, \tag{1.31}$$

$$R_4 = \rho \frac{b}{A}. \tag{1.32}$$

Substituíndo (1.31) e (1.32) em (1.30) obtemos

$$R_1 = R_2 \frac{a}{b}. \tag{1.33}$$

A seguir temos dois conjunto de dados obtidos experimentalmente, sendo sempre R_1 o resistor desconhecido:

Conjunto 1: $R_2 = 2200\Omega$, $a = 0{,}129m$, $b = 0{,}871m$. Utilizando a relação (1.33) encontramos $R_1 = 325{,}8\Omega$. O valor de R_1 medido diretamente com o ohmímetro foi de $326{,}0\Omega$.

Conjunto 2: $R_2 = 220\Omega$, $a = 0{,}312m$, $b = 0{,}688m$. Da mesma maneira que o conjunto de dados anterior, encontramos $R_1 = 99{,}8\Omega$, contra um valor de 100Ω medido com o ohmímetro.

Atualmente este método não é mais utilizado frequentemente para a medida da resistência, como foi no passado. Mas sim, é utilizado em diversos circuitos de sensores eletrônicos, e por meio dele são medidas grandezas físicas tais como temperatura, força e pressão.

1.58 Motor e Lâmpada em Série

Objetivo

Estudar o comportamento de um motor e de uma lâmpada elétrica associados em série num circuito de corrente contínua.

Materiais Utilizados

1 motor elétrico pequeno, 1 lâmpada elétrica, 1 fonte de corrente contínua (pode ser uma pilha de $1{,}5V$, uma bateria de $9{,}0V$, ou qualquer outra fonte de corrente contínua, desde que o motor e a lâmpada sejam compatíveis com a tensão fornecida), 1 multímetro, conectores elétricos.

Montagem e Procedimento

O esquema da montagem do experimento está representado na Fig.(1.63), o qual mostra o motor e a lâmpada estão associados em série com a fonte. Ligue o circuito e observe que apenas o motor funciona. A lâmpada pode até apresentar um rápido brilho, mas que logo desaparecerá.

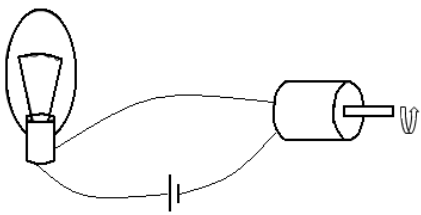

Figura 1.63: Motor e lâmpada associados em série.

Estando o motor em funcionamento prenda o seu eixo, de modo que ele não possa girar, por $1s$ ou $2s$, no máximo, e depois solte-o. Observe que o brilho da lâmpada aumenta.

Conecte o multímetro (voltímetro) em paralelo com o motor e depois com a lâmpada e acompanhe como varia a tensão a que ele é submetido, estando

o motor com o eixo livre e o eixo preso. Observe que, com o eixo livre a tensão no motor é bem maior que na lâmpada, e com o eixo travado a tensão nos terminais do motor diminui e nos terminais da lâmpada sobe, bem como o brilho desta última.

Análise e Explicação

Na situação em que o motor está a girar livremente, a intensidade de corrente elétrica que passa pelo circuito é suficiente para acionar o motor, mas não para ligar a lâmpada. Estando o circuito fechado, este contém a fonte com uma força eletromotriz ε e uma resistência interna r, a lâmpada com uma resistência R e o motor com uma força contra eletromotriz ε' e uma resistência interna r'. Neste caso, a partir de (1.27) temos que a corrente no circuito tem intensidade dada por

$$i_1 = \frac{\varepsilon - \varepsilon'}{r + r' + R}. \tag{1.34}$$

Com o eixo do motor bloqueado para girar, o circuito passa a ser constituído pela pilha com força eletromotriz ε e resistência r, a lâmpada com resistência R e o motor com resistência interna r'. Daí vem que a corrente que passa pelo circuito é

$$i_2 = \frac{\varepsilon}{r + r' + R}. \tag{1.35}$$

Comparando (1.34) e (1.35) temos que

$$i_2 > i_1,$$

ou seja, a corrente que passa pelo circuito é maior quando o eixo do motor está travado.

Estando o eixo livre, a tensão nos terminais do motor é

$$U_{m_1} = \varepsilon' + r' i_1. \tag{1.36}$$

Levando (1.34) em (1.36)

$$U_{m_1} = \varepsilon' + r' \left(\frac{\varepsilon - \varepsilon'}{r + r' + R} \right),$$

obtemos

$$U_{m_1} = \frac{\varepsilon r' + \varepsilon'(R + r)}{r + r' + R}. \tag{1.37}$$

Com o eixo preso, a tensão nos terminais do motor é

$$U_{m_2} = r' i_2. \tag{1.38}$$

Levando (1.35) em (1.38) obtemos

$$U_{m_2} = \frac{\varepsilon r'}{r + r' + R}. \tag{1.39}$$

Comparando (1.37) com (1.39) percebemos que

$$U_{m_1} > U_{m_2},$$

ou seja, a tensão no motor é maior quando está girando livremente do que quando está bloqueado.

De maneira semelhante para a lâmpada, temos que a tensão nos seus terminais, estando o motor girando, é

$$U_{l_1} = R i_1,$$

donde vem

$$U_{l_1} = \frac{R(\varepsilon - \varepsilon')}{r + r' + R}. \tag{1.40}$$

Quando o eixo está travado

$$U_{l_2} = R i_2$$

, temos

$$U_{l_2} = \frac{\varepsilon R}{r + r' + R}. \tag{1.41}$$

Comparando (1.40) e (1.41) temos que

$$U_{l_2} > U_{l_1},$$

ou seja, a tensão em que a lâmpada é submetida é maior quando o motor está travado do que quando está girando.

Dessa forma, a lâmpada brilha mais intensamente quando o motor é travado, pois tanto a tensão em que está submetida quanto à corrente que passa por ela aumentam. Sendo a potência que ela dissipa dada por $P = Ui$, se U e i aumentam, a potência P também aumenta.

1.59 Circuito Paradoxal 1

Objetivo

Estudar um circuito que a principio apresenta-se como paradoxal.

Materiais Utilizados

3 fontes iguais de corrente contínua (3 pilhas, por exemplo), 2 multímetros, cabos conectores.

Montagem e Procedimento

Conecte as três fontes em série com um multímetro (amperímetro) e forme um circuito fechado, como mostra a Fig.(1.64).

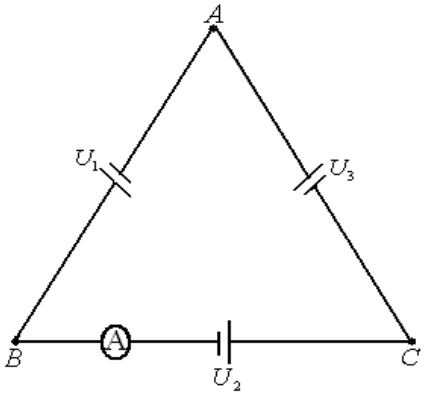

Figura 1.64: Circuito paradoxal 1.

Com o multímetro (voltímetro) meça as tensões entre cada fonte, ou seja, as tensões entre os pontos A e B, B e C, C e A. Constate que tais tensões são nulas. Mas isso parece contraditório, pois existe uma corrente percorrendo o circuito, como pode ser constatado pelo amperímetro, mas a tensão em cada fonte é nula.

Análise e Explicação

As três fontes são iguais, cada qual possuindo uma força eletromotriz ε e uma resistência interna r. De acordo com a lei de Ohm generalizada $\Sigma\varepsilon = \Sigma(r)i$, temos que a intensidade da corrente i no circuito é $i = 3\varepsilon/3r$, donde vem

$$i = \frac{\varepsilon}{r}. \tag{1.42}$$

A tensão elétrica medida nas extremidades de uma fonte (entre os pontos A e B, por exemplo) é igual a força eletromotriz da fonte menos a queda de potencial no interior da fonte:

$$U = \varepsilon - ri \tag{1.43}$$

Substituindo (1.42) em (1.43), temos

$$U = \varepsilon - r\frac{\varepsilon}{r},$$

donde vem

$$U = 0.$$

Isso significa que a queda de potencial no interior da fonte $U = ri$ é igual a sua força eletromotriz ε. Por isso a tensão entre os terminais de cada fonte é nula.

1.60 Circuito Paradoxal 2

Objetivos

Montar e estudar um circuito em que uma lâmpada de menor potência brilha mais intensamente que a de maior potência.

Materiais Utilizados

1 fonte de eletricidade, 2 lâmpadas (com potências diferentes e compatível com a tensão da fonte).

Montagem e Procedimento

Associe as duas lâmpadas (1 e 2) em série e ligue o circuito na fonte, conforme mostra o esquema da Fig.(1.65). Observe que a de menor potência nominal (2) dissipa mais energia que a outra (1).

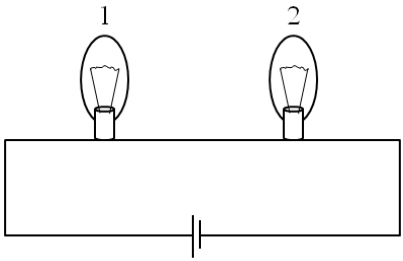

Figura 1.65: Lâmpadas associadas em série.

Análise e Explicação

Seja as lâmpadas 1 e 2, com respectivas resistências R_1 e R_2. A potência elétrica P dissipada por cada uma dessas lâmpadas é

$$P_1 = R_1 i_1^2,$$

$$P_2 = R_2 i_2^2.$$

Estando as lâmpadas ligadas em série, a corrente elétrica que passa por elas é a mesma, de modo que $i_1 = i_2 = i$. Dessa forma, podemos escrever P_1 e P_2 como

$$P_1 = R_1 i^2, \tag{1.44}$$

$$P_2 = R_2 i^2. \tag{1.45}$$

Consideremos a lâmpada 1 com potência nominal maior que a lâmpada 2. Sabendo que a lâmpada de maior potência possui menor resistência elétrica,

temos que a lâmpada 2 tem maior resistência que a lâmpada 1. Portanto, sendo $R_1 < R_2$, através de (1.44) e (1.45) vem que

$$P_1 < P_2.$$

Isso significa que numa associação de lâmpadas em série brilha mais intensamente a que tiver maior resistência elétrica, pois a corrente que passa pela associação é a mesma. Diferentemente do que numa associação de lâmpadas em paralelo, onde vai brilhar mais a lâmpada de menor resistência, pois, estando submetidas à mesma tensão, vai passar mais corrente por ela.

1.61 Energia Elétrica e Mecânica

Objetivos

Verificar e medir a conversão de energia elétrica em energia mecânica num motor elétrico.

Materiais Utilizados

1 gancho pequeno, massas pequenas, 2 multímetros, 1 fio de linha, 1 suporte com garra, 1 fonte de corrente contínua de baixa tensão, 1 motor pequeno (compatível com a tensão da fonte, com um eixo maior adaptado, se necessário), cabos conectores, 1 trena, 1 cronômetro, 1 balança de precisão, pedaços de fio de $Ni - Cr$ (para fazer um potenciômetro, se necessário).

Montagem e Procedimento

Monte o experimento de acordo com o esquema da Fig.(1.66). Prenda o motor no suporte, de modo que ele possa erguer uma massa m por uma altura h enrolando o fio que sustenta a carga no meio do eixo.

Monte o circuito elétrico de acordo com a Fig.(1.67). Com um multímetro (voltímetro) meça a tensão a que o motor é submetido e com o outro (amperímetro) acompanhe a intensidade da corrente elétrica que passa por ele. Para controlar a rotação do motor, se necessário varie o valor da resistência no fio de

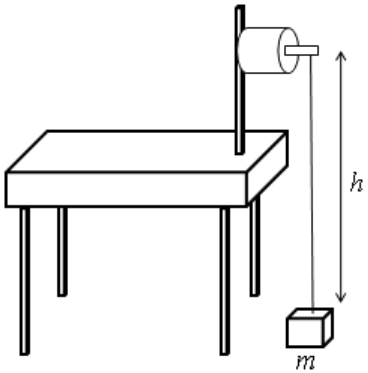

Figura 1.66: Motor erguendo uma massa.

$Ni - Cr$. A rotação do motor deve ser baixa para facilitar o acompanhamento e a medida do tempo.

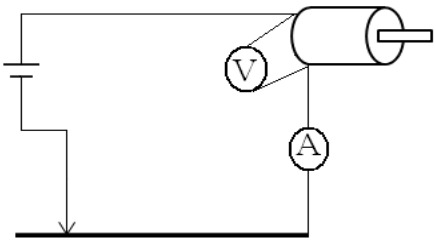

Figura 1.67: Esquema do circuito elétrico.

Determine a massa m do objeto pendurado na ponta do fio, medindo-a na balança de precisão. Após ajustar a rotação do motor, ligue-o e anote os valores da tensão U e da corrente i, bem como marque o tempo gasto para erguer a carga por uma altura h, a qual é determinada por uma trena.

Com os dados obtidos calcule as quantidades de energia elétrica e mecânica

envolvidas no processo.

Análise e Explicação

Funcionando por um intervalo de tempo Δt o motor consome uma quantidade de energia elétrica dada por

$$E_{el} = Ui\Delta t, \tag{1.46}$$

onde $P = Ui$ é a sua potência.

Ao ser elevada até uma altura h a massa m adquire uma energia mecânica (energia potencial) dada por

$$E_m = mgh. \tag{1.47}$$

Comparando os dados experimentais com os valores fornecidos pelas equações (1.46) e (1.47) constata-se que eles ficam próximos. Se não houvesse perda de energia, como no atrito envolvido no movimento e devido à resistência interna do motor, toda a energia elétrica seria convertida em energia mecânica, de modo que

$$E_{el} = E_m.$$

1.62 Potência de um Gerador Elétrico

Objetivo

Verificar em que condições há o fornecimento de potência útil máxima por um gerador elétrico.

Materiais Utilizados

Um gerador (1 pilha $1{,}5V$), 1 reostato, 2 multímetros, cabos conectores.

Montagem e Procedimento

Monte o experimento de acordo com o esquema da Fig.(1.68). Varie a resistência do reostato e recolha dados de tensão U e corrente i sobre ele.

Através de uma análise destes dados verifique em que condições o gerador elétrico fornece potência máxima.

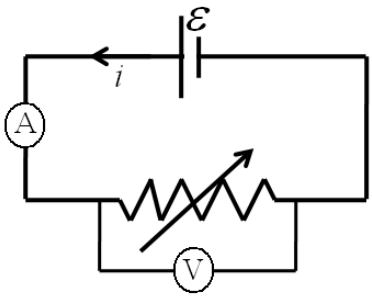

Figura 1.68: Gerador, reostato, multímetro e amperímetro.

Análise e Explicação

A potência elétrica total P_t fornecida pelo gerador é

$$P_t = \varepsilon i,$$

onde ε é a sua força eletromotriz e i a intensidade de corrente por ele fornecida.

A potência elétrica útil P_u transferida pelo gerador ao reostato é dada por

$$P_u = Ui, \tag{1.48}$$

onde U é a tensão elétrica entre seus terminais. De acordo com a equação característica do gerador $U = \varepsilon - ri$, escrevemos (1.48) como

$$P_u = \varepsilon i - ri^2, \tag{1.49}$$

onde r é a resistência interna do gerador. Sendo ε e r constantes, percebemos que a potência útil depende da intensidade de corrente i, e é uma função do 2º grau. Desenhando o gráfico de $P_u \times i$ obtemos uma parábola (Fig.1.69), cujas raízes são $i = 0$ e $i = \varepsilon/r$. $i = 0$ refere-se ao circuito aberto e $i = \varepsilon/r$ refere-se à corrente de curto circuito $i = i_{cc}$.

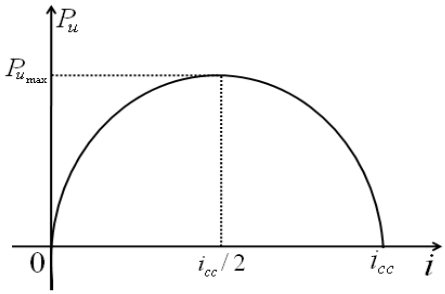

Figura 1.69: Gráfico de $P_u \times i$ para um gerador elétrico.

Pela simetria do gráfico percebemos que o gerador transfere potência útil máxima ($P_{u_{max}}$) ao reostato quando a intensidade de corrente elétrica no circuito é metade da corrente de curto-circuito ($i = i_{cc}/2$), de modo que

$$i = \frac{\varepsilon}{2r}. \tag{1.50}$$

Levando (1.50) em (1.49) temos que a potência útil máxima fornecida pelo gerador é dada por

$$P_{u_{max}} = \frac{\varepsilon^2}{4r}. \tag{1.51}$$

Relacionando (1.50) com a equação do gerador $U = \varepsilon - ri$ temos que, quando o gerador transfere potência máxima, a tensão entre seus terminais é

$$U = \frac{\varepsilon}{2}. \tag{1.52}$$

Sendo $\varepsilon = (R + r)i$, usando (1.50) vem que a resistência elétrica do reostato na situação de $P_{u_{max}}$ do gerador é

$$R = r. \tag{1.53}$$

Sendo que o rendimento elétrico η do gerador é definido por $\eta = P_u/P_t$, donde vem $\eta = U/\varepsilon$, usando (1.52) temos que, quando ele está transferindo potência máxima:

$$\eta = 0{,}5 = 50\%.$$

Observe que a máxima transferência de potência ocorre com um rendimento não muito alto. Por isso a condição de máxima transferência de potência raramente é imposta a sistemas de grande potência, pois perde-se uma quantidade de energia igual à que é transferida.

No experimento utilizou-se uma pilha, com $\varepsilon = 1{,}51V$. A Tab.(1.13) mostra os valores de U e i obtidos, bem como a potência útil obtida por $P_u = Ui$.

Tabela 1.13: Valores de U, i e P_u de um gerador.

$U(V)$	$i(A)$	$P_u(W)$
1,41	0,02	0,03
1,40	0,03	0,04
1,37	0,04	0,05
1,35	0,05	0,07
1,27	0,07	0,09
1,17	0,11	0,13
1,01	0,17	0,18
0,91	0,21	0,20
0,80	0,26	0,21
0,32	0,44	0,16
0,08	0,58	0,01
0,07	0,59	0,01

Com os dados da Tab.(1.13) desenhou-se um gráfico de $U \times i$ e obteve-se aproximadamente uma reta (Fig.1.70), o que é condizente com a equação do gerador $U = \varepsilon - ri$. Da mesma forma desenhou-se um gráfico de $P_u \times i$, o qual tem a forma de uma parábola (Fig.1.71), sendo condizente com a relação $P_u = \varepsilon i - ri^2$.

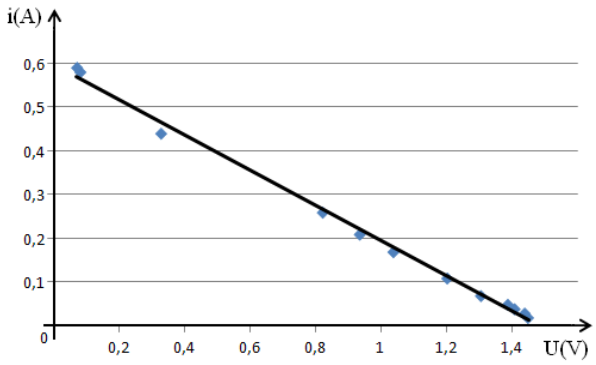

Figura 1.70: Gráfico de $U \times i$ para um gerador elétrico.

1.63 Lâmpada que Não Liga

Objetivos

Construir um circuito em que uma das lâmpadas não liga e discutir o porquê disso.

Materiais Utilizados

2 fontes iguais de corrente contínua (2 pilhas, por exemplo), 3 lâmpadas iguais (compatível com a tensão da fonte), cabos conectores.

Montagem e Procedimento

Monte o circuito de acordo com o esquema da Fig.(1.72). Veja bem a orientação dos polos das fontes. Estando o circuito com a chave C aberta, perceba que as lâmpadas L_1 e L_2 apresentam o mesmo brilho e que L_3 está apagada. Fechando a chave C, nada acontece. Mas por que a lâmpada L_3 não liga?

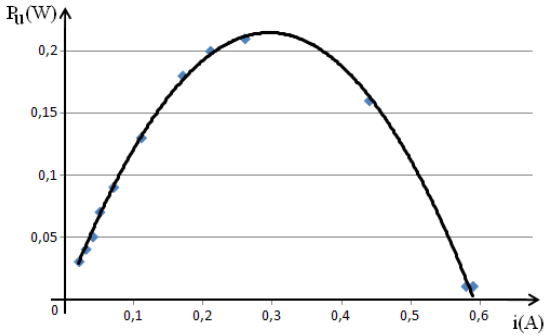

Figura 1.71: Gráfico de $P_u \times i$ para um gerador elétrico.

Análise e Explicação

Mesmo estando a chave C fechada a lâmpada L_3 não brilha. Isso ocorre porque a diferença de potencial entre os pontos A e B é nula, ou seja, não passa nenhuma corrente elétrica por ela. Na sequência vamos provar isso usando as leis de Kirchhoff.

Circuitos elétricos simples formados por uma única malha podem ser analisados com base nas regras de associação de resistores em série e em paralelo e na primeira lei de Ohm. Circuitos mais complexos são analisados mais facilmente utilizando-se as leis de Kirchhoff.

Num circuito elétrico podem existir as seguintes estruturas:

- Nó: é qualquer ponto do circuito onde ocorre a intersecção de três ou mais fios condutores, em que as correntes elétricas se juntam ou se dividem.

- Ramo: corresponde a qualquer trecho do circuito que liga dois nós consecutivos.

- Malha: corresponde a um conjunto de dois ou mais ramos que compõem um circuito fechado.

A primeira lei de Kirchhoff, também chamada lei dos nós, é baseada na conservação da carga elétrica, e diz que:

Em um nó a soma das intensidades das correntes que chegam é

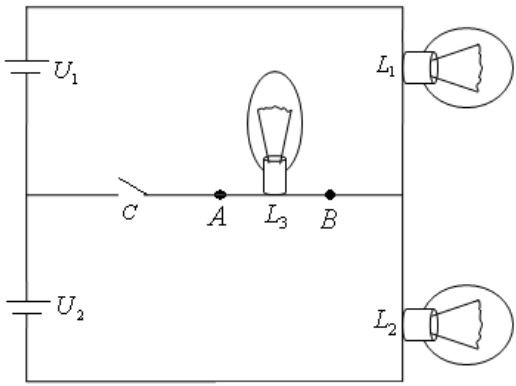

Figura 1.72: A lâmpada L_3 não liga.

igual à soma das intensidades das correntes que saem. Matematicamente isso é escrito como

$$\sum i_0 = \sum i.$$

A segunda lei de Kirchhoff, também conhecida como lei das malhas, é baseada na conservação da energia, e diz que:

Percorrendo uma malha num mesmo sentido, a soma algébrica das tensões é nula, ou seja,

$$\sum U = 0.$$

Num circuito fechado ou malha a soma das tensões que aumentam o potencial é igual a soma das tensões que diminuem o potencial. Por convenção considera-se a força eletromotriz positiva no gerador quando o sentido da corrente é do polo negativo para o polo positivo, pois isso faz com que aumente a tensão no circuito. Já nos receptores, que diminuem a tensão, a corrente elétrica entra pelo polo positivo e sai pelo polo negativo, sendo sua força contra

eletromotriz negativa. De maneira semelhante os resistores diminuem a tensão no circuito, de modo que a tensão nos seus terminais também é negativa.

Na Fig.(1.73) temos um esquema representando o circuito do experimento aqui realizado, o qual vamos analisá-lo aplicando as leis de Kirchhoff.

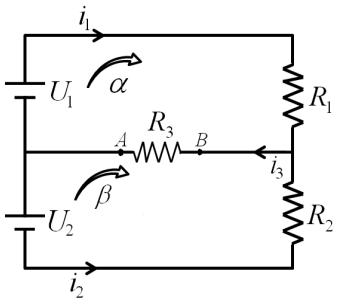

Figura 1.73: Circuito com duas malhas.

De acordo com a 1ª lei de Kirchhoff,

$$i_3 = i_1 + i_2. \tag{1.54}$$

Aplicando a 2ª lei de Kirchhoff, de acordo com o sentido escolhido, para as malhas α e β temos, respectivamente, as seguintes relações:

$$\begin{cases} U_1 - R_1 i_1 - R_3 i_3 = 0 \\ U_2 + R_3 i_3 + R_2 i_2 = 0 \end{cases}. \tag{1.55}$$

Sendo $U_1 = U_2 = U$ e $R_1 = R_2 = R_3 = R$, o sistema (1.55) fica

$$\begin{cases} U - Ri_1 - Ri_3 = 0 \\ U + Ri_3 + Ri_2 = 0 \end{cases}. \tag{1.56}$$

Isolando U na 1ª equação do sistema (1.56)

$$U = Ri_1 + Ri_3,$$

e substituindo na 2ª equação

$$R_1 + Ri_3 + Ri_3 + Ri_2 = 0,$$

vem

$$i_1 + i_2 + 2i_3 = 0. \tag{1.57}$$

Isolando i_1 na Eq.(1.54)

$$i_1 = i_3 - i_2,$$

e substituindo em (1.57)

$$(i_3 - i_2) + i_2 + 2i_3 = 0,$$

$$3i_3 = 0,$$

vem que

$$i_3 = 0,$$

ou seja, não passa corrente pela lâmpada L_3, de modo que a tensão entre os pontos A e B é nula.

1.64 Construindo um Imã

Objetivo

Construir um imã.

Materiais Utilizados

1 imã, 1 agulha de aço, 1 prego (ou qualquer outro objeto ferromagnético).

Montagem e Procedimento

Para fazer, a partir de um imã, outro imã que conserve por um bom tempo o seu magnetismo, é necessário utilizar materiais de aço duro (agulhas, clipes, agulhas de tricô metálicas, etc). Eles ficarão imantados por um longo tempo. Materiais formados por ferro doce conservam seu magnetismo por pouco tempo, como por exemplo pregos, arame, etc.

Esfregue um dos polos do imã na agulha sempre ao longo do seu comprimento e no sentido do centro para a ponta. Com o outro polo do imã

faça o mesmo procedimento, mas agora atritando-o do centro para a cabeça (Fig.1.74). De maneira geral, para imantar um material basta esfregar nele o imã diversas vezes, sempre numa mesma direção e num mesmo sentido.

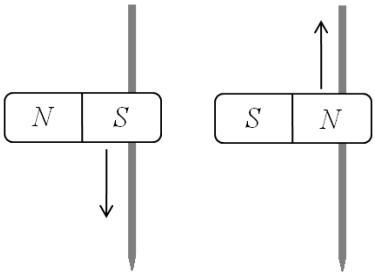

Figura 1.74: Produzindo um imã.

Para ver como ficou a agulha magnetizada, aproxime-a do prego ou de algum outro objeto ferromagnético e perceba se ela consegue atraí-los.

Análise e Explicação

Esfregando um dos polos do imã na agulha de aço, sempre num mesmo sentido, faz com que os polos do novo imã (a agulha) fiquem localizados nas suas extremidades. A agulha transforma-se num imã porque o atrito regular do imã original fez com que os domínios magnéticos da agulha ficassem alinhados.

Uma outra forma de imantar uma barra de material ferromagnético seria colocando-a no interior de um campo magnético gerado por um imã forte ou por uma bobina percorrida por corrente contínua.

Não é apenas a forma geométrica do imã que define a localização dos seus polos. Essa localização depende também da maneira como os imãs adquirem seu magnetismo. No entanto, os polos sempre se opõem entre si em relação a um plano ou a uma superfície de simetria. Em imãs naturais, como as pedras de magnetita, a posição dos polos depende da orientação do campo magnético terrestre na ocasião em que esse material se solidificou.

1.65 Bússola Magnética

Objetivos

Construir e observar o funcionamento de uma bússola magnética.

Materiais Utilizados

1 imã, 1 agulha de aço, 1 pedaço de barbante fino.

Montagem e Procedimento

Imante a agulha pelo processo já descrito no experimento anterior e suspenda-a (pela sua metade) por um pedaço de barbante fino disposto na vertical, de modo que ela fique na horizontal e possa girar livremente. Perceba que, espontaneamente a agulha se alinha na direção norte-sul da Terra. É importante não ter outros imãs próximos ou materiais ferromagnéticos, pois eles podem desorientar a agulha.

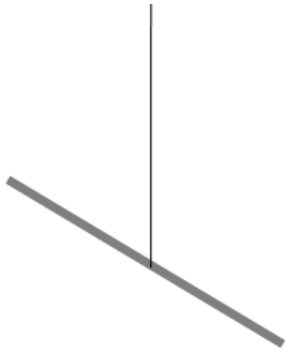

Figura 1.75: Agulha imantada suspensa.

Outra maneira de construir uma bússola é prendendo a agulha imantada numa rolha ou num pedaço de isopor, e colocando o conjunto para flutuar num

recipiente com água. De maneira semelhante, estando livre para girar a agulha se orientará na direção norte-sul terrestre.

Análise e Explicação

Quando um corpo imantado está livre para girar (como neste experimento), ele se orienta na direção norte-sul magnética da Terra, que é aproximadamente a direção norte-sul geográfica[13].

A orientação do imã se deve a existência do campo magnético terrestre. No interior do planeta Terra grandes quantidades de ferro no estado líquido se movimentam no sentido leste-oeste, e estas correntes criam um campo magnético numa direção perpendicular.

Comportando-se como um grande imã, o planeta tem no norte geográfico o polo sul magnético e no sul geográfico o polo norte magnético. O polo norte da bússola é atraído pelo norte geográfico (sul magnético) e o polo sul magnético da bússola é atraído pelo sul geográfico (norte magnético).

O campo magnético da Terra é muito fraco. Por isso, para que a bússola funcione corretamente, não deixe objetos imantados próximos a ela. Evite também que correntes de ar interfiram no movimento da agulha.

1.66 Ponto Curie

Objetivo

Verificar a perda das propriedades magnéticas de um material com o aumento da sua temperatura.

Materiais Utilizados

1 vela, 1 imã, 1 fio de níquel (ou níquel-cromo).

[13] As duas direções ou eixos estão defasados em cerca de 11°.

Montagem e Procedimento

Prenda o fio e faça um rolinho em uma de suas pontas, de modo a formar uma área maior. Em seguida aproxime o imã do fio e constate que este é atraído. Agora, com a chama da vela aqueça bem a extremidade do fio. Aproxime novamente o imã e perceba que o fio não é mais atraído.

Análise e Explicação

Materiais que se imantam quando submetidos a um campo magnético, bem como são fortemente atraídos por imãs, são denominados ferromagnéticos. Exemplos de materiais ferromagnéticos são o ferro, o cobalto, o níquel e algumas de suas ligas.

Nos materiais ferromagnéticos cada átomo apresenta um campo magnético grande, especialmente causado pela presença de elétrons desemparelhados em orbitais incompletos. No material as forças inter atômicas obrigam esses átomos a se disporem de modo que os seus campos magnéticos fiquem paralelos e com novo sentido, formando os domínios magnéticos. Essa organização do conjunto de átomos em cada domínio magnético minimiza a energia do conjunto.

Quanto aumentamos a temperatura de um material ferromagnético a agitação térmica dos átomos leva a uma desestruturação dos domínios magnéticos. Numa determinada temperatura, denominada temperatura de Curie ou ponto de Curie, a qual depende de cada material, o material deixa de ser ferromagnético.

O níquel possui ponto de Curie de $358°C$ e o níquel-cromo (nicromo) de $300°C$. Os outros materiais ferromagnéticos possuem ponto de Curie mais elevado, cuja temperatura é difícil de se alcançar com a chama de uma vela. Por exemplo, o do ferro é $770°C$ e do Cobalto é $1130°C$.

Outro fator que reduz a imantação dos imãs é o choque mecânico. Por isso, para que a imantação de um imã permanente continue forte por muito tempo, deve-se evitar quedas e pancadas.

1.67 Interação através do Campo Magnético

Objetivo

Verificar a interação entre um imã e um material ferromagnético.

Materiais Utilizados

1 imã, 1 pedaço de papelão, 1 placa de vidro, 1 tábua fina de madeira, objetos ferromagnéticos (um prego, por exemplo).

Montagem e Procedimento

Coloque alguns objetos entre o imã e o material ferromagnético a ser atraído, como um pedaço de papelão, um pedaço de madeira, um pedaço de vidro, entre outros, não muito espessos[14]. Perceba que, mesmo estando esse obstáculo entre o imã e o material ferromagnético, ocorreu uma interação entre eles.

Pode-se usar também um recipiente com água e nele coloque, por exemplo, uma agulha imantada presa numa agulha (a bússola que foi construída anteriormente). Segurando o imã embaixo ou do lado do recipiente é possível movimentar a agulha.

Mas como que ocorre essa interação, se não há um contato direto entre o imã e o material ferromagnético?

Análise e Explicação

De maneira semelhante a que uma massa cria uma região de influência sobre outras massas, denominada campo gravitacional, ou que uma carga elétrica estática cria um campo elétrico ao seu redor, um imã também cria em seu entorno uma região de influência sobre outros imãs e alguns materiais. Essa região é denominada campo magnético.

O campo magnético de um imã é descrito por um vetor, denominado vetor indução magnética $\vec{B}$, o qual é muitas vezes chamado de vetor campo magnético ou simplesmente campo magnético. Colocando uma bússola próxima de

[14] Se o obstáculo entre o imã e o objeto for muito espesso, o objeto ferromagnético não sentirá a presença do imã, pois acaba ficando fora da região de interação do mesmo.

um imã, esta se orienta na direção de $\vec{B}$. Em cada ponto do campo magnético podemos traçar as chamadas linhas de campo magnético, as quais saem do polo norte do imã e chegam ao polo sul. O vetor $\vec{B}$ tangencia essas linhas em cada um dos seus pontos, como pode ser visto na Fig.(1.76).

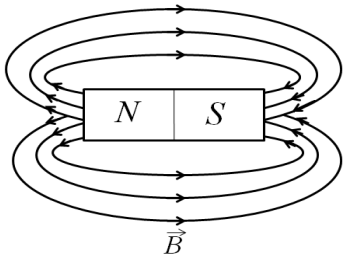

Figura 1.76: Linhas de campo magnético de um imã.

1.68 Linhas de Campo Magnético

Objetivo

Fazer um experimento que permita visualizar as linhas de campo magnético.

Materiais Utilizados

Imãs (de diferentes formatos: barra, ferradura, anel, etc), limalha de ferro, 1 pedaço de papelão (ou uma placa fina de plástico).

Montagem e Procedimento

Coloque um imã sob o pedaço de papelão e jogue espalhada e vagarosamente limalha de ferro sobre ele. Observe a configuração das linhas de campo magnético. Utilize diversos formatos de imã e verifique os diferentes padrões formados.

Você pode obter a limalha de ferro queimando uma palha de aço. Fica mais fácil espalhar a limalha de ferro sobre o papelão colocando-a dentro de um tubo de saleiro, facilitando a pulverização.

Análise e Explicação

Neste experimento cada fragmento de limalha de ferro se imanta na presença do imã, comportando-se como uma pequena agulha magnética. Na Fig.(1.77) temos uma imagem das linhas de campo num imã em forma de barra e entre os polos de dois imãs.

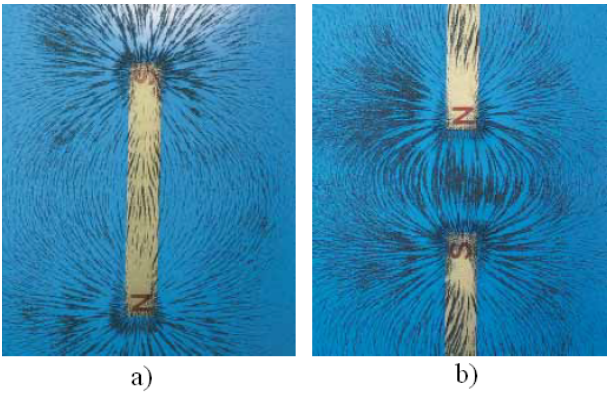

Figura 1.77: Linhas de campo magnético de: a- De um imã em forma de barra; b- Entre polos de dois imãs.

1.69 Campo Magnético Tridimensional

Objetivo

Visualizar o arranjo tridimensional do campo magnético.

Materiais Utilizados

1 garrafa PET ($2L$) transparente, limalha de ferro, 1 imã, água.

Montagem e Procedimento

Introduza água na garrafa PET e dentro da água coloque limalha de ferro. Feche a garrafa e agite-a bem, de modo que toda a limalha se distribua de modo uniforme pelo líquido. Em seguida aproxime um imã da garrafa e observe as linhas de campo formadas no interior do líquido.

Análise e Explicação

Estando livres para se movimentar no líquido, as partículas da limalha de ferro adquirem configuração tridimensional, já que o nosso espaço é formado por três dimensões.

1.70 Interação entre Imãs

Objetivo

Verificar a interação entre imãs.

Materiais Utilizados

Imãs de diferentes formatos e tamanhos.

Montagem e Procedimento

Este é um experimento bastante simples. Pegue dois imãs iguais e os aproxime de várias maneiras diferentes. Perceba que em algumas situações ocorre atração e em outras ocorre repulsão entre eles. Faça o mesmo procedimento com os imãs de outros formatos.

Análise e Explicação

Alguns materiais apresentam propriedades magnéticas. Os que apresentam naturalmente essas propriedades são chamados de imãs. Um imã sempre possui dois polos, cujos nomes são denominados (por convenção) polo norte e polo sul. Quando dois imãs são aproximados, ocorre a atração se os polos mais próximos forem diferentes (Fig.1.78-a), e repulsão se os polos forem iguais (Fig.1.78-b).

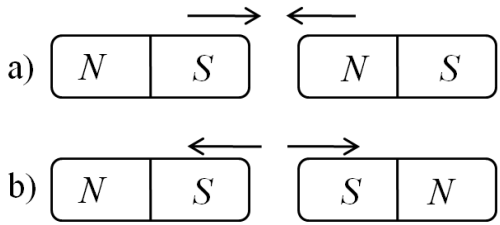

Figura 1.78: Interação entre imãs: a- Atração; b- Repulsão.

As propriedades magnéticas dos materiais tem origem atômica, onde praticamente todos os átomos comportam-se como pequenos imãs.

1.71 Polos Magnéticos

Objetivo

Demonstrar a inseparabilidade dos polos magnéticos de um imã.

Materiais Utilizados

1 imã, 1 alicate, 1 fio de aço, 1 fio de linha.

Montagem e Procedimento

Imante o fio de aço pelo método já descrito em experimentos anteriores. Suspenda-o pelo seu centro com o fio de linha e teste as suas propriedades com o imã. Agora corte com o alicate o fio pelo meio, tentando separar os dois polos.

Suspenda-o novamente pelo meio e note que ele continua com dois polos. Se continuar cortando o fio em pedaços cada vez menores, cada qual comportar-se-á como um novo imã, sempre com dois polos magnéticos, como mostra o esquema da Fig.(1.79).

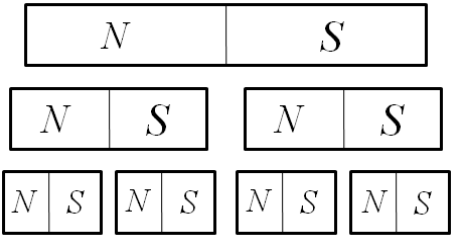

Figura 1.79: Polos magnéticos de imãs.

Análise e Explicação

Constata-se experimentalmente que é impossível separar os polos magnéticos de um imã, de modo a conseguir que um imã tenha um só polo magnético (monopolo magnético). Quando dividimos um imã ao meio, obtemos dois novos imãs, cada qual com seus próprios polos norte e sul. Se continuarmos dividindo ao meio os imãs, novos polos serão originados, de modo a formar novos imãs.

1.72 Paradoxo Magnético

Objetivos

Apresentar e explicar um interessante fenômeno magnético, que a principio parece paradoxal.

Materiais Utilizados

2 imãs iguais (em forma de barra), 1 objeto ferromagnético (que é atraído pelo imã).

Montagem e Procedimento

Faça aderir o objeto ferromagnético num dos polos de um dos imãs (imã 1), como representado na Fig.(1.80-a).

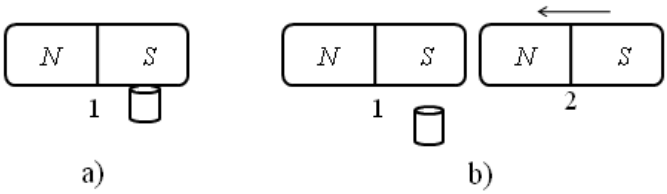

Figura 1.80: Objeto ferromagnético: a- Atraído pelo imã; b- Se desprende do imã.

Em seguida aproxime o outro imã (imã 2), de modo que ele seja atraído pelo imã 1. Observe que o objeto inicialmente preso ao imã 1 acaba se desprendendo (Fig.1.80-b).

Análise e Explicação

Este experimento é denominado paradoxo magnético porque dois imãs não são capazes de produzir o efeito que um imã estava fazendo, que era segurar o objeto metálico. Isso ocorre porque quando o segundo imã toca no primeiro

(ou se aproxima), praticamente ocorre a formação de um novo imã, como representado na Fig.(1.81). A região de contato entre os dois imãs passa a não exibir propriedades magnéticas apreciáveis (zona neutra) e o objeto acaba se desprendendo.

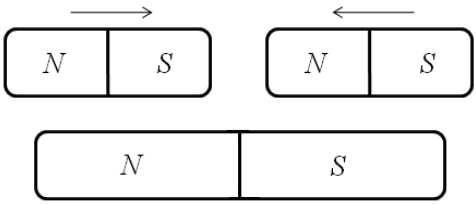

Figura 1.81: Formação de um novo imã.

1.73 Materiais Ferromagnéticos

Objetivo

Verificar quais materiais são ferromagnéticos, ou seja, são atraídos por imãs.

Materiais Utilizados

1 imã, materiais diversos.

Montagem e Procedimento

Aproxime o imã de cada um dos materiais selecionados e observe quais deles são atraídos.

Análise e Explicação

Os materiais ferromagnéticos são os que se imantam consideravelmente quando submetidos a um campo magnético, além de serem fortemente atraídos

pelos imãs. São exemplos de materiais ferromagnéticos: ferro, cobalto, níquel, etc., bem como seus compostos.

Nos materiais ferromagnéticos cada átomo apresenta um campo magnético relativamente grande, causado principalmente pela presença de elétrons não emparelhados em orbitais incompletos.

1.74 Experimento de Oersted

Objetivo

Repetir o importante experimento realizado por Oersted.

Materiais Utilizados

1 fio metálico, 1 fonte de baixa tensão (1 pilha ou 1 bateria), cabos conectores, 1 bússola.

Montagem e Procedimento

Coloque o fio metálico sobre a bússola ou próxima dela, esticado e paralelo ao alinhamento de sua agulha (Fig.1.82-a). Ligue as extremidades do fio na fonte, fechando o circuito elétrico, e observe que a agulha sofre deflexão, ficando perpendicular ao fio (Fig.1.82-b). Inverta o sentido da corrente trocando os polos da fonte e observe que a agulha da bússola também inverte o seu sentido de orientação (Fig.1.82-c)

Análise e Explicação

Durante muitos anos Hans Christian Oersted procurou comprovar que deveria haver uma interação entre eletricidade e magnetismo. Em 1820, durante a realização de uma palestra aos seus alunos, Oersted realizou um experimento que demonstrava a ação de uma corrente elétrica sobre uma agulha magnética colocada próximo do fio.

Para explicar esse fenômeno Oersted concluiu que um fio condutor percorrido por uma corrente elétrica gera um campo magnético ao seu redor, cujas

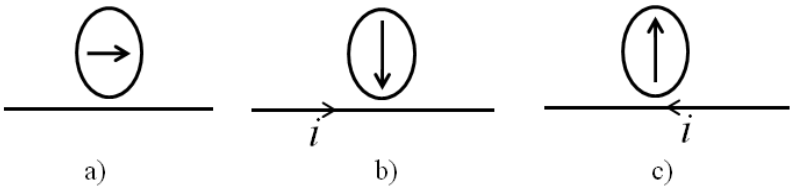

Figura 1.82: a- Bússola próximo ao fio; b- Deflexão da agulha com a passagem de corrente elétrica no fio; c- Inversão do sentido de deflexão da agulha com a mudança de sentido de corrente no fio.

linhas de campo são circuncêntricas, contidas em planos perpendiculares ao condutor e com centro no condutor. O sentido dessas linhas é determinado pela regra da mão direita, pela qual se determina o sentido do vetor campo magnético $\vec{B}$. Coloque a mão quase fechada com o polegar para fora, junto com o condutor no sentido da corrente. A curvatura dos dedos indica o sentido das linhas do campo magnético (Fig.1.83).

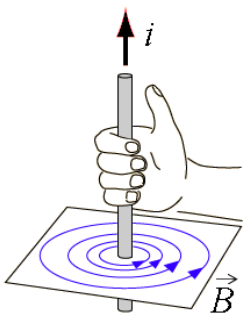

Figura 1.83: Sentido das linhas de campo magnético geradas por um condutor retilíneo.

1.75 Campo Magnético de um Condutor Retilíneo

Objetivo

Estudar o campo magnético gerado por um condutor retilíneo percorrido por uma corrente elétrica.

Materiais Utilizados

1 fio metálico (retilíneo e rígido), 1 fonte de baixa tensão (1 pilha ou 1 bateria), cabos conectores, 1 bússola (ou mais de uma), 1 placa de papelão.

Montagem e Procedimento

Introduza um fio no meio da placa de papelão, deixando a placa na horizontal e o fio na vertical. Coloque uma ou mais bússolas ao redor do fio sobre a placa de papelão e, com os cabos conectores, ligue as extremidades do fio na fonte. Observe as direções nas quais as agulhas das bússolas se orientam. Se tiver apenas uma bússola, coloque-a em diversas posições ao redor do fio. Um esquema da montagem do experimento e da orientação das bússolas está na Fig.(1.84).

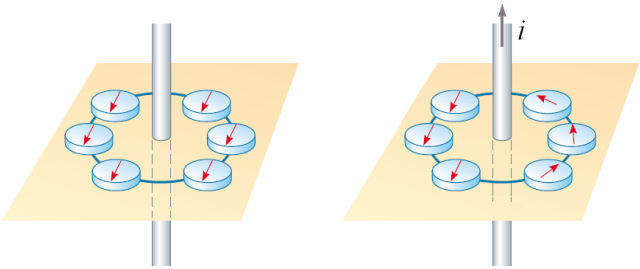

Figura 1.84: Orientação das bússolas ao redor de um condutor retilíneo.

Análise e Explicação

A orientação da agulha da bússola é a do vetor $\vec{B}$ criado pela corrente i no fio. De acordo com a regra da mão direita, para uma corrente saindo do plano, como representada na Fig.(1.84), as linhas de indução têm sentido anti-horário e são circuncêntricas e perpendiculares ao fio, como mostra a Fig.(1.85). O vetor campo magnético $\vec{B}$ é sempre tangente às linhas de indução.

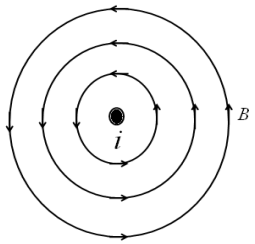

Figura 1.85: Linhas de campo magnético produzidas por um condutor retilíneo.

Vamos agora calcular a intensidade de $\vec{B}$ num ponto qualquer situado a uma distância r do fio. Considere uma linha curva fechada, contida num meio em que existe um campo magnético $\vec{B}$. Seja Δl o comprimento de um trecho dessa linha e i a intensidade de corrente elétrica que atravessa a região envolvida pela linha, como mostra a Fig.(1.86).

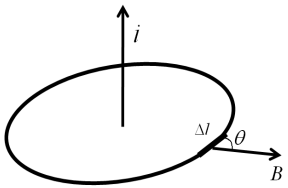

Figura 1.86: Superfície atravessada por uma corrente i.

De acordo com a lei de Ampère temos

$$\sum B\Delta l \cos\theta = ui, \tag{1.58}$$

onde θ é o ângulo entre as direções de Δl e $\vec{B}$ e μ é uma constante denominada constante de permeabilidade magnética do meio. No vácuo tem-se que $\mu = \mu_0 = 4\pi.10^{-7}Tm/A$. O somatório é feito sobre toda a linha curva fechada.

Num condutor retilíneo temos que $\theta = 0°$, pois Δl é paralelo à $\vec{B}$, de modo que a partir de (1.58) temos

$$\sum B\Delta l = ui. \tag{1.59}$$

Por simetria a intensidade de B é a mesma em todos os pontos da linha de indução, de modo que podemos escrever (1.59) como

$$B\sum \Delta l = ui. \tag{1.60}$$

Como a linha de indução é uma circunferência, temos que $\Sigma\Delta l = 2\pi r$ e da Eq.(1.60) vem que a intensidade de $\vec{B}$ num ponto distante r do fio é

$$B = \frac{\mu i}{2\pi r}.$$

1.76 Campo Magnético de uma Bobina Chata

Objetivo

Estudar o campo magnético no interior de uma bobina chata.

Materiais Utilizados

1 tubo de PVC (com cerca de $10cm$ de diâmetro e uns $5cm$ ou $6cm$ de comprimento, ou pode ser também uma garrafa PET cortada, um tubo de papelão, ou qualquer coisa semelhante), 1 bússola, 1 pilha ou 1 bateria, fita adesiva, fio esmaltado (fio de bobina), 2 conectores.

Montagem e Procedimento

Enrole o fio esmaltado ao redor do tubo, colocando uma espira ao lado da outra. Com um pedaço de fita prenda o tubo com os fios na mesa (pode usar a fita para prender as espiras, depois de enroladas no tubo), de modo a deixá-lo firme. Deixe as espiras bem próximas umas das outras, formando uma bobina chata.

Com o auxílio dos conectores ligue as pontas dos fios na pilha e coloque a bússola no interior do tubo, em diferentes locais, para detectar a orientação do campo magnético. É importante você ligar o circuito quando estiver fazendo o experimento, e não demorar muito tempo com isso, para evitar o aquecimento e o descarregamento da pilha. Um esquema da montagem do experimento está na Fig.(1.87).

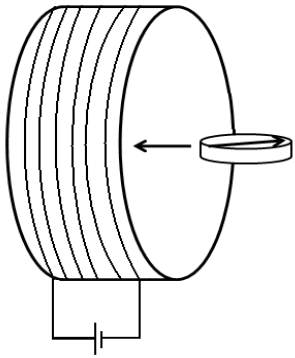

Figura 1.87: Bússola no interior da bobina.

Análise e Explicação

Ao passar pela bobina uma corrente elétrica gera um campo magnético. A região cujo campo magnético é mais intenso é o interior da bobina e a direção das linhas de indução é dada pela regra da mão direita. Colocando a bússola no interior do bobina sua agulha vai se orientar de acordo com as linhas de

indução. Invertendo o sentido da corrente elétrica você verificará que a agulha também mudará o seu sentido de orientação.

Seja um condutor em forma de espira, de raio R, sendo percorrido por uma corrente elétrica i, como mostra a Fig.(1.88-a). O campo magnético $\vec{B}$ criado pela corrente i é de tal forma que no centro da espira $\vec{B}$ tem direção perpendicular ao plano da espira e sentido dado pela regra da mão direita.

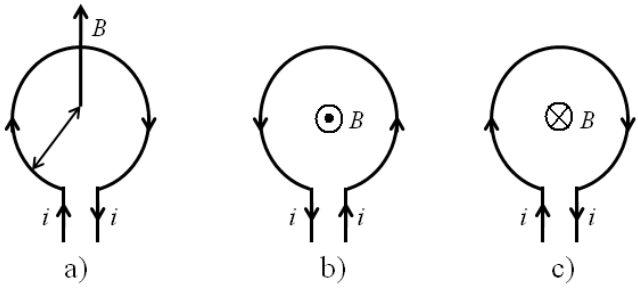

Figura 1.88: a- Espira percorrida por uma corrente elétrica i; b- Corrente em sentido anti-horário; c- Corrente em sentido horário.

Fazendo um comparativo entre os campos magnéticos gerados numa espira e aqueles que estão presentes num imã, constata-se que a face da espira por onde saem as linhas de indução corresponde ao polo norte e a face onde entram é o polo sul. Quando a bobina é percorrida por corrente no sentido anti-horário a face comporta-se como um polo norte (Fig.1.88-b) e quando é percorrida por corrente no sentido horário comporta-se como um polo sul (Fig.1.88-c).

Vamos calcular a intensidade do campo magnético no interior da bobina. De acordo com a lei de Biot-Savart-Laplace, um trecho de fio de comprimento Δl, percorrido por uma corrente elétrica de intensidade i, cria em um ponto distante r desse fio um campo magnético $\Delta\vec{B}$ de intensidade

$$\Delta B = \frac{\mu i \Delta l \sin\theta}{4\pi r^2},$$

onde θ é o menor ângulo formado entre a tangente em Δl e o segmento de reta que liga o fio ao ponto. A direção de $\Delta\vec{B}$ é perpendicular ao plano da reta

tangente em Δl e a reta do fio ao plano e o sentido é dado pela regra da mão direita envolvente.

Sendo $\theta = 90°$ o ângulo entre a tangente a Δl e o raio da espira, no interior desta a componente Δl cria no seu centro um vetor $\Delta\vec{B}$ de intensidade

$$\Delta B = \frac{\mu i \Delta l}{4\pi R^2}.$$

Sendo que a intensidade de $\vec{B}$ resultante no centro da espira é dada pelo somatório das contribuições de todos os trechos elementares, e que todos os $\Delta\vec{B}$ tem a mesma direção e mesmo sentido, temos

$$B = \sum \Delta B,$$

$$B = \sum \frac{\mu i \Delta l}{4\pi R^2},$$

ou

$$B = \frac{\mu i}{4\pi R^2} \sum \Delta l. \tag{1.61}$$

Sendo a espira circular, vem

$$\sum \Delta l = 2\pi R. \tag{1.62}$$

Levando (1.62) em (1.61) obtemos a intensidade de $\vec{B}$ no centro da espira como sendo

$$B = \frac{\mu i}{2R}.$$

Quando tiver n espiras obtemos uma bobina chata (aqui a espessura da bobina é bem menor que o seu diâmetro) e a intensidade de $\vec{B}$ no seu centro passa a ser dada por

$$B = \frac{n\mu i}{2R}.$$

1.77 Campo Magnético de um Solenoide

Objetivo

Verificar a direção do campo magnético no interior de um solenoide.

Materiais Utilizados

1 tubo de PVC (mais comprido que o do experimento anterior), 1 bússola, 1 pilha ou 1 bateria, fio esmaltado (fio de bobina), 2 conectores.

Montagem e Procedimento

Construa o solenoide enrolando o fio esmaltado ao redor do tubo, de modo que as espiras se posicionem ao longo do seu comprimento. Com o auxílio dos conectores ligue as extremidades do fio na pilha e coloque a bússola no interior do tubo, em diferentes locais, para detectar a orientação do campo magnético (Fig.1.89).

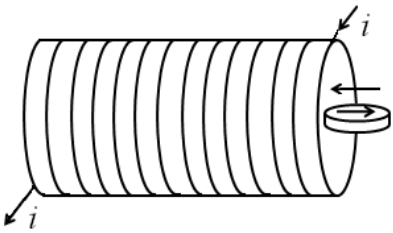

Figura 1.89: Bússola no interior do solenoide.

Análise e Explicação

Um solenoide, também conhecido como bobina, é um fio condutor elétrico em forma de hélice cilíndrica. Quando percorrido por uma corrente elétrica o solenoide comporta-se com um imã em forma de barra. Dentro dele é criado um campo magnético tal que a extremidade de onde saem as linhas de força corresponde ao polo norte e o outro extremo, onde elas entram, ao polo sul.

Sendo o comprimento do solenoide (l) muito maior que o seu diâmetro, pode-se dizer que o campo magnético ($\vec{B}$) tem intensidade praticamente constante em seu interior e suas linhas de indução são paralelas entre si e equidis-

tantes. O vetor $\vec{B}$ apresenta direção coincidente com o eixo longitudinal do solenoide e o sentido é determinado pela regra da mão direita.

Vamos determinar a intensidade de $\vec{B}$ na região interna do solenoide utilizando a lei de Ampère. Na Fig.(1.90-a) temos um solenoide e na Fig.(1.90-b) um corte longitudinal desse solenoide, no qual está representado as direções e sentidos de i e $\vec{B}$.

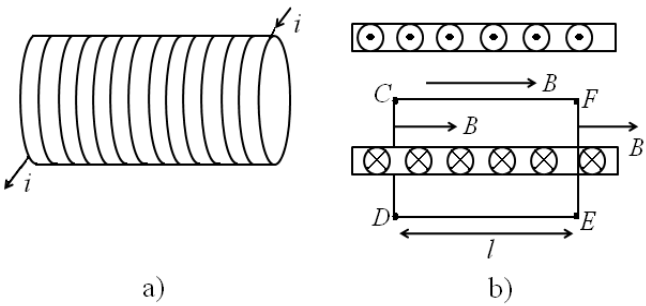

Figura 1.90: a- Solenoide; b- Orientações de i e $\vec{B}$.

Vamos aplicar a lei de Ampère

$$\sum B\Delta l \cos\theta = \mu i,$$

ao longo da linha $CDEF$ indicada na Fig.(1.90-b), a qual envolve um trecho de comprimento l em que n espiras são percorridas por corrente i de intensidade constante. No trecho CF temos $\theta = 0°$, donde vem $\Sigma B\Delta l = Bl$. Nos trechos CD e FE temos $\Sigma B\Delta l \cos\theta = 0$, pois $\theta = 90°$. No trecho DE temos $\Sigma B\Delta l \cos\theta = 0$, pois o campo B é nulo na região externa do solenoide[15].

Dessa forma, ao longo de toda a linha obtemos $Bl = n\mu i$, donde vem que a intensidade de $\vec{B}$ é

$$B = \frac{\mu n i}{l},$$

onde μ é a constante de permeabilidade magnética do meio, n o número de espiras, i a intensidade da corrente elétrica e l o comprimento do solenoide.

[15]Aqui consideramos um solenoide longo onde o seu comprimento é muito maior que o seu diâmetro.

1.78 Eletroimã em Forma de Barra

Objetivos

Construir e estudar o funcionamento de um eletroímã em forma de barra.

Materiais Utilizados

1 pilha ou 1 bateria, 1 prego, fio esmaltado, 1 estilete, materiais ferromagnéticos.

Montagem e Procedimento

Enrole o fio esmaltado ao redor do prego, dispondo uma espira ao lado da outra, de maneira ordenada, de modo a ocupar todo o comprimento do mesmo. Com o estilete raspe as extremidades do fio, retirando o esmalte isolante. Dessa forma você teráa construído um eletroímã (Fig.1.91).

Figura 1.91: Eletroímã em forma de barra.

Conecte as pontas do fio nos polos da pilha e aproxime o conjunto dos materiais ferromagnéticos, percebendo que estes são atraídos. O prego está se comportando como um imã. Abra o circuito, interrompendo a corrente elétrica que percorre o fio, e perceba que o prego deixa de ser um imã.

Faça variações nesse experimento construindo o eletroímã com um maior número de espiras e perceba que o seu poder atrativo sobre materiais ferromagnéticos torna-se maior. De maneira semelhante, isso ocorre aumentando a tensão da fonte, como por exemplo, associando duas pilhas em série ou ligando na bateria.

Análise e Explicação

Quando uma corrente elétrica percorre um fio condutor, é gerado em seu redor um campo magnético. Para um condutor simples esse campo magnético é muito fraco. No entanto, podemos obter um campo magnético mais intenso se enrolarmos o fio de modo a formar um solenóide, como feito neste experimento.

Se colocarmos um objeto de ferro[16] no interior do solenoide, formando um núcleo, haverá a concentração das linhas de campo e a intensificação dos efeitos do campo magnético, tornando o conjunto (solenoide + núcleo), temporariamente, um imã. Temporariamente porque o magnetismo só existirá nesse núcleo enquanto circular corrente elétrica ao se redor. Se ela for desligada cessará a atração desse conjunto sobre os objetos ferromagnéticos. Isso nos leva à possibilidade de construir ímãs controláveis, que só atraem objetos sob a ação da corrente elétrica, diferentemente dos ímãs permanentes. Por isso eles são chamados eletroímãs.

A intensidade do campo magnético gerado por um eletroímã depende de vários fatores, sendo os principais a intensidade da corrente elétrica, o número de espiras, o comprimento do eletroímã e o tipo do material do núcleo (detalhes matemáticos estão no Exp.1.77). O núcleo do solenoide, geralmente formado por compostos de ferro, tem como objetivo reduzir a dispersão das linhas de campo, pois estes materiais apresentam baixa resistência à passagem do fluxo magnético.

O primeiro eletroímã foi criado por Dominique Arago na década de 1820. Por sugestão de Ampère, ele enrolou um fio condutor ao redor de um cilindro de ferro, formando uma bobina. Ao passar uma corrente pelo fio, Arago observou que o cilindro de ferro ficava imantado.

[16] Ou um composto em que o ferro ou outro material ferromagnético está presente.

1.79 Eletroímã em Forma de Ferradura

Objetivos

Construir e estudar o funcionamento de um eletroímã em forma de ferradura.

Materiais Utilizados

1 pilha ou 1 bateria, 1 barra de ferro em forma de ferradura[17] (forma de U), fio esmaltado, materiais ferromagnéticos.

Montagem e Procedimento

Na ferradura construa duas bobinas, uma em cada extremidade. Se quiser pode colocar duas arruelas em cada extremidade para delimitar as posições nas quais serão enroladas os fios.

Enrole uma ou duas centenas (ou mais) de voltas em cada bobina. Quando terminar as espiras de uma bobina, ao passar para a outra, enrole-a em sentido contrário. Se isso não for feito, o campo magnético de um enrolamento cancelará o do outro e o eletroímã não funcionará. Uma das extremidades da ferradura se comportará como polo norte (N) e a outra como polo sul (S) (Fig.1.92).

Depois de terminado o enrolamento das bobinas, raspe as pontas (terminais) dos fios para que a fina camada de esmalte isolante seja removida e possa ocorrer o contato elétrico. Feito isso é só fazer a ligação dos terminais à fonte, estando o eletroímã funcionando.

Análise e Explicação

Os eletroímãs podem ter diversos formatos, entre eles o de ferradura. Este tipo é interessante porque pode atrair o mesmo objeto, pelos dois polos, ao mesmo tempo, prendendo-o firmemente. Os polos dependem do sentido da

[17] A forma de ferradura pode ser obtida dobrando um parafuso, um prego grande ou um pedaço de ferro de construção.

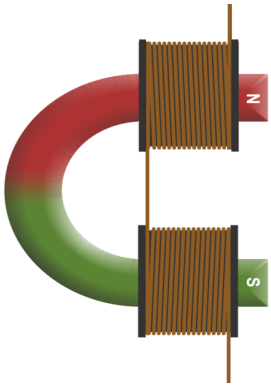

Figura 1.92: Eletroímã em forma de ferradura.

corrente elétrica que percorre o fio, sendo o sentido das linhas de campo magnético determinado pela regra da mão direita.

1.80 Força Magnética sobre uma Carga Elétrica

Objetivo

Verificar a ação de uma força magnética sobre uma carga elétrica.

Materiais Utilizados

1 esfera de alumínio (papel de doces), 1 fio de linha, 1 imã (em forma de disco), 1 bastão plástico, 1 pedaço de lã.

Montagem e Procedimento

Com a esfera de alumínio e o fio de linha monte um pêndulo, e embaixo dele coloque o imã, como representado na Fig.(1.93). Coloque inicialmente a esfera do pêndulo a oscilar sobre o imã, e observe que ela vai oscilar normalmente, num mesmo plano.

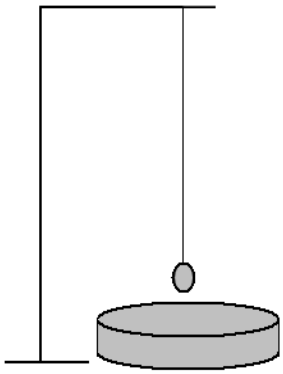

Figura 1.93: Pêndulo e imã.

Agora eletrize a bolinha, atritando o bastão de plástico no pedaço de lã (ou um pente no cabelo seco, ou algo semelhante) e encoste na bolinha, eletrizando-a por contato. Coloque novamente o pêndulo a oscilar sobre o imã e perceba que agora ele muda o seu plano de oscilação, passando a descrever um movimento cônico.

Análise e Explicação

Estando eletricamente neutra, a esfera de alumínio não sofre influência do campo magnético do imã. No entanto, quando ela é eletrizada e está se movendo, ela sofre a ação da força magnética.

A esfera eletrizada possui uma carga elétrica q. Tendo uma velocidade $\vec{v}$ e estando imersa num campo magnético $\vec{B}$ ela fica sujeita a uma força magnética, cuja intensidade é dada por

$$F_m = qvB\sin\theta,$$

onde θ é o ângulo entre as direções do vetor velocidade $\vec{v}$ e do vetor campo magnético $\vec{B}$. A força $\vec{F}_m$ é sempre ortogonal à velocidade $\vec{v}$ e ao campo $\vec{B}$. O sentido de $\vec{F}_m$ é obtido pela regra da mão direita, representada na Fig.(1.94).

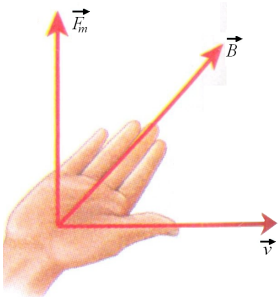

Figura 1.94: Orientações de $\vec{B}$, $\vec{v}$ e $\vec{F}_m$ (regra da mão direita).

1.81 Força Magnética sobre um Condutor com Corrente Elétrica 1

Objetivo

Demonstrar a ação da força magnética sobre um condutor retilíneo percorrido por uma corrente elétrica e submetido a um campo magnético.

Materiais Utilizados

1 fio metálico (retilíneo e rígido), 1 imã com forma de ferradura, 1 fonte de baixa tensão (bateria de $9V$ ou $12V$), cabos conectores, fio condutor fino.

Montagem e Procedimento

Ligue um pedaço do fio condutor fino em cada extremidade do fio rígido, de modo que este fique suspenso e livre para se mover no interior do imã em forma de ferradura. Ligue os fios condutores finos na bateria e observe o condutor rígido se mover, como mostra o esquema da Fig.(1.95).

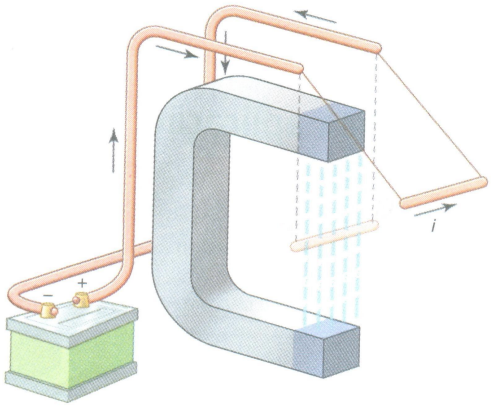

Figura 1.95: Fio condutor retilíneo no interior de um imã em forma de ferradura.

Análise e Explicação

A força magnética ($\vec{F}_m$) numa carga elétrica de módulo q movendo-se com velocidade $\vec{v}$ em relação a um referencial, submetida a um campo magnético $\vec{B}$, tem intensidade dada por $\vec{F}_m = qvB\sin\theta$, onde θ é o menor ângulo entre $\vec{v}$ e $\vec{B}$.

Se um fio condutor é percorrido por uma corrente elétrica e está imerso num campo magnético, a força magnética atua em cada um dos seus elétrons livres. A força é perpendicular à direção de $\vec{v}$ e $\vec{B}$ e o seu sentido é dado pela regra da mão direita.

Sabe-se que o sentido convencional da corrente elétrica é oposto ao sentido em que se movem os elétrons livres. No entanto, podemos considerar o movimento das cargas positivas no sentido convencional da corrente elétrica.

Vamos calcular a intensidade de $\vec{F}_m$ não sobre um elétron, mas sobre um trecho elementar de fio. Num trecho elementar de comprimento Δl há uma carga total Q. Nesse trecho atua uma força magnética $\vec{f}_m$ de intensidade

$$f_m = QvB\sin\theta. \tag{1.63}$$

Durante um intervalo de tempo Δt a carga Q escoa pela seção transversal do fio com velocidade v. Sendo $v = \Delta l/\Delta t$ e $i = Q/\Delta t$, temos a partir de (1.63) que

$$f_m = Bi\Delta l \sin\theta, \tag{1.64}$$

que é conhecida como lei elementar de Laplace.

Sendo que $\Sigma\Delta l = l$, e que $\Sigma f_m = F$, a partir de (1.64) temos que a intensidade de $\vec{F}_m$ que atua num pedaço de fio de comprimento l é

$$F_m = Bil \sin\theta.$$

1.82 Força Magnética sobre um Condutor com Corrente Elétrica 2

Objetivo

Verificar a força produzida por um campo magnético sobre um fio percorrido por uma corrente elétrica.

Materiais Utilizados

1 imã em forma de disco, 1 bateria ($9V$ ou $12V$), cabos conectores, 1 fio de alumínio (em forma de U), 2 suportes metálicos (para o fio de alumínio).

Montagem e Procedimento

Coloque o fio de alumínio em forma de U sobre os dois suportes metálicos, de modo a formar uma espécie de pêndulo. Embaixo do pêndulo coloque o imã. Um esquema da montagem do experimento está na Fig.(1.96).

Conecte os cabos elétricos, ligando os suportes aos polos da pilha, deixando inicialmente o circuito aberto. Ligue (e desligue) a corrente elétrica e observe o movimento do pêndulo. Inverta o sentido da corrente elétrica e constate que o movimento do pêndulo ocorre também noutro sentido.

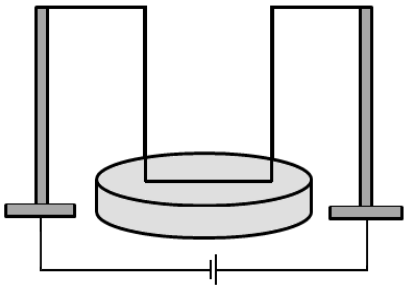

Figura 1.96: Pêndulo sobre imã.

Análise e Explicação

A explicação é a mesma do Exp.(1.81).

1.83 Força Magnética sobre o Filamento de uma Lâmpada

Objetivo

Verificar a atuação de uma força magnética sobre o filamento de uma lâmpada incandescente percorrido por uma corrente elétrica.

Materiais Utilizados

1 imã (grande e intenso), 1 fonte de tensão alternada ($110V$ ou $220V$), 1 lâmpada incandescente (compatível com a tensão da fonte).

Montagem e Procedimento

Ligue a lâmpada elétrica e aproxime o imã do seu bulbo (Fig.1.97). Varie a posição do imã e observe a vibração do filamento da lâmpada.

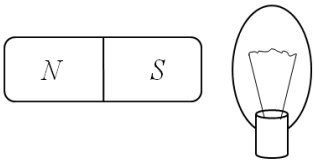

Figura 1.97: Imã sendo aproximado da lâmpada.

Análise e Explicação

Ao aproximar o imã da lâmpada ocorre uma interação entre o campo magnético produzido pelo imã e a corrente elétrica que circula pelo filamento da lâmpada, originando sobre este último uma força magnética. A direção da força é perpendicular à direção do campo magnético e da corrente elétrica, e o sentido é dado pela regra da mão direita.

Dependendo da orientação do filamento e do campo magnético a força magnética desloca o filamento para um lado e para o outro. A vibração do filamento é devido ao fato da corrente ser alternada (muda 60 vezes de sentido por segundo) e de que a frequência de oscilação natural do filamento da lâmpada é próxima da frequência da corrente elétrica, o que leva a uma situação de ressonância.

Quando o campo magnético de um imã está orientado paralelamente ao filamento, este não vibra, pois a força é nula. O filamento vibra mais intensamente quando o campo magnético do imã é perpendicular à direção da corrente elétrica.

1.84 Força Magnética entre Dois Condutores Paralelos

Objetivo

Demonstrar a existência de forças de interação entre dois fios paralelos percorridos por corrente elétrica.

Materiais Utilizados

1 bateria ($9V$ ou $12V$), 2 suportes, 2 fios condutores flexíveis, cabos conectores.

Montagem e Procedimento

Suspenda os dois fios nos suportes de modo que eles fiquem paralelos, como mostra o esquema da Fig.(1.98). Com os cabos conectores ligue-os na fonte, fazendo passar uma corrente elétrica por eles, no mesmo sentido e depois em sentidos opostos. Perceba que, quando as correntes têm o mesmo sentido os fios se aproximam, e quando as correntes tem sentidos opostos eles se afastam um do outro. Evite deixar a fonte ligada por muito tempo, para evitar o desgaste e o aquecimento dos fios.

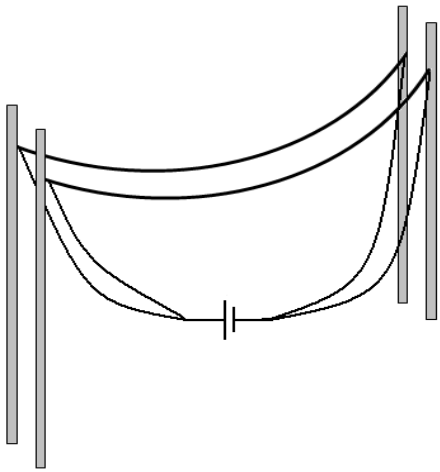

Figura 1.98: Condutores paralelos com correntes elétricas.

Análise e Explicação

Seja dois fios retilíneos longos de comprimento l cada, dispostos paralelamente um ao outro, separados por uma distância r. Se houver corrente elétrica em ambos, surgirá uma força magnética em cada um deles, pois um se submeterá ao campo magnético criado pelo outro. Dependendo dos sentidos das correntes elétricas, as forças magnéticas poderão ser de atração ou de repulsão.

Considere dois fios paralelos com correntes de mesmo sentido, como mostra a Fig.(1.99-a). O condutor 1 cria um campo $\vec{B}_1$, que atua no condutor 2, fazendo surgir nele a força $\vec{F}_{m_{21}}$. O condutor 2, por sua vez, cria $\vec{B}_2$, que atua no condutor 1, causando-lhe a força $\vec{F}_{m_{12}}$. Pela regra da mão direita percebemos que a força entre os condutores são de atração. De maneira semelhante, quando os condutores são percorridos por correntes elétricas em sentidos opostos (Fig.1.99-b), as forças magnéticas são de repulsão.

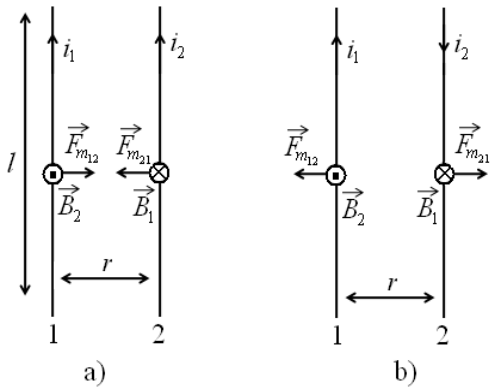

Figura 1.99: Direção e sentido dos vetores $\vec{B}$ e $\vec{F}_m$ em condutores paralelos com correntes elétricas de: a- Mesmo sentido; b- Sentidos opostos.

Vamos calcular o valor da intensidade da força $\vec{F}_{m_{21}}$, que é igual força $\vec{F}_{m_{12}}$, pois $\vec{F}_{m_{21}} = -\vec{F}_{m_{12}}$. O condutor 1 produz um campo magnético de

intensidade

$$B_1 = \frac{\mu i_1}{2\pi r}. \tag{1.65}$$

A força magnética sofrida pelo condutor 2 é

$$F_{m_{21}} = B_1 i_2 l \sin\theta. \tag{1.66}$$

Sendo que $\vec{B}_1$ é perpendicular ao fio, substituindo (1.65) em (1.66) e encontramos

$$F_{m_{21}} = F_{m_{12}} = \frac{\mu i_1 i_2 l}{2\pi r},$$

o que mostra que a intensidade da força magnética é proporcional as intensidades de correntes elétricas nos fios e ao comprimento dos fios, e inversamente proporcional à distância entre eles.

1.85 Campo Magnético produzido por Corrente Alternada

Objetivo

Demonstrar a inversão periódica de sentido do campo magnético gerado por uma corrente alternada.

Materiais Utilizados

1 eletroímã, 1 fonte de tensão alternada (compatível com o eletroimã), 1 fio de material ferromagnético, 1 massa.

Montagem e Procedimento

Estique o fio, prendendo uma de suas extremidades e pendurando uma massa na outra. Próximo do fio coloque o eletroímã, como mostra o esquema da Fig.(1.100). Ligue o circuito e observe a oscilação do fio tensionado devido à ação do eletroímã.

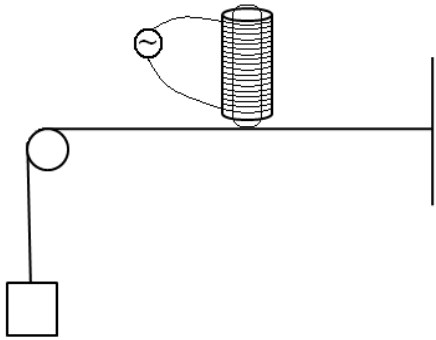

Figura 1.100: Eletroimã próximo ao fio esticado.

Análise e Explicação

Sendo alimentado por uma corrente elétrica alternada, o eletroímã liga e desliga 60 vezes por segundo, que é a frequência de oscilação da corrente. A frequência com que o fio é atraído pelo eletroímã, toda a vez que este é ligado, interage com a frequência natural de oscilação do fio, e este passa a vibrar numa certa frequência.

1.86 Levitron - Levitação por Rotação

Objetivos

Exibir e explicar o funcionamento do levitron.

Materiais Utilizados

1 levitron[18].

[18] O levitron é o nome de um dispositivo curioso, que é comercializado como brinquedo. Apesar de ser um pouco difícil, ele também pode ser construído artesanalmente.

Montagem e Procedimento

O levitron é composto por duas partes distintas: uma base, que é um imã plano, a qual é apoiada sobre uma mesa, e um pião com um eixo alongado e que tem um imã na sua base, que gira e levita estaticamente[19] sobre a base.

Ajuste a base e o pião de tal forma que os polos de seus imãs sofram repulsão. Coloque uma tampa plástica sobre a base e sobre ela gire com força o pião, colocando-o em movimento. Eleve com cuidado a tampa (com o peão girando sobre ela) e depois abaixe-a e tire-a. Observe que o pião fica levitando sobre a base[20]. Na Fig.(1.101) temos uma imagem do levitron e na Fig.(1.102) um esquema do pião e da base.

Figura 1.101: Levitron em funcionamento.

Análise e Explicação

O levitron é um brinquedo inventado na década de 1980. Nele um imã em rotação levita acima de um imã permanente fixo. Entre os dois imãs surgem quatro forças magnéticas sobre seus polos, sendo duas de atração e duas de

[19]Levitação estática significa suspender estavelmente um objeto contra a força da gravidade.
[20]É necessário um pouco de prática para fazer isso.

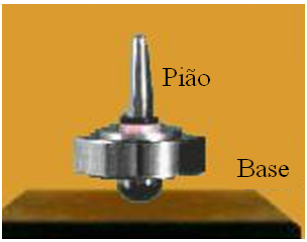

Figura 1.102: Pião e base do levitron.

repulsão. A resultante dessas quatro forças é uma força de repulsão, que faz com que o pião levite sobre a base.

No entanto, estando o pião em repouso ele facilmente tomba (em relação à vertical), deixando de levitar. Para que a levitação ocorra é necessário que o pião esteja descrevendo um movimento de rotação, já que este dificulta o tombamento (acima de um certo valor de rotação). A frequência de rotação estável é entre $20Hz$ e $26Hz$. Ao diminuir esse valor o pião começa a oscilar e acaba caindo.

Em condições ideais o levitron levitaria indefinidamente. No entanto, devido à dissipação da energia cinética de rotação com o ar, ele diminui sua frequência de rotação e cai. Além disso, em imãs metálicos surgem as correntes elétricas de indução que dissipam boa parte da energia. Para funcionar melhor, os imãs e o pião do levitron devem ser feitos com material cerâmico.

Tanto o pião como a base do levitron são magnetizados de modo que a ponta do pião e a superfície superior da base apresentam o mesmo polo magnético. Dessa forma, o pião levita quando a força magnética resultante se iguala à força peso. No entanto, se colocarmos o pião parado nesse ponto, seu equilíbrio será muito instável, e qualquer perturbação mínima faz com que a atração entre seu polo superior e a base gere um torque, girando o pião e levando-o em contato com a base. Quando o pião está girando ele apresenta um momento angular na direção vertical, que ajuda a estabilizar o movimento.

1.87 Energia Armazenada num Indutor

Objetivo

Realizar um experimento que demonstre que um indutor armazena energia.

Materiais Utilizados

1 solenoide (com núcleo de ferro e umas 1.000 espiras), 1 bateria ($12V$), 1 lâmpada ($12V$), cabos conectores.

Montagem e Procedimento

Usando os cabos conectores associe solenoide e a lâmpada em paralelo com a bateria, de acordo com o esquema do circuito representado na (Fig.1.103).

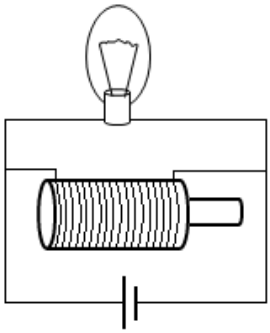

Figura 1.103: Lâmpada e solenoide associados em paralelo.

Ao fechar o circuito observe que a lâmpada brilha fracamente e, ao abri-lo, constate um aumento rápido da luminosidade da mesma, seguido da sua extinção. Mas o que causa esse aumento repentino da luminosidade da lâmpada ao abrir o circuito? Por que, estando o circuito fechado, a lâmpada brilha fracamente? Estando associada em paralelo com o solenoide, ela não deveria brilhar com potência máxima?

Análise e Explicação

Quando o circuito é fechado a lâmpada brilha fracamente porque a maior parte da energia fornecida pela fonte vai para o campo magnético que se forma no interior do indutor (solenoide). Quando se abre o circuito a lâmpada brilha rapidamente de maneira intensa devido à energia proveniente da extinção do campo magnético.

Um indutor é um componente de circuito que armazena energia no campo magnético que envolve os fios condutores de corrente. Um indutor é caracterizado pela sua indutância L, que depende de suas características geométricas.

A indutância L é definida como sendo uma constante de proporcionalidade que relaciona a variação de corrente (Δi) no intervalo de tempo (Δt) com a força eletromotriz induzida ε:

$$\varepsilon_L = L\frac{\Delta i}{\Delta t}.$$

A unidade de L no SI é o H (Henry). L é também chamado de autoindutância, já que a variação da corrente em um dispositivo por si só causa uma ε entre os terminais do mesmo.

A energia armazenada pelo campo magnético do solenoide é igual à quantidade de trabalho necessário para estabelecer o fluxo de corrente através dele, e é dada por

$$E = \frac{1}{2}Li^2,$$

onde L é a indutância do solenoide e i a intensidade de corrente que flui por ele.

1.88 Motor de Faraday

Objetivo

Construir um motor semelhante ao construído por Faraday, o primeiro motor elétrico da história.

Materiais Utilizados

1 bateria ($9V$ ou $12V$), 1 recipiente plástico (ou de vidro), 1 imã (tamanho médio, com formato cilíndrico ou de barra), fios conectores, cola, 1 fio condutor rígido, água, ácido (ou base ou sal) solúvel em água, 1 gancho, 1 argola.

Montagem e Procedimento

Monte o motor de Faraday de acordo com o esquema da Fig.(1.104). Disponha o imã na vertical dentro do recipiente, fixando-o com cola no seu fundo. Prenda no suporte um pequeno gancho, o qual estará ligado por uma argola ao fio móvel (utiliza-se o gancho e a argola para permitir o movimento do fio), cuja outra ponta fica mergulhada na parte mais elevada do líquido dentro do recipiente. O nível do líquido deve estar aproximadamente na mesma altura da barra de imã.

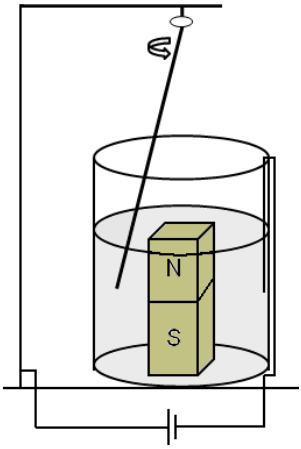

Figura 1.104: Motor de Faraday.

Como líquido condutor de eletricidade utilize uma solução de um ácido,

uma base, ou qualquer outra mistura que forme uma solução iônica. No seu experimento Faraday utilizou mercúrio, que é um metal líquido bom condutor de eletricidade. Se tiver esse elemento disponível também pode usá-lo, mas não é recomendável, pois o mercúrio é uma substância tóxica. Recomendamos utilizar substâncias mais seguras e acessíveis, que se comportam de maneira semelhante.

Fixe um dos conectores na parte interna do recipiente, de modo que ele entre em contato com o líquido, e conecte-o num dos polos da fonte. Ligue o outro conector com a fonte e com o gancho que sustenta o fio móvel, ou com qualquer parte do suporte, se este for metálico. Feche o circuito e observe o fio se mover ao redor do imã.

Análise e Explicação

O líquido ionizado (ou metálico, no caso do mercúrio) permite que as cargas elétricas fluam por ele, fazendo com que passe uma corrente elétrica no circuito. As forças presentes na extremidade do fio móvel, em duas posições diametralmente opostas, estão representadas na Fig.(1.105).

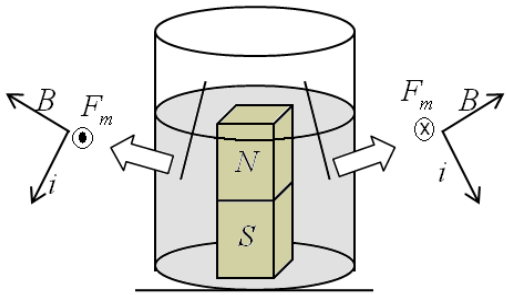

Figura 1.105: Forças nas extremidades do fio móvel.

A força magnética é perpendicular à corrente (ao fio móvel) e ao campo magnético, e acaba originando um torque sobre o fio, colocando-o num movimento circular contínuo ao redor do imã.

1.89 Motor Elétrico Mínimo 1

Objetivos

Construir e explicar o funcionamento de um motor elétrico simples com um imã e uma bobina.

Materiais Utilizados

1 pilha, 1 imã (em formato quadricular, retangular ou circular), 1 base de madeira, fio metálico rígido, fio esmaltado (um pouco rígido), cabos conectores, 1 estilete.

Montagem e Procedimento

Monte o experimento de acordo com a Fig.(1.106). Fixe dois pedaços de fio metálico rígido na base de madeira, os quais funcionarão como mancais para o rotor. As extremidades dos mancais devem estar enroladas de modo a sustentar o eixo da bobina, que formará o rotor. Entre os mancais coloque o imã rente à base. Com os cabos conectores ligue a fonte aos mancais.

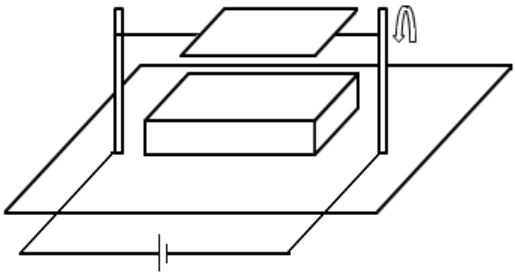

Figura 1.106: Esquema do motor elétrico mínimo 1.

A bobina poderá ser feita apenas com uma espira ou com várias espiras, como mostra a Fig.(1.107-a). Um número maior de espiras fará o motor gi-

rar melhor. Uma das extremidades da bobina, as quais formarão os seus eixos, deve ser totalmente raspada. Já a outra deve ser raspada apenas a metade (Fig.1.107-b), de tal modo que ela tenha um contato elétrico com os mancais, e consequentemente com a pilha, quando as espiras estiverem na posição vertical. Os terminais da bobina funcionarão tanto como eixo de rotação do motor como coletores de corrente elétrica. É importante que o conjunto esteja bem centralizado para que o movimento seja estável.

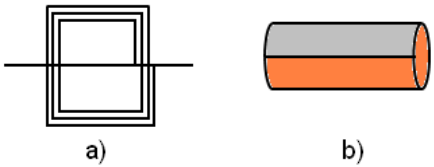

Figura 1.107: a- Constituição da bobina (rotor); b- Extremidade da bobina parcialmente raspada.

Terminada a montagem, ao dar um pequeno impulso no rotor, ele deve continuar girando. Se não girar adequadamente você deve observar a posição da extremidade semi-raspada da bobina e ajustá-la adequadamente, torcendo um pouco o eixo.

Análise e Explicação

Considere uma espira retangular percorrida por uma corrente elétrica i, imersa num campo magnético uniforme $\vec{B}$, tal que o plano da espira é paralelo ao plano de $\vec{B}$, como mostra a Fig.(1.108).

Nos lados RS e PQ não surgem forças magnéticas ($\vec{F}_m$) pois os ângulos θ formados entre o fio e o campo magnético (ângulo entre $\vec{v}$ e $\vec{B}$) tem valores iguais a $0°$ e $180°$, de modo que, pela expressão $F_m = Bil \sin\theta$, $F_m = 0$. Nos lados PR e QS surgem forças magnéticas não nulas, de mesma intensidade e sentidos opostos, as quais provocam a rotação na espira.

À medida que a espira gira a partir da posição representada na Fig.(1.108)

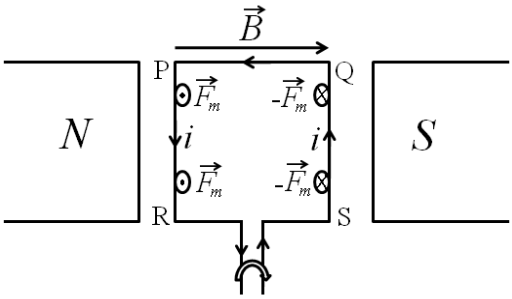

Figura 1.108: Forças magnéticas sobre uma espira retangular.

o binário de forças constituídas por[21] $\vec{F}_m$ e $-\vec{F}_m$ vai diminuindo (ângulo θ via aumentando), reduzindo a eficiência dessas forças em produzir rotação. Quando o plano da espira se torna perpendicular às linhas de campo magnético, as forças $\vec{F}_m$ e $-\vec{F}_m$ se alinham, não gerando mais torque. Como a espira está em movimento, ela não fica em equilíbrio, mas avança além dessa posição. As forças binárias passam, então, a atuar contra a rotação da espira, fazendo com que ela pare e volte a posição de equilíbrio.

Para que a rotação da espira continue, quando ela passa pela posição de equilíbrio, o sentido da corrente que passa por ela deve ser invertido. Isso faz com que o sentido das duas forças binárias também se invertam, favorecendo a rotação.

1.90 Motor Elétrico Mínimo 2

Objetivos

Construir e explicar o funcionamento de um motor elétrico simples com um imã e uma bobina.

[21] Por convenção consideramos positiva a força que está orientada para cima e negativa a que está orientada para baixo.

Materiais Utilizados

1 pilha (tamanho grande), 1 imã (em forma de disco), fio esmaltado, 2 alfinetes duplos, fita adesiva, 1 estilete.

Montagem e Procedimento

Este motor é um variante do Exp.(1.89), sendo de dimensões menores. Usando fita adesiva prenda um alfinete duplo em cada polo da pilha, de modo a formar os mancais do motor. Com o fio esmaltado faça uma bobina circular, raspe metade de uma de suas extremidades e totalmente a outra[22]. Coloque o imã sobre a pilha e monte o rotor sobre ele, introduzindo as extremidades da bobina nos orifícios dos alfinetes (Fig.1.109). Dê um pequeno giro e acompanhe o movimento do rotor.

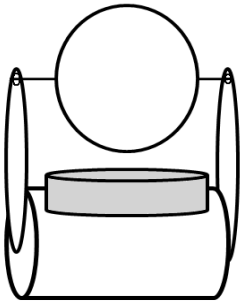

Figura 1.109: Esquema do motor elétrico mínimo 2.

Análise e Explicação

A explicação é semelhante a do Exp.(1.89).

[22] Se tiver dificuldade para raspar parcialmente uma extremidade da bobina você pode raspá-la totalmente e usar um esmalte de unha para cobrir um dos lados.

1.91 Motor Elétrico Mínimo 3

Objetivos

Construir e explicar o funcionamento de um motor elétrico simples com dois imãs e uma bobina.

Materiais Utilizados

1 base de madeira, 1 pilha, 2 imãs iguais, fio esmaltado, 4 lâminas de lata, 4 parafusos, cabos conectores.

Montagem e Procedimento

Este motor é uma variação mais sofisticada dos anteriores, cuja montagem está representa na Fig.(1.110). Ele utiliza dois imãs ao invés de apenas um, os quais são dispostos na horizontal (poderiam também ser colocados na vertical). Os imãs e o rotor são sustentados por lâminas de lata fixadas sobre a base de madeira. Nas lâminas que sustentam o rotor deve existir um entalhe numa de suas extremidades, para que o eixo do rotor gire sem cair.

Os imãs devem ser colocados de modo que eles de atraiam, os seja, com os polos contrários um de frente para o outro. A bobina que forma o rotor pode ser construída enrolando o fio num molde, como um cilindro, por exemplo. Após enrolada, as espiras podem ser firmadas prendendo-as com um pedaço de fita. As extremidades do rotor devem ser, uma delas totalmente raspada e a outra parcialmente (da mesma maneira que no experimento anterior).

Dessa forma, o eixo fará o papel de comutador com o mancal, dirigindo corrente elétrica para o rotor somente nos momentos adequados. Neste caso o contato deve ocorrer quando o rotor estiver no mesmo plano formado pelos imãs (plano horizontal).

Conecte a pilha aos mancais do rotor e dê um pequeno impulso para iniciar o movimento de rotação.

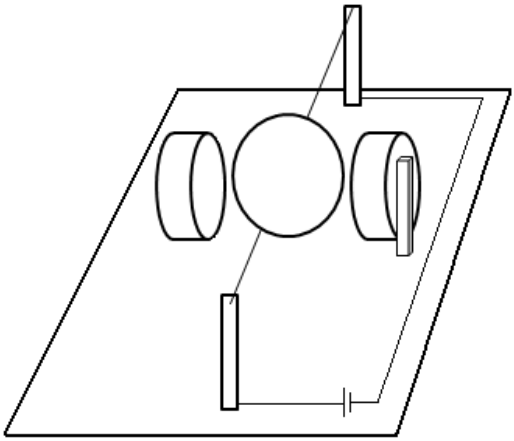

Figura 1.110: Esquema do motor elétrico mínimo 3.

Análise e Explicação

Na Fig.(1.111) temos um esquema que ilustra as direções e sentidos das correntes elétricas nos lados do rotor, das forças magnéticas e do campo magnético produzido pelos imãs sobre ele, vistos por um observador na direção do eixo do rotor.

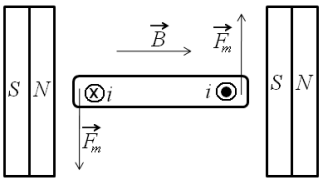

Figura 1.111: Forças sobre o rotor.

1.92 Motor Elétrico Mínimo 4

Objetivo

Construir um dos mais simples motores elétricos.

Materiais Utilizados

1 pilha grande, 1 prego (ou 1 parafuso), 1 imã de neodímio (de grande intensidade obtido em HDs de computadores, por exemplo), 1 cabo conector.

Montagem e Procedimento

Junte o imã com a base do prego. Coloque a ponta do parafuso no polo + da pilha e pressione uma extremidade do fio no seu lado oposto (polo −). Toque lateralmente o imã com a outra ponta do fio e observe que o prego começará a girar. Experimente inverter o polo da pilha em contato com o prego, bem como o polo do imã em contato com a cabeça do prego. O esquema da montagem do motor está na Fig.(1.112).

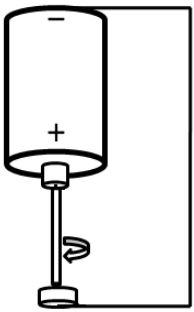

Figura 1.112: Esquema do motor elétrico simples 4.

Análise e Explicação

Quando o circuito é fechado, a corrente elétrica radial percorre o imã, que é condutor de eletricidade. O sentido da corrente é da borda do disco para o centro, ou vice-versa, dependendo da polaridade da pilha.

A interação da corrente com o campo magnético do imã, perpendicular às faces do disco, resulta na força de Lorentz (tangencial) que produz um torque e faz o disco girar. Quando inverte-se o polo da pilha em contato com a ponta do prego, o sentido da corrente fica invertido e o giro também muda de sentido.

Este é um motor simples de alta rotação, onde o prego poderá girar até $10.000rpm$. Quanto menor o prego mais rápido ele irá girar.

1.93 Motor Elétrico de Tração

Objetivos

Construir e explicar o funcionamento de um motor elétrico simples denominado motor elétrico de tração.

Materiais Utilizados

1 pilha, 2 imãs de neodímio (forma de disco com diâmetro maior que o da pilha), 1 folha de alumínio.

Montagem e Procedimento

Monte o conjunto de acordo com a Fig.(1.113). As faces dos imãs em contato com os polos da pilha devem se repelir, e a pilha deve ficar concêntrica com eles. Disponha o conjunto sobre a folha de papel alumínio e perceba que ele começa a girar.

Análise e Explicação

O papel alumínio é bom condutor de eletricidade e não é afetado pelo campo magnético dos imãs. Uma corrente elétrica radial percorre os dois imãs e sua interação com o campo magnético deles, perpendicular à corrente, gera

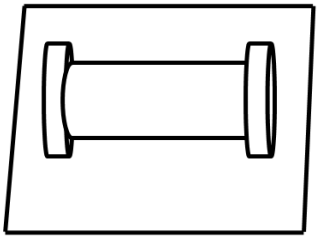

Figura 1.113: Esquema do motor elétrico de tração.

um torque devido à força de Lorentz, que faz as duas rodas (imãs em forma de disco) girarem.

1.94 Motor Elétrico com Bobinas

Objetivos

Construir e explicar o funcionamento de um motor elétrico com bobinas.

Materiais Utilizados

1 base de madeira, 1 pilha, fio esmaltado, 2 lâminas de lata, 2 parafusos, conectores elétricos, 1 pedaço de tubo de PVC.

Montagem e Procedimento

Neste tipo de motor elétrico utilizamos uma bobina como rotor e uma bobina fixa como estator no lugar dos imãs dos experimentos anteriores. Um esquema da sua constituição está representado na Fig.(1.114).

Fixe as duas lâminas de lata na base de madeira, de modo a formar os mancais de sustentação do rotor. Este último é feito do mesmo modo que nos

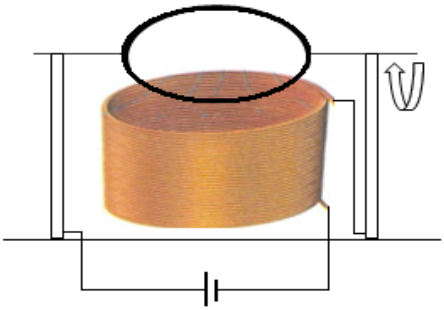

Figura 1.114: Motor com bobinas.

experimentos já realizados. O estator pode ser construído enrolando várias espiras de fio esmaltado ao redor do tubo de PVC.

Ligue os terminais do estator num dos mancais e o outro na pilha. Do segundo mancal um outro fio é conectado na pilha. Talvez aqui seja necessário uma fonte que tenha uma tensão maior que $1{,}5V$. Para isso, por exemplo, associe duas ou mais pilhas em série, ou utilize uma bateria de $9V$ ou $12V$.

Os campos magnéticos criados pela bobina (estator) ficam mais intensos quando se coloca, em seu interior, um núcleo de ferro. O ferro tem a propriedade de concentrar as linhas de indução produzidas pela corrente elétrica que circula nessas bobinas.

Análise e Explicação

A explicação do funcionamento deste motor é semelhante ao do Exp.(1.89). O que muda é que neste caso o estator é um eletroimã (bobina) e não um imã permanente.

1.95 Indução Eletromagnética 1

Objetivo

Verificar o fenômeno da indução eletromagnética.

Materiais Utilizados

1 voltímetro, 1 imã, 1 solenoide, cabos conectores.

Montagem e Procedimento

Conecte os terminais do solenoide no voltímetro. Movimente o imã próximo ao solenoide ou no seu interior (Fig.1.115) e perceba que o voltímetro acusa uma diferença de potencial (tensão). Deixe o imã parado e movimente o solenoide em relação a ele e constate que novamente surge uma tensão.

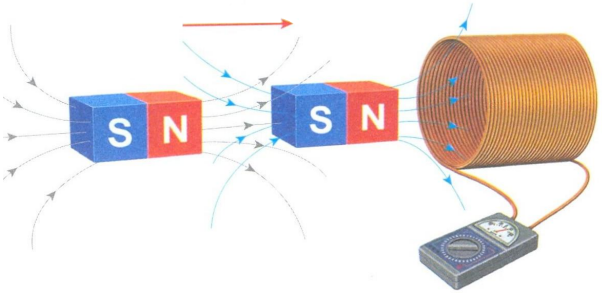

Figura 1.115: Imã e solenoide.

Análise e Explicação

Depois de constatado que as corrente elétricas criavam campos magnéticos, os cientistas começaram a pesquisar o fenômeno inverso, ou seja, se um campo magnético era capaz de criar correntes elétricas. Após muitos anos de insistência, em 1831 o inglês Michael Faraday provou experimentalmente que

isso era possível, e esse novo fenômeno foi chamado de indução eletromagnética. Um ano depois o norte-americano Joseph Henry publicou um resultado experimental semelhante ao obtido por Faraday[23].

O fluxo do vetor indução magnética, ou fluxo magnético Φ, tem intensidade dada por

$$\Phi = BA\cos\theta,$$

onde θ é o ângulo entre $\vec{B}$ e a reta normal ($\vec{N}$) de sua superfície plana de área A, sendo esta imersa num campo magnético uniforme, como representado na Fig.(1.116). A unidade de Φ é o Wb (Webber), onde $1Wb$ equivale a 10^8 linhas de indução magnética.

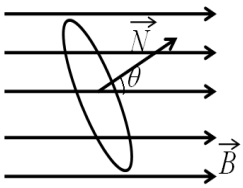

Figura 1.116: Fluxo magnético.

O valor de Φ será máximo quando $\vec{N}$ estiver paralelo a B ($\theta = 0°$), e nulo quando $\vec{N}$ for perpendicular a B ($\theta = 90°$), já que neste último caso nenhuma linha de indução atravessa a área A. Além da dependência do ângulo θ, o fluxo magnético Φ depende também de A e da intensidade de $\vec{B}$.

Ao aproximar ou afastar o imã do solenoide, estamos alterando a intensidade do campo magnético através dele. Ao aproximar o imã a intensidade de $\vec{B}$ através do solenoide aumenta, o que faz com que o valor de Φ através dele também aumente. Havendo um movimento relativo de afastamento a intensidade de $\vec{B}$ diminui, ocorrendo o mesmo com Φ. Se a área for variada, também ocorre variação do fluxo Φ. Isso acontece se o solenoide penetra mais ou menos no campo do imã.

Sempre que houver variação de Φ através da espira, surgirá nela uma corrente elétrica. Esse fenômeno é denominado indução eletromagnética. Mate-

[23] Os trabalhos de Faraday e Henry foram realizados de maneira independente.

maticamente temos que a força eletromotriz (ε) induzida no condutor é dada por

$$\varepsilon = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|,$$

onde $\Delta\Phi$ é a variação do fluxo indutor durante o intervalo de tempo Δt. Esta equação é conhecida como lei de Faraday-Neumann. A principio trabalharemos somente com o módulo de $\Delta\Phi/\Delta t$. Posteriormente abordaremos a questão de sinais.

De acordo com a definição matemática de ε, percebemos que ε é mais intenso quanto mais rápida for a variação de Φ. Se o solenoide contém n espiras, uma ε surge em cada volta e a ε total induzida no circuito é a soma dos valores individuais. Se cada espira sofre aproximadamente a mesma ε induzida tem-se que

$$\varepsilon = n \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|.$$

1.96 Indução Eletromagnética 2

Objetivo

Demonstrar o fenômeno da indução eletromagnética.

Materiais Utilizados

1 fone de ouvido, fio esmaltado, 1 pilha, 1 estilete.

Montagem e Procedimento

Faça um rolinho de fio esmaltado ($3cm$ a $4cm$ de diâmetro), com cerca de umas 20 voltas (enrolamento 1). Com o estilete raspe as pontas para retirar o esmalte isolante. De maneira semelhante, faça um outro rolinho, sendo este com umas 100 voltas (enrolamento 2).

Ligue os terminais do enrolamento 2 aos terminais do fone de ouvido (o plugue tem 2 terminais, um no centro e outro na ponta). Coloque o enrolamento 1 próximo e paralelo ao enrolamento 2 e conecte-o a pilha (Fig.1.117).

Coloque o fone no ouvido e abra e feche (de forma seguida) o circuito formado pelo enrolamento 1 com a pilha. Você ouvirá ruídos. Mas como que isso é possível se os dois circuitos não estão conectados?

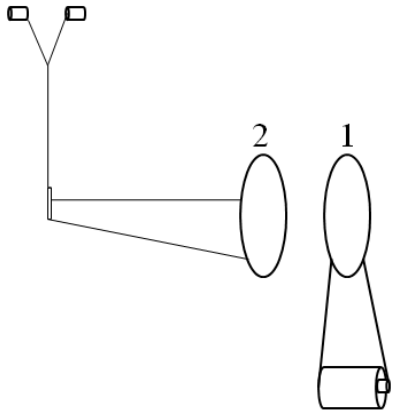

Figura 1.117: Fone de ouvido, enrolamentos e pilha.

Análise e Explicação

A variação do fluxo magnético causado pela variação da corrente elétrica no enrolamento 1 induz uma corrente elétrica no enrolamento 2. Este está ligado ao fone de ouvido e gera ruídos, os quais são ouvidos pelo experimentador.

1.97 Transformador Elétrico - Principio de Funcionamento

Objetivo

Montar um experimento que explique o funcionamento de um transformador elétrico.

Materiais Utilizados

2 solenoides, 1 pilha (ou 1 bateria), 1 voltímetro, cabos conectores.

Montagem e Procedimento

Coloque os dois solenoides próximos um do outro. O primeiro conecte-o na pilha (circuito primário) e o segundo no voltímetro (circuito secundário). Abra e feche o circuito primário e perceba que o voltímetro acusa uma diferença de potencial nas extremidades do segundo solenoide. Uma outra forma de montar os solenoides é fazendo os seus enrolamentos num mesmo núcleo, que pode ser em forma de anel (conforme o esquema da Fig.1.118) ou em forma de barra.

Mas como isso ocorre se os dois circuitos são independentes?

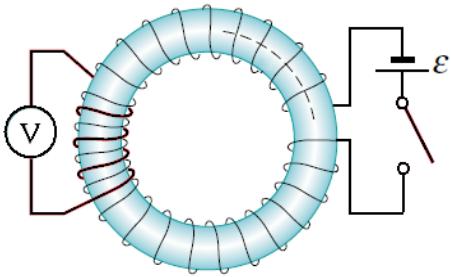

Figura 1.118: Solenoides montados no mesmo núcleo.

Análise e Explicação

A corrente variável no circuito primário gera no secundário um fluxo de indução magnética variável. Esse fluxo propaga-se pelo núcleo e atinge o circuito secundário, onde induz uma força eletromagnética também variável.

Suponhamos que todas as linhas de indução que atravessam um circuito atravessam o outro também. Dessa forma, em qualquer instante, o fluxo magnético em cada espira do primário (ϕ_1) é igual ao fluxo magnético em cada

espira do secundário (ϕ_2). Portanto, temos que a variação de ϕ em cada espira, provocado pelo abre e fecha do circuito, em intervalos de tempo iguais, também será igual:

$$\frac{\Delta\phi_1}{\Delta t} = \frac{\Delta\phi_2}{\Delta t}. \tag{1.67}$$

O circuito primário tem n_1 espiras, de modo que o fluxo total Φ através dele será $\Phi_1 = n_1\phi_1$, e sua variação é dada por

$$\Delta\Phi_1 = n_1\Delta\phi_1. \tag{1.68}$$

De maneira semelhante para o circuito secundário, com n_2 espiras, temos

$$\Delta\Phi_2 = n_2\Delta\phi_2. \tag{1.69}$$

Levando (1.68) e (1.69) em (1.67), obtemos

$$\frac{\Delta\Phi_1}{n_1} = \frac{\Delta\Phi_2}{n_2}. \tag{1.70}$$

Usando a lei de Faraday $\varepsilon = -\Delta\Phi/\Delta t$, escrevemos (1.70) como

$$= -\frac{\varepsilon_1\Delta t}{n_1} = -\frac{\varepsilon_2\Delta t}{n_2},$$

donde vem

$$\frac{\varepsilon_1}{n_1} = \frac{\varepsilon_2}{n_2},$$

a qual mostra a relação entre a força eletromotriz e o número de espiras em cada circuito.

1.98 Transformador Elétrico - Construção

Objetivos

Construir e estudar o funcionamento de um transformador elétrico.

Materiais Utilizados

Ferro laminado (ou barras maciças de ferro), fio esmaltado fino, fio esmaltado grosso, cabos conectores, 1 voltímetro, 2 lâmpadas elétricas, 1 fonte de corrente alternada ($110V$ ou $220V$).

Montagem e Procedimento

Construa o transformador elétrico enrolando o fio esmaltado ao redor do núcleo de ferro laminado. Utilize o fio grosso num circuito e o fio fino no outro. Enrole os dois circuitos no mesmo núcleo[24], como mostra do esquema da Fig.(1.119). Dê um maior número de voltas com o fio fino (circuito primário) e um número menor com o fio grosso (circuito secundário). Em série com os dois circuitos associe uma lâmpada elétrica, para dissipar a energia. Nesse caso estamos construindo um transformador abaixador de tensão. Conecte o circuito primário na fonte de tensão alternada e meça as tensões de entrada e de saída com o voltímetro.

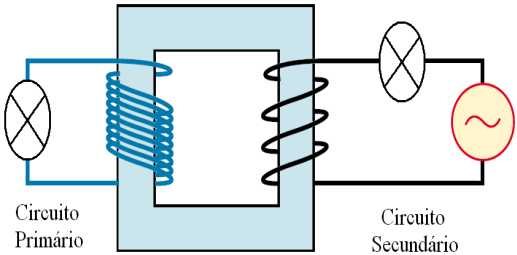

Figura 1.119: Esquema do transformador.

Análise e Explicação

A grande vantagem técnica de se utilizar corrente alternada ao invés de corrente contínua está na possibilidade de obter diferentes tensões (as quais forem convenientes) por meio de transformadores.

Considerando que não ocorre perda de energia, temos que as forças eletromotrizes nos dois circuitos são

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2.$$

[24]Deve-se enrolar algumas dezenas de metros de fio.

Sejam U_1 e U_2 as tensões eficazes[25] no circuito primário e secundário, respectivamente, cada um com uma quantidade n_1 e n_2 de espiras. Para cada circuito a ε por espira é igual à tensão dividida pelo número de espiras do enrolamento:

$$\frac{U_1}{n_1} = \frac{U_2}{n_2}.$$

Isolando U_2 temos que

$$U_2 = \left(\frac{n_2}{n_1}\right) U_1.$$

A razão n_2/n_1 é denominada razão de transformação do transformador. Quando $n_2 > n_1$, $U_2 > U_1$, e o transformador é elevador de tensão. Se $n_2 < n_1$, $U_2 < U_1$ e o transformador é abaixador de tensão.

Num transformador ideal toda energia recebida no circuito primário é transferida para o secundário, de modo que as potências nos dois circuitos são iguais ($P_1 = P_2$). Sendo $P = Ui$, obtemos

$$U_1 i_1 = U_2 i_2.$$

onde i_1 e i_2 são as correntes elétricas eficazes[26] no circuito primário e secundário, respectivamente. Os bons transformadores têm rendimento superiores a 90%.

1.99 Lei de Lenz

Objetivo

Verificar experimentalmente a lei de Lenz.

[25] Na corrente alternada a tensão U varia no tempo, de modo que $U = U_{max} \sin \omega t$, em que $\omega = 2\pi f$, onde f é a frequência elétrica da rede (aqui no Brasil é $60Hz$). O valor eficaz de U é dado por $U = U_{max}/\sqrt{2}$, onde U_{max} é o valor de pico de U. Por exemplo, se a tensão de uma cidade é de $220V$, está-se referindo ao seu valor eficaz, já que, na realidade, a tensão na rede é variável com o tempo, ficando compreendida entre cerca de $-310V$ e $+310V$ ($U_{max} = U\sqrt{2}$).

[26] De maneira semelhante à tensão U, a corrente eficaz é dada por $i = i_{max}/\sqrt{2}$.

Materiais Utilizados

1 multímetro, 1 solenoide (preferencialmente com núcleo de ferro e diversas espiras), 1 imã.

Montagem e Procedimento

Ligue os terminais do solenoide ao multímetro, ajustado como voltímetro. Aproxime do solenoide um dos polos do imã e perceba que o voltímetro acusa a existência de uma tensão. Em seguida afaste do solenoide o mesmo polo do imã e constante que a tensão registrada pelo voltímetro tem sinal oposto (numa situação é $+$ e na outra é $-$, ou vice-versa).

Análise e Explicação

Estudos experimentais levaram o físico russo H. Lenz à descoberta do que hoje conhecemos como lei de Lenz, a qual diz que:

> A corrente induzida surge em um sentido tal que produz um fluxo magnético induzido em oposição à variação do fluxo indutor que lhe originou.

Considere um imã e uma espira próximos, como mostra a Fig.(1.120-a). Quando o polo norte do imã é aproximado da espira, o fluxo magnético através dela aumenta. Para contrariar essa variação do fluxo magnético indutor, surge na espira uma corrente induzida que gera um fluxo magnético contrário ao indutor (Fig.1.120-b). O sentido da corrente é tal que na face da espira voltada para o imã surge um polo norte. Isso explica porque o operador tem de exercer uma força contra a força magnética repulsiva para aproximar o imã da espira.

Considere agora o imã afastando-se da espira, como mostra a Fig.(1.120-c). Neste caso o fluxo magnético indutor através da espira diminui e, para contrariar essa variação do fluxo indutor, surge uma corrente induzida na espira que gera um fluxo induzido a favor do indutor. Na face da espira voltada para o imã surge agora um polo sul, que tenta impedir o afastamento do imã. Novamente a força do operador precisa realizar um trabalho, que corresponde à energia fornecida ao sistema e que se converte em energia elétrica, de acordo com o principio de conservação da energia.

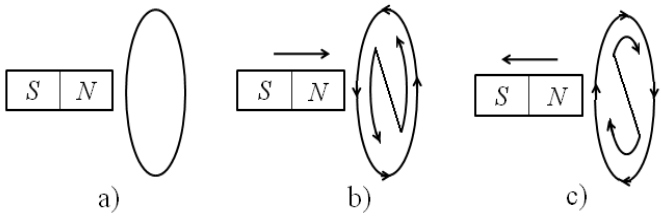

Figura 1.120: a- Imã e espira; b- Imã aproximando-se da espira; c- Imã afastando-se da espira.

1.100 Anel de Thompson

Objetivos

Reproduzir e estudar o experimento do anel de Thomson, também conhecido como anel saltador.

Materiais Utilizados

1 solenoide (com núcleo alongado, tendo 2 ou 3 centenas de espiras), 1 anel de alumínio (ou de qualquer metal não ferromagnético, com diâmetro maior que o núcleo do solenóide), 1 fonte de corrente alternada ($110V$ ou $220V$), cabos conectores.

Montagem e Procedimento

O anel de Thompson, ou anel saltador, a grosso modo é um transformador com núcleo aberto no qual o circuito primário é o solenoide e o circuito secundário é uma espira de fio grosso (anel de alumínio).

Coloque o anel ao redor do núcleo, sobre o solenoide, como representado na Fig.(1.121). Ligue por um breve instante o solenoide na fonte de tensão alternada e observe o anel ser lançado violentamente para fora do núcleo. Dependendo da voltagem aplicada e das características do solenoide, o anel simplesmente poderá ficar levitando sobre o solenoide.

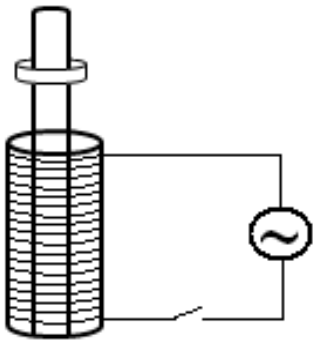

Figura 1.121: Esquema do experimento anel de Thomson.

Análise e Explicação

Uma corrente elétrica variável (nesse caso alternada) aplicada no solenoide cria um campo magnético variável ao seu redor. Esse campo magnético variável induz uma corrente no anel de tal modo que o campo magnético dessa corrente induzida se opõe ao campo magnético do solenoide. Com isso, o segundo campo sustenta o anel no primeiro.

Ao ser ligado, a rápida variação da corrente elétrica no solenoide primário induz no anel uma corrente muito intensa[27]. Devido à lei de Lenz, o indutor (solenoide) e o induzido (anel) sofrem uma força de repulsão, fazendo este último saltar ou levitar sobre o solenoide.

1.101 Disco de Arago 1

Objetivos

Reproduzir e analisar o experimento denominado disco de Arago.

[27] O anel é formado por apenas uma espira, o que faz com que nele seja produzido uma tensão baixa. No entanto, devido à sua baixa resistência elétrica, a corrente gerada é bastante alta.

Materiais Utilizados

1 disco de alumínio (ou cobre, com eixo para girar), 1 imã em forma de ferradura (com eixo para girar),

Montagem e Procedimento

Suspenda o imã em forma de ferradura sobre o disco de alumínio, estando este disposto sobre um eixo que o permita rodar (Fig.1.122). Coloque o imã a girar e perceba que o disco gira também no mesmo sentido.

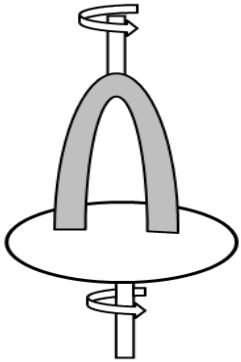

Figura 1.122: Imã suspenso sobre o disco 1.

O experimento pode ser construído de maneira um pouco variada, girando o disco de alumínio e fazendo levitar um imã disposto sobre ele. Fixe o imã (com qualquer formato) na extremidade de um dos braços de um eixo que está livre para se mover na vertical. Coloque um contrapeso na outra extremidade do braço de modo a equilibrar o imã (Fig.1.123).

Ligue o motor e observe que, com o aumento progressivo da rotação, o imã, que até o momento ficava raspando sobre o disco, começa a levitar. Faça uma força com o dedo, empurrando o imã contra o disco, e constate a existência de uma força de repulsão entre eles.

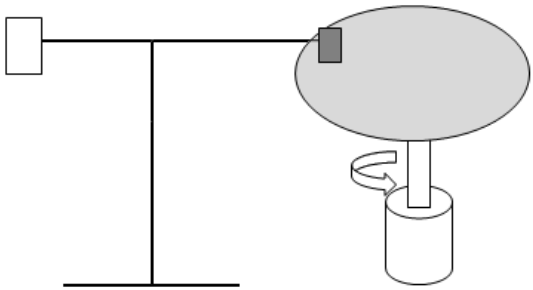

Figura 1.123: Imã suspenso sobre o disco 2.

Mas de onde vem essa força, já que o alumínio não é um material ferromagnético, não sendo atraído por um imã?

Análise e Explicação

O fenômeno da interação entre um imã e um material não ferromagnético em movimento relativo foi observado primeiramente por Arago em 1825 e interpretado por Faraday em 1832. Em seu experimento Arago utilizou um disco de cobre e seu resultado surpreendeu a todos, porque o cobre é um material não magnético.

O campo magnético variável produzido pela rotação do imã induz correntes elétricas no disco de alumínio. Essas correntes criam o seu próprio campo magnético. A interação dos dois campos magnéticos provoca a rotação do disco de alumínio, no mesmo sentido do imã.

O imã produz ao seu redor um campo magnético que é caracterizado em cada ponto do espaço por um vetor $\vec{B}$. O número de linhas de campo que atravessa uma superfície de área A é denominado fluxo magnético Φ, e sua intensidade é determinada por

$$\Phi = |\vec{B}||\vec{A}|\cos\theta,$$

onde θ é o ângulo entre as direções de $\vec{B}$ e $\vec{A}$.

Estando o imã ou o disco parado, o fluxo magnético que passa pelo disco permanece constante e não há nenhuma força eletromotriz ε induzida, já que esta é oriunda da variação do fluxo Φ num intervalo de tempo t:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

O movimento do imã provoca uma variação no campo magnético, o que induz uma força eletromotriz no disco. De acordo com a lei de Lenz, quando um polo do imã se aproxima de uma região do disco, o sentido da corrente neste induzida gera um fluxo magnético que tende a se afastar, tentando evitar o aumento do fluxo. Dessa forma, a região do disco se afasta do polo que se aproxima, seguindo à frente do imã. Quando o fluxo indutor diminui, pelo afastamento do imã, o sentido da corrente induzida gera um fluxo que tende a se aproximar da região afetada, de modo que nela não ocorra uma diminuição do fluxo. Com isso, esta região do polo que se afasta segue na traseira do imã. O resultado disso tudo é que o disco é rotacionado no mesmo sentido de rotação do imã.

Enquanto o disco gira, as regiões que passam sob o imã entram e saem continuamente do campo magnético gerado por este. Dessa forma, é criado na região do disco sob o imã correntes induzidas que geram um campo magnético que se opõem ao campo magnético indutor do imã. Essa oposição pode se manifestar tanto no sentido de frear o disco como no de repeli-lo. Como o movimento de rotação do disco é realizado por uma força externa, somente o imã acaba se movendo. Ele pode se mover para cima e até lateralmente, tendendo a avançar no sentido de rotação do disco.

1.102 Disco de Arago 2

Objetivos

Reproduzir e analisar o experimento denominado disco de Arago.

Materiais Utilizados

Fio fino (barbante), 1 disco de alumínio, 1 suporte, 1 motor (de carrinho de brinquedo), 1 pilha (para alimentar o motor) 1 imã (em forma de barra), 1 suporte, cabos conectores.

Montagem e Procedimento

Suspenda o disco no suporte por três pedaços de fio presos nas bordas, de modo que ele fique suspenso num plano horizontal e que possa girar livremente. Sob o disco coloque o motor e no seu eixo prenda o imã em forma de barra (Fig.1.124). Ligue o motor na pilha e observe que o giro do imã faz com que o disco também gire no mesmo sentido.

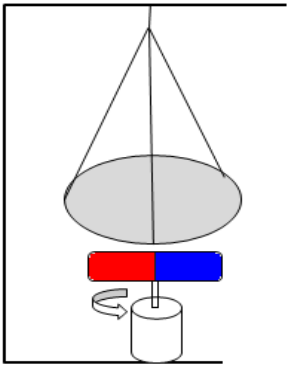

Figura 1.124: Disco suspenso sobre um imã.

Esse experimento pode ser realizado de uma maneira um pouco diferente: gire o disco manualmente e observe que o imã passa a girar, com o motor desligado. Pode-se também colocar uma folha de papel ou algo semelhante entre o disco e o imã para descartar qualquer outro fator que possa estar fazendo um girar o outro, como correntes de ar.

Análise e Explicação

A explicação é a mesma do Exp.(1.101).

1.103 Correntes Induzidas 1

Objetivo

Verificar a existência de correntes induzidas.

Materiais Utilizados

1 imã (pequeno), 1 fio, 2 copos de plástico descartáveis (de tamanhos diferentes), papel alumínio, água.

Montagem e Procedimento

Revista internamente o copo menor com papel alumínio, com a superfície espelhada voltada para o interior. Encha o copo maior com água até a borda. Em seguida coloque o copo menor sobre a água, o qual deve manter-se em equilíbrio sobre o líquido[28]. Pendure o imã no fio e coloque-o no interior do copo menor revestido com alumínio. Gire o imã por meio de uma torção no fio de sustentação e observe que o copo gira no mesmo sentido (Fig.1.125).

Análise e Explicação

Estando o imã em repouso no interior do copo, uma pequena superfície de papel alumínio é atravessada por uma certa quantidade de linhas de campo magnético. Quando o imã começa a girar, ocorre uma variação da quantidade de linhas de campo nessa região, o que faz com que surja uma força eletromotriz que produz uma corrente elétrica induzida.

Na região em que as linhas de campo se intensificam, a força eletromotriz induz uma corrente que gera um campo magnético que tenta anular o campo produzido pelo imã. O mesmo fenômeno acontece na região onde ocorre a

[28] Esse equilíbrio é conseguido devido à existência da tensão superficial da água.

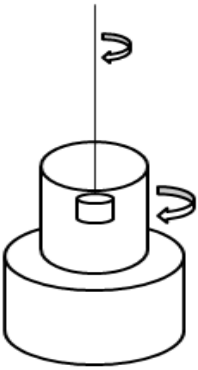

Figura 1.125: Imã suspenso e copos plásticos.

diminuição das linhas de campo. Nessas duas regiões os sentidos das correntes induzidas numa superfície do papel alumínio possuem sentidos opostos, como representados na Fig.(1.126-a).

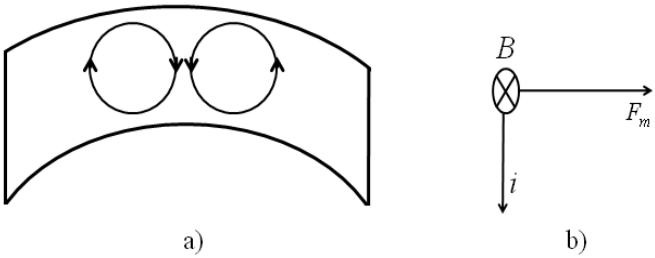

Figura 1.126: a- Indução de correntes elétricas com sentidos opostos; b- Surgimento de uma força magnética.

Entre as regiões de aumento e redução do campo magnético ocorre uma intensificação das correntes elétricas, o que faz surgir uma força magnética. Pela regra da mão direita (Fig.1.126-b) constatamos que essa força magnética

tem a mesma direção do deslocamento do imã, o que faz com que o copo gire no mesmo sentido de rotação do imã.

Concluindo a explicação desse experimento, podemos dizer que a rotação do copo de plástico deve-se ao surgimento de correntes elétricas induzidas. Se trocarmos o imã por outro material e repetirmos o experimento, verificamos que a rotação do copo não ocorre.

1.104 Correntes Induzidas 2

Objetivo

Constatar a geração de correntes induzidas durante a queda de um imã no interior de um tubo metálico não ferromagnético.

Materiais Utilizados

1 tubo oco de plástico (cano de PVC, por exemplo), 1 tubo oco de cobre ou de alumínio (ou qualquer outro metal não-ferromagnético), 1 imã (com forma esférica ou cilíndrica), 1 esfera ou cilindro não imantado (com formato semelhante ao imã e de massa aproximada).

Montagem e Procedimento

Coloque o tubo de plástico na vertical e dentro dele solte as duas esferas, o imã e o material não imantado, uma de cada vez. Observe que os tempos de queda são aproximadamente iguais para ambos. Uma representação da montagem do experimento está na Fig.(1.127).

Agora repita o mesmo procedimento usando o tubo de cobre. Observe que neste caso a esfera não-imantada cai em queda livre, como no primeiro experimento, mas o imã demora um tempo bem maior para isso. Olhando a queda de cima constate que o imã cai com velocidade praticamente constante. E isso se deve à existência de alguma força que atua em sentido oposto à força da gravidade.

O diâmetro do imã deve ser somente um pouco menor do que o diâmetro interno do tubo. Recomenda-se também utilizar imãs de terras raras que, por

Figura 1.127: Esfera sendo solta no interior do tubo.

apresentarem magnetização intensa, têm campos magnéticos de alta intensidade (imãs de neodímio, por exemplo), acentuando o efeito de frenagem.

Análise e Explicação

Quando abandonada no interior do tubo, a esfera não imantada atinge rapidamente a outra extremidade. Já, quando se abandona um imã, este leva um tempo muito superior (cerca de 40 vezes maior).

Olhando por cima no interior do tubo percebe-se um movimento como se em câmera lenta, dando a impressão de que o imã está flutuando. O imã praticamente não encosta nas paredes internas do tubo, pois toda vez que delas se aproxima, uma força repulsiva o move novamente para o eixo central.

O tubo pode ser considerado como sendo formado por inúmeras espiras metálicas justapostas associadas em série. A interação de cada espira com o imã em queda, mediada pelos seus campos magnéticos, é equivalente à interação entre dois imãs que estão com seus polos iguais voltados um contra o outro. Essa força é capaz de frear a queda rapidamente e fazer com que o imã caia em movimento retilíneo uniforme de baixa velocidade.

Durante a queda o imã gera um campo magnético variável e induz uma força eletromotriz no tubo. Essa força eletromotriz produz uma corrente elé-

trica no tubo que, de acordo com a lei de Lenz, gera um campo magnético que se opõe ao campo magnético do imã, fazendo com que este caia com velocidade constante.

1.105 Correntes de Foucault 1

Objetivo

Verificar a existência das correntes de Foucault ou correntes parasitas.

Materiais Utilizados

1 eletroímã em forma de ferradura, 1 fonte de energia (para alimentar o eletroímã), cabos conectores, 1 fio fino, 2 lâminas de alumínio (ou qualquer outro metal não ferromagnético, sendo 1 inteiriça e 1 com fendas).

Montagem e Procedimento

Com o fio e a lâmina de alumínio faça um pêndulo e coloque-o para oscilar entre os polos do eletroímã, como mostra o esquema da Fig.(1.128). Observe que, enquanto o eletroímã não estiver ligado o pêndulo oscila normalmente. Quando o eletroímã é ligado na fonte o pêndulo acaba parando de oscilar.

Substitua a lâmina inteiriça (Fig.1.129-a) pela lâmina dotada de fendas (Fig.1.129-b), tal que a direção das fendas seja perpendicular às linhas do campo magnético do eletroímã, e note que o amortecimento sofrido pelo pêndulo será mais fraco.

Análise e Explicação

O pêndulo para de oscilar quando o eletroímã é ligado porque a lâmina do pêndulo está submetida a um fluxo magnético variável enquanto oscila, o que acaba gerando correntes elétricas induzidas na lâmina, também conhecidas como correntes parasitas ou correntes de Foucault, em homenagem ao físico francês Jean Foucault.

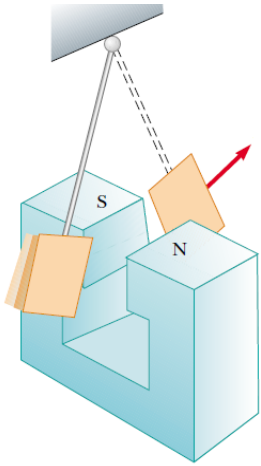

Figura 1.128: Pêndulo oscilando entre os polos de um eletroímã.

Correntes induzidas não surgem somente em espiras condutoras. Se o imã se aproximar de uma superfície condutora as correntes induzidas também aparecem, e neste caso são chamadas correntes de Foucault.

Quando a placa condutora inteiriça começa a atravessar a região onde se concentram as linhas de campo do eletroímã, aumenta a área da placa atravessada pelo campo magnético. De acordo com as leis de Faraday e Lenz, aparecem na placa forças eletromotrizes e correntes induzidas que originam forças magnéticas que são exercidas no sentido de impedir que a placa entre nessa região. Situação equivalente ocorre quando a placa sai do campo magnético. Nesse caso a área da placa atravessada pelas linhas de campo diminui, fazendo com que nela apareçam forças eletromotrizes e correntes induzidas que originam forças magnéticas que tentam impedir a placa de sair da região entre os polos do eletroímã.

Quando a placa for substituída por outra com fendas, esse espaço vazio reduz a área da placa que atravessa as linhas de indução. A consequência disso é que a força magnética oposta ao movimento será menor, o que diminui o

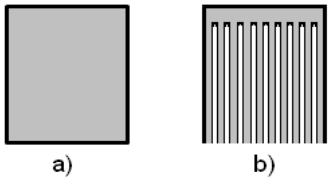

Figura 1.129: Lâmina: a- Inteiriça; b- Com fendas.

amortecimento. Na lâmina inteiriça as correntes de Foucault são mais intensas, o que dissipa rapidamente a energia de oscilação do pêndulo. Na lâmina com fendas a resistência elétrica da lâmina é maior do que a lâmina sem fendas, e isso faz com que a intensidade das corrente de Foucault seja menor.

As corrente de Foucault são até importantes e desejáveis em alguns casos, mas intensamente indesejáveis em outros. Os núcleos de transformadores de corrente alternada, por exemplo, estão entre os equipamentos mais afetados por essas correntes parasitas. Para reduzi-las, monta-se o núcleo a partir de várias lâminas isoladas umas das outras, por uma pintura de verniz ou a colocação de um material isolante, ao invés de inteiro. Com isso, as correntes de Foucault que são geradas em cada elemento isolado adquirem baixas intensidades.

As correntes de Foucault são usadas nos fogões sem chama, nos quais um eletroímã gera um campo magnético variável, o qual induz correntes de Foucault no fundo das panelas metálicas, produzindo calor que aquece os alimentos. Esses fogões são mais eficientes que os tradicionais, já que o calor é gerado nas próprias panelas.

1.106 Correntes de Foucault 2

Objetivo

Evidenciar a existência das correntes de Foucault.

Materiais Utilizados

1 eletroímã em forma de ferradura, 1 fonte de energia (para alimentar o eletroímã), cabos conectores, 1 disco de alumínio (ou qualquer outro metal não ferromagnético), 1 pedaço de fio rígido, 2 suportes.

Montagem e Procedimento

Passe o fio rígido pelo centro do disco de alumínio, de modo a formar um eixo e dobre uma de suas pontas para formar uma manivela. Apoio o eixo sobre os dois suportes, de modo que o disco possa girar livremente entre os polos do eletroímã, conforme o esquema da Fig.(1.130).

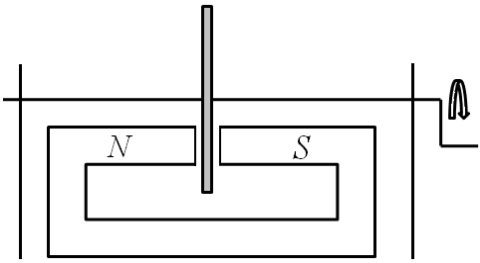

Figura 1.130: Disco girando entre os polos do eletroímã.

Observe que, enquanto não passa uma corrente elétrica pelo eletroímã, o disco gira facilmente. Ao ligar o eletroímã o disco passa a girar com uma certa dificuldade, comportando-se como se existisse uma força que o tenta impedir de rodar. Se o disco for forçado a girar, depois de um tempo se perceberá um aquecimento no mesmo.

Análise e Explicação

Quando o fluxo magnético através de uma região de um material condutor varia, correntes de Foucault surgem nesse material. Essas correntes são correntes reais e produzem diversos efeitos, entre eles o efeito Joule, que é a

conversão de energia elétrica em energia térmica (calor). Maiores explicações foram dadas nos experimentos anteriores.

1.107 Gerador Eletromagnético

Objetivos

Construir e estudar o funcionamento de um gerador eletromagnético.

Materiais Utilizados

Um dos motores desenvolvidos nos experimentos anteriores[29], 1 voltímetro, cabos conectores.

Montagem e Procedimento

Inicialmente é interessante fazer uma pequena adaptação no motor elétrico. No eixo do rotor acople uma espécie de manivela, a qual vai permitir que o mesmo seja girado mais facilmente e de maneira contínua. Após isso conecte o voltímetro nos terminais do motor, gire a manivela e perceba que ele acusa a existência de uma tensão elétrica. Se o rotor for girado de maneira continua, essa tensão se mantem praticamente constante.

Análise e Explicação

O elemento básico de um gerador eletromagnético é uma espira condutora que gira no interior de um campo magnético. Como a configuração das linhas de indução magnética é fixa, quando a espira gira a área atravessada pelas linhas muda, variando o fluxo magnético através da espira.

O fluxo magnético Φ através de uma espira de área A, quando submetida a um campo magnético $\vec{B}$ tem intensidade dada por

$$\Phi = BA\cos\theta,$$

[29]Em termos de estrutura básica, um gerador elétrico (mais corretamente é gerador eletromagnético) não difere muito de um motor elétrico.

onde θ é o ângulo entre $\vec{B}$ e a normal da área A da espira. Se a espira gira o ângulo θ varia, o que faz com que, num intervalo de tempo Δt ocorra uma variação do fluxo magnético $\Delta\Phi$. Isso gera uma força eletromotriz ε dada por

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

De acordo com esta equação o valor da força eletromotriz induzida é maior quando a variação do fluxo magnético $\Delta\Phi$ é maior num certo intervalo de tempo. Isso se consegue aumentando os valores de B e/ou A, bem como elevando a rotação da espira. Outra forma é aumentar o número de espiras n, já que, para diversas espiras temos

$$\varepsilon = -n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

À medida que a espira gira o ângulo θ muda com o tempo t de acordo com $\theta = \omega t$, onde ω é a velocidade angular. O valor de ε é máximo quando $\Delta\Phi$ é máximo, e isso ocorre quando a espira atravessa o plano horizontal, paralelos às linhas de campo. ε é nulo quando a espira atravessa o plano vertical perpendicular às linhas de campo, já que $\Delta\Phi$ é nulo nesses casos.

De acordo com a lei de Lenz, o sentido de ε deve inverter-se cada vez que a espira passa pelo plano vertical pois, a partir dessa posição, o fluxo magnético que estava aumentando, passa a diminuir. O valor de ε muda de sinal na passagem da espira pela posição vertical. Por isso a corrente induzida na espira é alternada e sua frequência coincide com a frequência de rotação da espira geradora. A intensidade da ε induzida nas n espiras girantes é dada por

$$\varepsilon = nBA\omega\sin(\omega t).$$

Para fazer com que a corrente de saída seja contínua usa-se um sistema de contato comutador-escovas (semelhante aos motores). O comutador é constituído por dois contatos semicilíndricos que giram juntos com a espira. Enquanto giram, os comutadores raspam nas escovas fixas, estabelecendo contato entre eles. Dessa forma é possível fazer com que a corrente alternada, embora continuasse oscilante, tivesse um único sentido.

Na Fig.(1.131-a) temos a representação esquemática de um gerador eletromagnético de corrente alternada (AC) e na Fig.(1.131-b) um gerador de corrente contínua (CC).

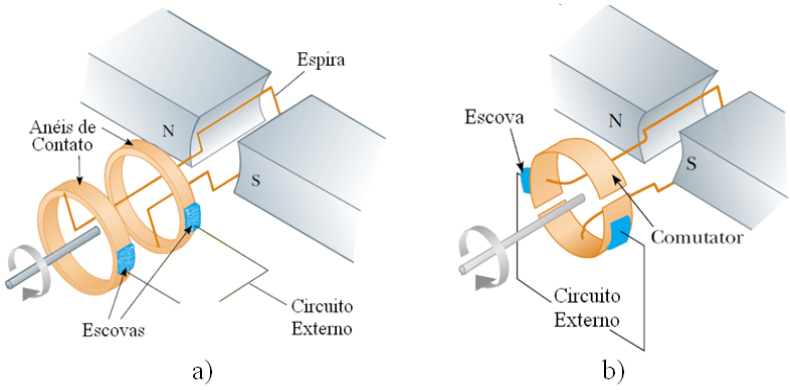

Figura 1.131: Gerador eletromagnético: a- Corrente alternada (AC); b- Corrente contínua (CC).

1.108 Acendendo uma Lâmpada Fluorescente

Objetivo

Acender uma lâmpada fluorescente aproximando-a de um gerador de Van der Graaf.

Materiais Utilizados

1 lâmpada fluorescente (pode ser queimada), 1 gerador de Van der Graaf.

Montagem e Procedimento

Aproxime a lâmpada do gerador de Van der Graaf e observe que ela acende. Como isso ocorre se não há um contato direto entre eles?

Análise e Explicação

Nas lâmpadas fluorescentes elétrons são liberados nos filamentos que ficam em suas extremidades, através do efeito termiônico[30]. Esses elétrons são acelerados para o interior da lâmpada, devido a uma alta tensão aplicada entre as suas extremidades. Nesse experimento a alta tensão é aplicada pelo gerador de Van der Graaf.

Os elétrons atingem os átomos de uma mistura rarefeita de vapor de mercúrio (Hg) e gás argônio (Ar)(gás inerte), provocando ionizações e excitações. Isso faz com que o Hg e o Ar emitam radiações, principalmente radiação ultravioleta. A radiação ultravioleta incide sobre a parede interna do tudo de vidro, o qual é revestido por uma tinta fluorescente. Os elétrons dos átomos da tinta fluorescente absorvem os fótons da radiação ultravioleta, sofrem transições e acabam emitindo fótons de luz visível.

A lâmpada fluorescente foi criada por Nikolas Tesla e introduzida no mercado em 1938. Elas possuem eficiência superior às lâmpadas incandescentes, emitindo bem mais energia na forma de luz do que calor.

1.109 Produção de H_2 e O_2

Objetivo

Verificar a produção dos gases H_2 e O_2 por eletrólise.

Materiais Utilizados

1 bateria ($12V$), cabos conectores, 2 eletrodos, 2 recipientes (sendo 1 com tampa) 1 mangueira, água, detergente, cloreto de sódio (sal de cozinha), fósforo.

[30] A função dos filamentos nas extremidades do tubo é pré-aquecer o seu interior para reduzir a tensão elétrica necessária à ionização, dando a partida no processo de bombardeamento dos íons positivos dos gases no interior do tubo.

Montagem e Procedimento

Dentro de um recipiente prepare uma solução eletrolítica, dissolvendo um pouco de cloreto de sódio ($NaCl$) na água, de modo que ela torne-se condutora de eletricidade. Passe a mangueira pelo meio da tampa, sendo que esta deve encaixar bem no recipiente com a solução. Introduza dois eletrodos nesse recipiente e feche a tampa. Ligue essa mangueira com outro recipiente contendo água e um pouco de detergente na sua superfície. Um esquema da montagem do experimento está na Fig.(1.132).

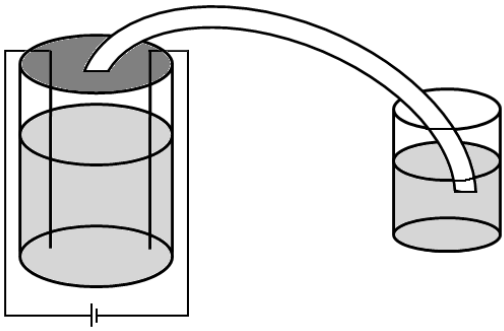

Figura 1.132: Experimento para realização de eletrólise.

Ligue os eletrodos na bateria e observe a movimentação da solução eletrolítica no recipiente e a formação de pequenas bolhas, bem como a formação de bolhas maiores no recipiente menor com água e detergente. Aproxime deste último um palito de fósforo aceso sobre essas bolhas e observe que ocorre uma pequena explosão.

Outra forma de realizar o experimento é utilizando uma garrafa PET com um balão sobre a boca da garrafa. Os eletrodos são colocados nas laterais da garrafa e colados, para não deixar sair os gases. Depois de deixar ligado por certo tempo os eletrodos na bateria, pegue o balão inflado e leve-o sobre a chama de uma lamparina. De maneira semelhante que no experimento anterior, ocorre uma pequena explosão.

Análise e Explicação

A passagem de uma corrente elétrica pela água provoca a sua decomposição, formando o gás hidrogênio (H_2) e o gás oxigênio (O_2). Esta reação é representada pela equação

$$2H_2O_{(l)} \longrightarrow 2H_{2(g)} + O_{2(g)}.$$

No interior do tubo ocorre a eletrólise. No polo $+$ (ânodo) é produzido o O_2 e no polo $-$ (cátodo) o H_2. Esses gases são conduzidos pela manga até o interior do outro recipiente. Ao serem injetados na água os gases tendem a se elevarem e acabam por ficar aprisionados no detergente, formando bolhas. Ao ser aproximado a chama do fósforo, ocorre uma rápida combustão entre os gases H_2 e O_2, gerando a pequena explosão.

1.110 Acelerador de Partículas

Objetivo

Construir um equipamento que simule o funcionamento de um acelerador linear de partículas.

Materiais Utilizados

1 imã, 3 esferas metálicas ferromagnéticas, 1 trilho.

Montagem e Procedimento

Monte o acelerador de acordo com o esquema da Fig.(1.133). Quando solta no trilho a esfera 1 é atraída pelo imã, fixado sobre o trilho. Ao se aproximar do imã ela acelera o seu movimento e choca-se com ele. A colisão com o imã transmite energia mecânica ao sistema, de modo que a esfera 3 é acelerada, sendo lançada em direção ao final do trilho. A esfera 3 atinge uma grande velocidade quando comparada à velocidade da esfera 1 no início do movimento.

Esse experimento pode ser aperfeiçoado e realizado com mais do que um imã. No esquema da Fig.(1.134) temos o experimento realizado com três imãs e sete esferas.

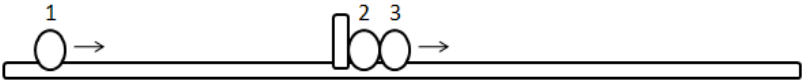

Figura 1.133: Esquema do acelerador linear.

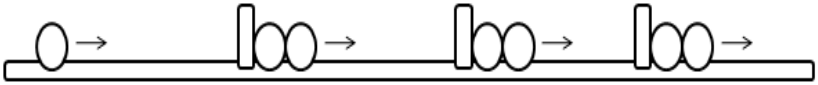

Figura 1.134: Acelerador linear mais intenso.

Análise e Explicação

Apesar das esferas 2 e 3 estarem ligadas ao imã, somente a esfera 3 é lançada, pois a esfera 2 está presa mais fortemente ao imã.

A ideia do funcionamento do segundo experimento é a mesma que o primeiro, mas agora a velocidade adquirida pelo projétil final é bem maior.

Um acelerador de partículas real é diferente do que o aqui construído, pois o mesmo projétil eletricamente carregado que inicia o movimento é que vai incidir no alvo. Mas o experimento aqui realizado é interessante porque ilustra um processo de aceleração por campos magnéticos, neste caso não sobre cargas elétricas mas sobre materiais ferromagnéticos.

1.111 Gaiola de Faraday

Objetivos

Construir e analisar o funcionamento de uma gaiola de Faraday.

Materiais Utilizados

1 celular (que sintonize estações de rádio e/ou TV), 1 folha de papel alumínio, 1 folha de jornal, 1 pedaço de tela metálica (com malha menor que $2cm$).

Montagem e Procedimento

Ajuste o celular numa estação de rádio (ou emissora de TV) que possa ser bem sintonizada. Em seguida envolva todo o aparelho com a folha de jornal e perceba que nada ocorre. Agora use a folha de papel alumínio e observe que o celular deixa de sintonizar a estação de rádio. O mesmo acontece quando o celular for envolto pela tela metálica, de modo a formar uma espécie de gaiola.

O papel alumínio pode ser substituído por qualquer invólucro metálico, inclusive uma tela de pequena abertura, como no experimento citado. Quanto menor a abertura, maior o poder de impedir a passagem de ondas eletromagnéticas. Além do celular, podem ser utilizados nesse experimento outros equipamentos, tais como um rádio portátil, o controle remoto da televisão, o controle do carro, etc.

Análise e Explicação

O papel alumínio ou a gaiola de malha metálica formam uma blindagem eletrostática, também conhecida como gaiola de Faraday, que impedem que as ondas eletromagnéticas sejam captadas pelo celular em seu interior (Fig.1.135).

Em 1836 Faraday demonstrou experimentalmente que o campo elétrico no interior de um condutor eletrizado é nulo. Para isso ele construiu uma grande caixa usando telas metálicas condutoras e isolou-a da terra. No experimento Faraday entrou na caixa, levando consigo vários dispositivos de detecção de campos elétricos, e mandou que seus assistentes a eletrizassem intensamente. Os equipamentos não detectaram nenhum campo elétrico no interior da caixa, e Faraday não sentia nada. Por isso essa caixa recebeu no nome de gaiola de Faraday.

Estando o celular envolvido com papel alumínio, este comporta-se com um condutor elétrico fechado e oco, cujo campo elétrico no seu interior é nulo.

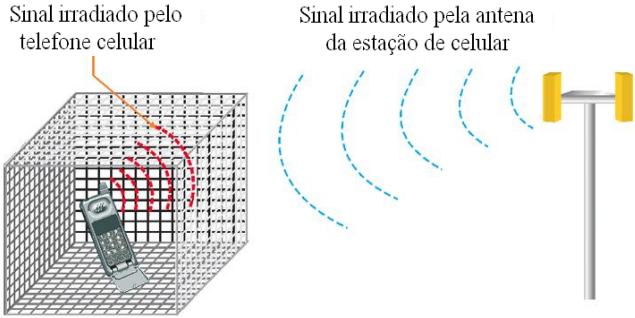

Figura 1.135: Blindagem eletrostática.

Quando a onda eletromagnética, constituída por campos elétricos e magnéticos, incide na superfície metálica, ela perde o campo elétrico e a onda deixa de se propagar, já que o campo elétrico gera o campo magnético e o campo magnético gera o campo elétrico.

A blindagem eletrostática é muito utilizada para proteger circuitos e dispositivos elétricos e eletrônicos. Aparelhos de medição, peças de computadores, etc., estão acondicionados em caixas metálicas para não sofrerem influências externas e indesejáveis. Um automóvel, com uma estrutura metálica fechada, comporta-se como uma gaiola de Faraday. Por isso eles usam uma antena externa para que os rádios funcionem em seus interiores.

1.112 Experimento de Hertz

Objetivo

Fazer um experimento alternativo que reproduza o experimento de Hertz.

Materiais Utilizados

1 bateria ($9V$ ou $12V$), 1 alto-falante (de caixinha de som de computador), 2 bobinas iguais (com cerca de 500 espiras cada).

Montagem e Procedimento

Monte o circuito de acordo com a Fig.(1.136). Se não tiver as bobinas já prontas pode utilizar transformadores velhos ou reatores de lâmpadas fluorescentes antigas como matéria-prima para construí-las. No caso de usar sucata de transformador, pode retirar o núcleo de ferro conservando os enrolamentos, cuidando para não danificá-los na desmontagem. Se tiver o fio esmaltado você pode construir as bobinas enrolando o fio em tubos ocos, como um cano de PVC, por exemplo.

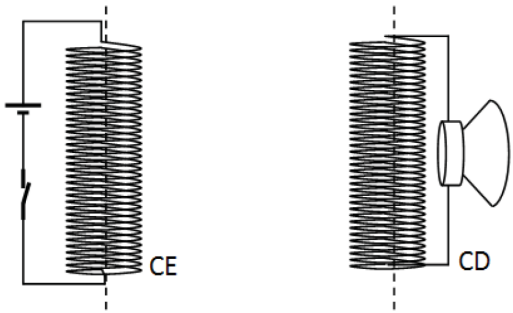

Figura 1.136: Experimento de Hertz.

Ligue uma das bobinas na bateria, e em série com esta coloque uma chave para abrir e fechar o circuito. Este conjunto consiste no circuito emissor (CE). A chave pode simplesmente consistir no toque dos fios de conexão, fechando e abrindo o circuito. Se desejar, uma lâmpada pode também ser conectada em série com o circuito, para evitar que a bateria fique em curto-circuito toda vez que a chave é fechada, prolongando assim a sua vida útil.

O circuito detector (CD), inspirado no dispositivo de Hertz, consiste na segunda bobina, com algum tipo de sensor de corrente elétrica conectado entre seus terminais. Neste experimento utilizamos um alto-falante, que transforma as correntes elétricas variáveis em sinais sonoros.

Estando tudo montado, abra e feche repetidamente o CE e ouça o ruído produzido pelo alto-falante no CD. Como isso é possível se os dois circuitos

estão isolados um do outro?

Análise e Explicação

O primeiro cientista a gerar e detectar experimentalmente ondas eletromagnéticas foi o alemão H. Hertz em 1887. No seu experimento Hertz produzia uma faísca elétrica carregando eletricamente dois fios metálicos separados por uma pequena distância. A alguns metros de distância havia um segundo par de fios condutores próximos. Quando uma faísca era produzida no primeiro par de fios, observava-se uma faísca no segundo par, mesmo sem haver uma ligação entre eles.

Hertz concebeu um detector, que consistia numa espira aberta, com seus terminais próximos um do outro. Para cada pulso de corrente elétrica gerado numa bobina (gerador), o qual produzia descargas elétricas através do ar, aparecia uma faísca entre os terminais do receptor, colocado a uma certa distância. Era a primeira evidência experimental da existência de ondas eletromagnéticas.

O abre e fecha do circuito produz oscilações de cargas elétricas. Ao circular pela bobina do CE a corrente elétrica variável provoca o surgimento de um campo magnético também variável no tempo, o que acaba gerando ondas eletromagnéticas de baixa frequência (ondas de rádio) que se propagam pelo espaço. Essas ondas eletromagnéticas são captadas pela bobina do CD, provocando o surgimento de correntes elétricas variáveis, que são transformadas em sinais sonoros no alto-falante. O sinal detectado é mais intenso quanto mais próximo estiverem as bobinas[31]. O sinal é melhor detectado quando o eixo das duas bobinas forem paralelos. A bobina reforça as oscilações das cargas elétricas produzindo sinais mais fortes.

1.113 Ondas Eletromagnéticas

Objetivos

Produzir e detectar ondas eletromagnéticas de rádio.

[31] A intensidade do sinal em sistemas sem fio cai com o inverso do quadrado da distância.

Materiais Utilizados

Bastão de ferro, fio esmaltado, 1 lima, 1 pilha, cabos conectores, 1 haste metálica (antena), 1 rádio.

Montagem e Procedimento

Utilizando fio esmaltado enrole dois circuitos no bastão de ferro. O enrolamento primário é formado por um certo número de voltas (cerca de 8 vezes maior que o secundário) e está ligado em série com a lima e com a pilha. O enrolamento secundário da bobina está ligado na antena (com altura entre $50cm$ e $1m$) e no fio terra, conforme mostra o esquema da Fig.(1.137).

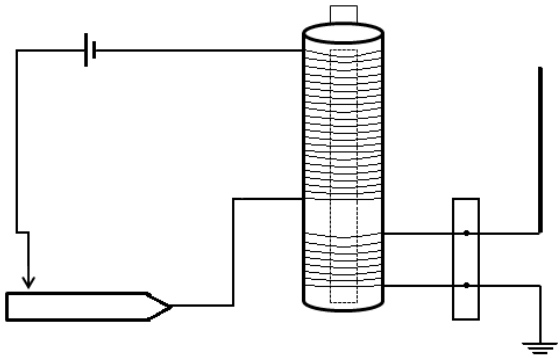

Figura 1.137: Circuito gerador de ondas eletromagnéticas.

Ligue o rádio numa estação AM (ondas mais longas). Raspe a ponta do fio sobre a lima e ouça um sinal[32] (ruído) captado no rádio. Observe que esses sinais produzidos conseguem atravessar obstáculos (como paredes). Ligue a pilha somente quando colocar o aparelho em funcionamento para evitar o descarregamento desnecessário.

[32]Este experimento não gera nenhum sinal de frequência fixa, mas sim um ruído radioelétrico, pois o sinal abrange uma grande faixa de frequências.

Análise e Explicação

Em 1873 o físico escocês James Maxwell publicou um trabalho no qual conseguiu unificar todos os fenômenos elétricos e magnéticos observáveis[33]. Ele demonstrou que todos os fenômenos elétricos e magnéticos poderiam ser descritos com apenas quatro equações, as quais são conhecidas hoje como equações de Maxwell. De acordo com elas um campo magnético $\vec{B}$ será produzido em um ponto do espaço se, nas suas proximidades existir um campo elétrico $\vec{E}$ variável. A partir disso Maxwell supôs que, se um campo $\vec{B}$ variável induz um campo $\vec{E}$, o campo $\vec{E}$ pode, por si só, ser variável. Esse campo $\vec{E}$ variável irá produzir um campo $\vec{B}$ também variável, que induzirá a produção de um campo $\vec{E}$ variável, e assim por diante.

Maxwell descobriu que o resultado dos campos $\vec{E}$ e $\vec{B}$ variáveis era a produção de ondas de campos $\vec{E}$ e $\vec{B}$, as quais foram denominadas ondas eletromagnéticas, as quais podem se propagar até no vácuo. Em uma onda eletromagnética os campos $\vec{E}$ e $\vec{B}$ variam em fase e são perpendiculares um ao outro e também à direção de propagação da onda[34] que se desloca com velocidade c.

A relação entre a intensidade de $\vec{E}$ e $\vec{B}$ é

$$\frac{E}{B} = c,$$

onde c é a velocidade de propagação da onda eletromagnética. No vácuo esse valor é constante ($c = 3 \times 10^8 m/s$), sendo dado por

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}},$$

em que ε_0 é a permissividade elétrica do vácuo e μ_0 a permeabilidade magnética do vácuo, cujos valores são: $\varepsilon_0 = (1/4\pi).9 \times 10^9 (C^2/Nm^2)$ e $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} (Tm/A)$.

Para a época a previsão de Maxwell era bastante ousada, de modo que a Academia de Ciências de Berlim, em 1867, ofereceu um prêmio a quem conseguisse demonstrar experimentalmente a existência dessas ondas eletromagnéticas. Doze anos depois, em 1879, Hertz conseguiu fazer isso e recebeu o prêmio.

[33] Maxwell baseou-se bastante nos trabalhos de Faraday, apoiando-se no conceito de campo.

[34] Uma onda eletromagnética é uma onda transversal.

1.114 Interferência Eletromagnética

Objetivo

Verificar a ocorrência de uma interferência eletromagnética.

Materiais Utilizados

1 televisão, 1 liquidificador (1 batedeira ou algo semelhante).

Montagem e Procedimento

Ligue a televisão e sintonize-a num determinado canal, cuja imagem seja bem nítida. Próximo à televisão ligue o liquidificador e perceba como ocorre a deterioração da imagem, que acaba perdendo a nitidez, bem como pode aparecer chuviscos ou sombras. No lugar da televisão também pode ser usado um rádio.

Análise e Explicação

O motor do liquidificador gera ondas eletromagnéticas de baixa frequência durante o seu funcionamento, geralmente devido ao contato descontínuo entre as escovas e o coletor. Essas ondas são captadas pela televisão, juntamente com a onda proveniente do canal sintonizado. A interferência dessas ondas acaba gerando tais anomalias na imagem (e no som).

Capítulo 2

FÍSICA MODERNA

2.1 Espectroscópio

Objetivos

Construir e analisar o funcionamento de um espectroscópio.

Materiais Utilizados

1 tubo de PVC, papel escuro, fita adesiva, 1 cd gravado (não mais utilizado), 1 estilete.

Montagem e Procedimento

Retire a película refletora de um pedaço do cd usando a fita adesiva. Para isso cole a fita sobre o cd, pressione-a bem e depois retire-a. Se necessário, repita o procedimento várias vezes.

Com o papel escuro construa duas tampas para o tubo de PVC. Com o estilete faça numa delas uma fenda, bem estreita. Na outra faça um orifício e cole um quadradinho do pedaço de cd, com cerca de $1cm$ de lado. Um esquema da montagem do espectroscópio está na Fig.(2.1).

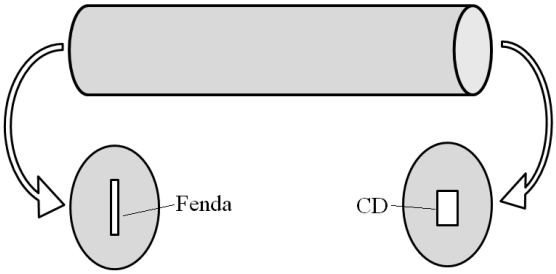

Figura 2.1: Esquema do espectroscópio.

Aponte a fenda do espectroscópio para uma fonte de luz branca, olhe sob um ângulo adequado no quadradinho de cd e observe a decomposição da luz.

Análise e Explicação

O cd ou dvd gravado contém muitas trilhas próximas que refletem e difratam a luz, ocasionando a sua interferência. Sem a película refletora eles se comportam como um conjunto de fendas paralelas, denominada rede de difração de transmissão. Quando a luz branca incide nessas fendas elas se individualizam em raios discretos que se dispersam, formando diversas cores.

A luz branca resulta da superposição da infinitas cores do espectro visível. A decomposição da luz branca ao passar por um prisma é explicada pela diferença no valor da velocidade de propagação de cada luz colorida em meios materiais, sendo que essa velocidade aumenta do violeta para o vermelho. Se muda a velocidade de propagação da luz no meio, muda o índice de refração n (n é definido como $n = c/v$) o que faz com que ela sofra refração sob um determinado ângulo[1].

[1]De acordo com a lei de Snell-Descartes: $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$.

2.2 Espectro Contínuo

Objetivo

Visualizar o espectro contínuo de luz de uma lâmpada incandescente.

Materiais Utilizados

1 lâmpada incandescente (lanterna), 1 cd (gravado), 1 caixinha de cd, 1 lupa, 1 suporte para a lupa, 1 cartolina escura, 1 tesoura, fita adesiva, 1 tela de projeção branca.

Montagem e Procedimento

Realize o experimento num ambiente que possa ser escurecido. Prenda o cd na caixinha, de modo que a área gravada fique voltada para fora, e posicione a caixinha na vertical sobre a mesa. Envolva a lâmpada num pedaço de cartolina escura (formando uma caixa), deixando um orifício pequeno, de modo a formar um feixe colimado de luz.

Posicione a tela de projeção na vertical sobre a mesa. Faça incidir o feixe de luz da lâmpada no cd (de preferência na região gravada mais interna), de modo que seja refletido na tela de projeção. Faça o feixe de luz passar pela lupa, colocando esta entre o cd e a tela de projeção e ajuste o seu posicionamento até ter um foco bastante nítido. Observe uma espécie de círculo, com o centro colorido. É aí no centro que ficam os anéis coloridos. Esse é o espectro contínuo de uma lâmpada incandescente, que vai do violeta ao vermelho. Um esquema da montagem do experimento está na Fig.(2.2).

Análise e Explicação

A palavra espectro tem origem no latim e significa forma ou aparência. Isaac Newton introduziu este termo para descrever a imagem similar ao arco-íris que resulta quando um feixe de luz do sol passa através de um prisma.

Apesar dos diferentes tipos de radiações diferirem bastante nas suas propriedades e na forma como são produzidas e observadas, elas têm características em comum: são descritas em termos de campos elétricos e magnéticos e se

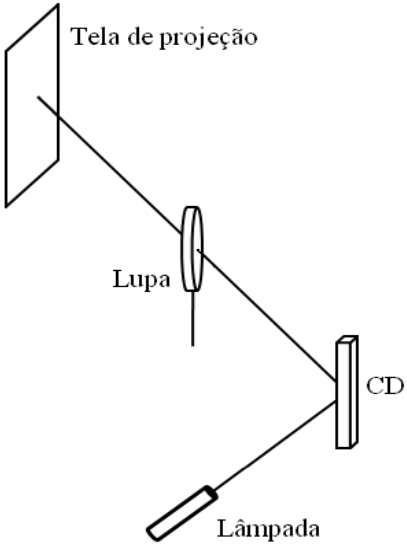

Figura 2.2: Lâmpada, cd, lupa e tela de projeção.

propagam no vácuo com a mesma velocidade. Sob este ponto de vista elas diferem apenas no comprimento de onda ou frequência.

No espectro eletromagnético não existem fronteiras que dividem um tipo de radiação do outro. O que há são nomes dados às regiões do espectro relacionados com a forma que os diferentes tipos de ondas são produzidos ou observados. Vamos comentar rapidamente sobre esses tipos de ondas.

Ondas de rádio: Possuem comprimentos de onda superiores a $1m$ e podem ser produzidos por elétrons oscilando em fios de circuitos elétricos. Antenas são usadas para transmitir ou receber ondas de rádio, como os que carregam sinais de rádio AM, FM e de TV.

Infravermelho: Comprimento de onda de $0{,}7\mu m$ a $1mm$ e é normalmente emitida por átomos em moléculas quando mudam o seu movimento de rotação ou vibração. A radiação infravermelha é comumente chamada de radiação de calor porque está associada à transferência de calor por radiação quando um

objeto ganha ou perde energia interna.

Micro-ondas: são ondas com comprimentos de onda na faixa de $1mm$ a $1m$ e são produzidas por circuitos elétricos oscilantes, como o forno micro-ondas. Esse tipo de onda é empregado nas transmissões de sinais telefônicos, bem como em equipamentos domésticos destinados ao preparo de alimentos.

Luz visível: Os comprimentos de onda vão de $400nm$ a $700nm$, e são oriundos de transições eletrônicas nos átomos. O olho humano é mais sensível para a luz visível localizada entre o verde e o amarelo. A sensibilidade diminui quando tende para o vermelho ou para o violeta.

Ultravioleta: Possuem comprimentos de onda entre $1nm$ e $400nm$, sendo inferiores aos da luz visível. A radiação ultravioleta é produzida por transições eletrônicas em átomos.

Raios X: Possuem comprimentos de onda de $0{,}01nm$ a $10nm$ e são produzidos pela transição de elétrons nos átomos ou pela desaceleração de partículas carregadas.

Raios γ: Tem os menores comprimentos de onda do espectro eletromagnético ($\lambda < 10pm$) e são produzidos por núcleos radioativos em decaimento de partículas. A radiação γ é a forma mais penetrante de radiação eletromagnética.

2.3 Chamas Coloridas

Objetivo

Verificar as cores emitidas pela combustão de algumas substâncias químicas.

Materiais Utilizados

1 fio de platina, 1 bico de Bunsen, ácido muriático, álcool etílico, 1 caixa de fósforo, substâncias diversas, tais como: sulfato de cobre, ácido bórico, cloreto de sódio, iodeto de sódio, cloreto de potássio, entre outras.

Montagem e Procedimento

Na ponta de um fio de platina coloque cada uma das substâncias citadas, e leve o conjunto sobre a chama de gás do bico de Bunsen. Observe que cada substância produz uma chama colorida diferente. Após cada uso do fio de platina você deve limpá-lo bem para pegar outra substância, passando-o também em ácido muriático. Usa-se o fio de platina porque, quando levado à chama, ele não produz nenhuma coloração.

Outra forma de realizar esse experimento é colocando um pouco da substância num pires, jogar álcool sobre ela e com um palito de fósforo atear fogo na mistura. De maneira semelhante, será formado uma chamada colorida, cuja coloração dependerá da substância em questão.

Dependendo da substância usada você observará as colorações, tais como: ácido bórico: amarelo; sulfato de cobre: verde; cloreto de sódio: laranja; iodeto de sódio: laranja; cloreto de potássio: violeta.

Análise e Explicação

O teste da chama teve importância histórica com um dos principais testes empregados na detecção de certos elementos.

Segundo o modelo atômico de Bohr, proposto pelo físico Niels Bohr em 1913, quando átomos são submetidos a uma chama, o calor excita os elétrons, o que faz com que eles passem para níveis de maior energia. Ao voltarem aos níveis iniciais, ocorre a liberação de energia na forma de luz, cuja cor é característica dos átomos de cada elemento.

Fenômeno semelhante ao teste da chama ocorre com os fogos de artifício. Neles, diversos elementos químicos apropriados são misturados à pólvora. No momento em que a pólvora explode, a energia excita os elétrons desses átomos, os quais liberam luz quando retornam aos níveis de menor energia.

De acordo com o modelo atômico de Bohr, nos átomos os elétrons movimentam-se ao redor do núcleo em trajetórias circulares, chamados de níveis. Cada um desses níveis tem um valor determinado de energia e não é permitido a um elétron permanecer entre dois deles. Ao movimentar-se num determinado nível energético não ocorre emissão de energia. No teste da chama o calor excita os elétrons, fazendo com que eles passem para níveis mais energéticos.

No retorno aos níveis originais ocorre a liberação de energia na forma de luz, cuja cor é característica dos átomos de cada elemento.

Ao passar de um nível energético para outro, o átomo absorve ou emite um fóton de energia que é igual à diferença entre as energias dos dois estados. Na Fig.(2.3-a) o elétron passará do nível 2 para o nível 3 se absorver um fóton com frequência f dada por (sendo $\Delta E = hf$)

$$f = \frac{E_3 - E_2}{h}, \tag{2.1}$$

onde E_2 e E_3 são as energias dos níveis 2 e 3, respectivamente, e h é a constante de Planck.

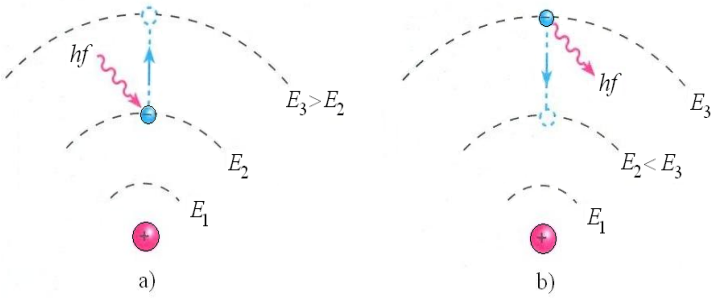

Figura 2.3: a- Elétron absorve um fóton e passa do nível 2 para o nível 3; b- Elétron emite um fóton e retorna do nível 3 para o nível 2.

Quando retorna do nível 3 para o nível 2 (Fig.2.3-b) o elétron emite um fóton de radiação com frequência também dada por (2.1), cujo comprimento de onda λ é (usando $c = \lambda f$)

$$\lambda = \frac{hc}{E_3 - E_2},$$

onde c é a velocidade da luz.

Além da incidência de radiação as transições eletrônicas podem ocorrer também por meio do aquecimento. A elevação da temperatura provoca o aumento do grau de agitação dos átomos que, ao colidirem com átomos vizinhos, podem fornecer energia a seus elétrons, causando transições eletrônicas.

Átomos de um certo elemento químico no estado gasoso só podem emitir um conjunto de radiações eletromagnéticas de determinadas frequências, características do elemento. Esse conjunto de radiações possíveis chama-se espectro de emissão do elemento.

2.4 Espectro Discreto

Objetivo

Visualizar o espectro discreto de luz de uma lâmpada fluorescente.

Materiais Utilizados

1 lâmpada fluorescente (compacta), 1 cd (gravado), 1 caixinha de cd, 1 lupa, 1 suporte para a lupa, 1 cartolina escura, 1 tesoura, fita adesiva, 1 tela de projeção branca.

Montagem e Procedimento

Monte o experimento de maneira semelhante ao Exp.(2.2). Apenas substitua a lâmpada incandescente pela fluorescente e faça com que o feixe de luz tenha a forma de fenda. Observe a formação de linhas paralelas do espectro projetadas na tela, como representado na Fig.(2.4). Há uma linha branca central e um grupo de linhas coloridas na lateral.

Análise e Explicação

Ao analisar a luz de uma lâmpada fluorescente verificamos que o espectro é diferente da lâmpada incandescente e apresenta algumas linhas bem definidas além do contínuo. Em todo gás excitado que emite luz será encontrado um espectro que é característico, uma espécie de impressão digital do elemento constituinte do gás.

Isso ocorre porque a energia é quantizada. A energia emitida ou absorvida por um átomo, na transição de seus elétrons, não assume qualquer valor, mas

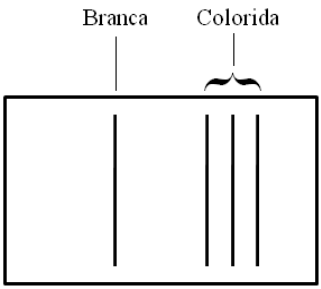

Figura 2.4: Linhas paralelas do espectro.

apenas valores bem definidos (discretos). A luz emitida pelo átomo depende da energia entre os níveis envolvidos na transição.

2.5 Visualizando no Infravermelho

Objetivo

Visualizar na faixa do infravermelho do espectro eletromagnético.

Materiais Utilizados

1 câmera fotográfica digital, 1 controle remoto (de qualquer aparelho eletrônico).

Montagem e Procedimento

Ligue a câmera digital, posicione o controle remoto na sua frente, bem próximo, e pressione qualquer tecla do controle diversas vezes (Fig.2.5). Você verá pontos esbranquiçados na tela da câmera, os quais são captados toda vez que uma tecla do controle for acionada (Fig.2.6). Olhe diretamente para o controle e observe que você não vê nada quando aperta alguma tecla.

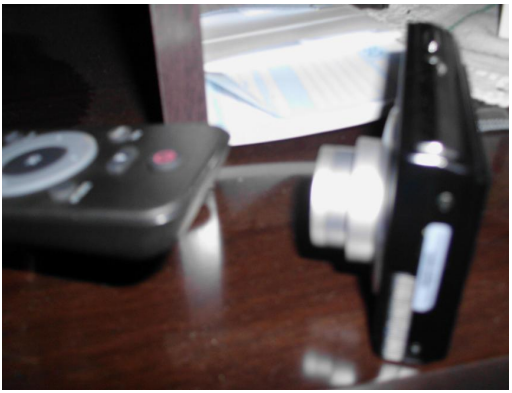

Figura 2.5: Câmera digital e controle remoto.

Análise e Explicação

Os controles remotos, como o de televisão, por exemplo, possui um led de infravermelho em sua extremidade, enquanto que o aparelho de televisão possui um sensor desse tipo de radiação na sua frente. Quando um botão do controle é acionado um pulso de radiação infravermelha é enviado ao aparelho de televisão, que atrás do sensor decodifica o sinal e recebe a informação, realizando a operação ordenada.

A radiação infravermelha foi descoberta em 1800 pelo astrônomo inglês W. Herschel. Esse tipo de radiação fica situado numa região do espectro eletromagnético entre a luz visível e as micro-ondas. Certamente o mais apurado sentido humano de percepção é a visão. No entanto, conseguimos enxergar apenas uma estreita faixa do espectro eletromagnético, a qual chamamos região da luz visível. Para conseguir enxergar na região do infravermelho, devemos utilizar sensores capazes de registrar esse tipo de radiação, já que os nossos olhos não são capazes de assim o fazer. Os equipamentos apropriados para isso são os que utilizam materiais semicondutores.

Os materiais semicondutores possuem a característica de mudar suas propriedades elétricas quando submetidos à radiação infravermelha. Dentre os que

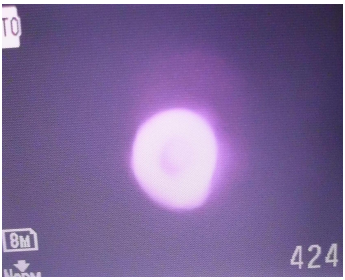

Figura 2.6: Imagem captada pela câmera digital.

se destacam está o silício (Si), que tem um custo baixo e é capaz de detectar tanto a radiação na faixa visível ($400nm$ a $700nm$) quanto na região do infravermelho próximo ($700nm$ a $1.400nm$). Para aplicações específicas, utiliza-se também outros materiais semicondutores, tais como o germânio (Ge), o arseneto de gálio, o fosfato de índio, etc.

Para as câmaras produzirem imagens na região visível do espectro, é colocado um filtro de infravermelho diante do sensor de Si, de modo a bloquear a radiação infravermelha. No entanto, um pouco dessa radiação ainda consegue passar, transformando-se em sinal luminoso, como podemos ver no experimento realizado.

2.6 Análise da Chama de uma Vela

Objetivo

Analisar com um *software* a imagem da chama de uma vela.

Materiais Utilizados

1 vela, 1 caixa de fósforo, 1 câmera digital, 1 microcomputador.

Montagem e Procedimento

Com a câmera digital tire uma foto da chama da vela (Fig.2.7) e após analise essa imagem no microcomputador. Em um *software* específico para imagens é possível ver claramente diferentes regiões na chama. Uma melhor percepção pode ser conseguida alterando o contraste e o brilho da imagem.

Figura 2.7: Chama de uma vela.

Análise e Explicação

A imagem da chama da vela não é homogênea, mas apresenta regiões com cores diferentes. Cores diferentes representam temperaturas diferentes. A combustão ocorre na base da chama e ela apresenta uma cor branco-azulada e uma temperatura superior a $1.250°C$. Acima desta há uma região de cor castanha-avermelhada próximo a extremidade superior do pavio, cuja temperatura fica compreendida entre $520°C$ e $1.050°C$. Na parte superior da chama a cor é amarelada e a temperatura está entre $1.050°C$ e $1.250°C$.

2.7 Estudando um LED 1

Objetivo

Analisar o principio de funcionamento de um led.

Materiais Utilizados

2 pilhas ($1,5V$), 2 leds (cores diferentes, vermelho e verde, por exemplo), cabos conectores.

Montagem e Procedimento

Ligue os leds, um em cada pilha (veja a polaridade certa). Observe que o vermelho brilha fracamente e o verde não brilha nada. Em seguida coloque as duas pilhas em série e conecte os dois leds em paralelo com as pilhas. Observe agora que os dois leds brilham, sendo o verde mais fracamente do que o vermelho.

Possuindo uma fonte de tensão variável e um voltímetro pode-se ir aumentando a tensão e ver a partir de qual valor cada led começa a brilhar. Experimentalmente obteve-se: vermelho: $1{,}75V$; amarelo: $1{,}78V$; verde: $1{,}80V$.

Análise e Explicação

Quanto à condução de eletricidade podemos classificar os materiais em condutores, isolantes de semicondutores. De maneira geral, pode-se dizer que os condutores conduzem bem eletricidade, os semicondutores conduzem com alguma dificuldade e os isolantes não conduzem.

Uma corrente elétrica está associada ao movimento dos elétrons ao longo de uma direção. Para que isso aconteça, devemos ter elétrons livres. Esses elétrons livres, em condições normais, existem em grande quantidade nos condutores, praticamente não existem nos isolantes e são muito poucos nos semicondutores. Entretanto, se incidirmos luz ou aumentarmos a temperatura de um semicondutor, podemos aumentar o número de elétrons livres, de maneira que se possa estabelecer uma corrente elétrica no mesmo.

Do ponto de vista da estrutura de bandas, os metais possuem uma banda semicheia, de modo que o último nível ocupado tem novos níveis de energia bem próximos de si. Como a diferença de energia entre o último nível cheio e o primeiro vazio é muito pequena, o elétron pode se mover facilmente (Fig.2.8-a).

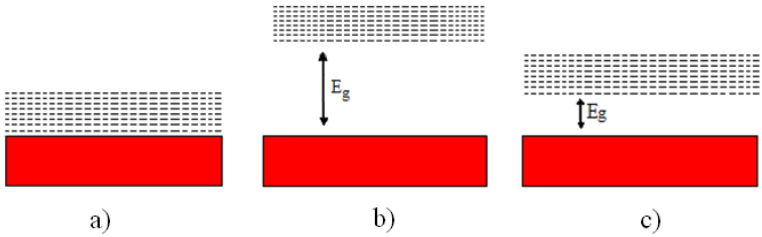

Figura 2.8: Estrutura de bandas: a- Metais; b- Isolantes; c- Semicondutores.

Num isolante, a diferença de energia entre o último nível ocupado e o primeiro nível vazio (Fig.2.8-b), a chamada energia da banda proibida ou energia do *gap* (E_g), é muito grande, de maneira que um campo elétrico no material não conseguirá estabelecer uma corrente elétrica no mesmo. No caso de um semicondutor a E_g é bem menor do que nos isolantes, e uma pequena quantidade de energia fornecida ao elétron é capaz de colocá-lo a ocupar os níveis vazios. Denominamos a banda completa de banda de valência (BV) e a banda vazia de banda de condução (BC). As bandas de um semicondutor estão representadas na Fig.(2.8-c).

A condutividade de um semicondutor cresce com o aumento da temperatura ou com a incidência de luz, pois assim há uma excitação dos elétrons da BV para a BC. Quando um elétron sai de uma região, fica um buraco com uma carga positiva. Toda vez que se coloca um elétron para a BC, criamos uma carga positiva na BV, que pode ser utilizada para conduzir correntes, ou seja, o buraco que fica no lugar do elétron que saiu, também está livre para andar pelo material. A incidência de um fóton desloca o elétron da BV para a BC e cria um buraco com carga positiva.

Uma forma de aumentar a condutividade dos semicondutores é pela adição

de impurezas no mesmo, num processo conhecido como dopagem. A Fig.(2.9) mostra a estrutura esquemática do silício (Si) puro e do Si dopado com Arsênio (As).

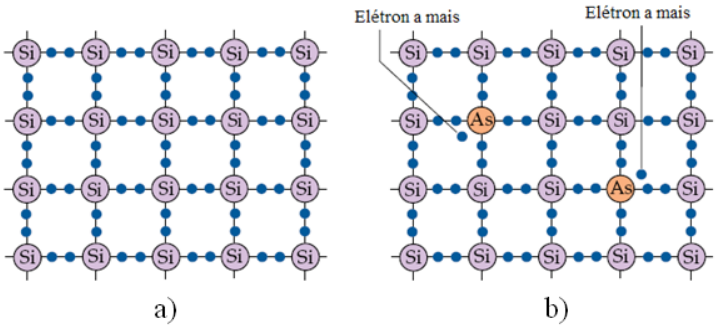

Figura 2.9: Estrutura do: a- Si puro; b- Si dopado.

O As tem cinco elétrons na camada de valência, enquanto o Si tem quatro. Quatro dos cinco elétrons do As formam ligações covalente com os quatro átomos de Si vizinhos e o quinto elétron fica frouxamente ligado ao átomo. Este elétron a mais ocupa um nível de energia ligeiramente abaixo da BC e pode ser facilmente excitado para essa banda, onde contribui para a condução de eletricidade.

Semicondutores dopados com átomos doadores são chamados semicondutores tipo n (negativo), porque o número de elétrons excede em muito o número de portadores de cargas positivas (buracos). No semicondutor tipo n, os elétrons da BC são chamados de portadores majoritários, enquanto os buracos da BV são chamadas de portadores minoritários. Temos neste caso um semicondutor tipo n. A dopagem do Si com As cria novos níveis de energia na região proibida, próximos à BC, para facilitar o surgimento de elétrons nessa última. Assim, uma pequena quantidade de energia pode arrancar os elétrons da BV e jogá-los para a BC.

Por sí só, um pedaço de semicondutor tipo n ou tipo p tem a mesma utilidade de um resistor de carbono. No entanto, quando se dopa um material, de

modo que metade dele seja do tipo p e a outra metade seja do tipo n, temos uma junção pn ou um diodo. Quando os lados p e n são postos em contato, a concentração desigual de elétrons e buracos promove a difusão de elétrons para o lado p e de buracos para o lado n até que o equilíbrio seja estabelecido.

Se o terminal positivo de uma bateria for conectado ao lado p da junção pn (polarização direta) estará diminuindo a barreira de potencial e propiciando uma maior facilidade de passagem aos elétrons e buracos de um lado para o outro. Se o terminal da bateria for conectado no lado n do diodo (polarização inversa), estará aumentando a barreira de potencial e inibindo a difusão de elétrons e buracos. Por isso o diodo conduz corrente elétrica apenas num sentido. Isso faz do diodo um dispositivo de grande importância dentro da eletrônica.

Um diodo emissor de luz, mais conhecido como led, consiste em uma junção pn fortemente dopada com características tais que propiciem a ocorrência e a recombinação de elétrons e buracos, de modo a produzir luz. Assim como um fóton pode fazer um elétron saltar da BV para a BC, o oposto também ocorre. Um elétron ocupando o menor nível na BC interage com um buraco no nível mais alto da BV e tal interação propicia uma recombinação do elétron com o buraco, tendo como consequência a emissão de luz. A emissão de um fóton devido à recombinação de um elétron com um buraco está representado na Fig.(2.10).

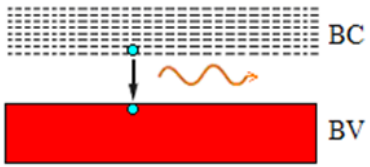

Figura 2.10: Emissão de um fóton devido a recombinação de um elétron da BC com um buraco na BV.

A energia do fóton emitido é igual a E_g. Desse modo, os semicondutores emitem luz de acordo com o tamanho de sua banda proibida. A passagem de elétrons pela junção pn é feita através da aplicação de uma diferença de potencial. A luz emitida por um led não é monocromática, mas o espectro é estreito

(Fig.2.11), de modo que os fótons emitidos terão todos aproximadamente a mesma frequência.

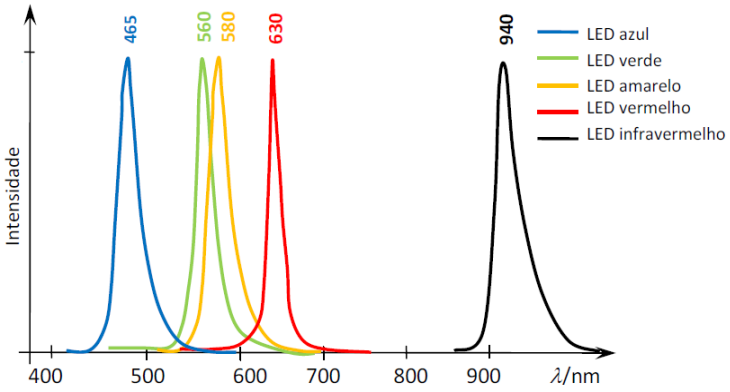

Figura 2.11: Espectro de diferentes leds.

De acordo com a equação de Planck

$$E = hf$$

e sendo $f_{vermelho} = 4{,}6.10^{14} Hz$ e $f_{verde} = 5{,}7.10^{14} Hz$, verifica-se que para brilhar com a mesma intensidade o led de cor verde necessita de mais energia que o led de cor vermelha, já que energia e frequência são proporcionais e a luz verde tem frequência maior que a vermelha.

Os leds têm diversas aplicações. Quando irradiam luz visível são utilizados, por exemplo, em painéis de equipamentos eletroeletrônicos. O led infravermelho é utilizado em sistemas de alarme de segurança e em outras áreas que necessitam de radiação infravermelha. Além disso, os leds substituem as lâmpadas incandescentes em várias aplicações por causa de sua baixa tensão de funcionamento, longa vida e bom rendimento. Os leds geralmente operam com uma tensão entre $1{,}5V$ e $3{,}3V$ e possuem uma potência típica de $10mW$ a $150mW$.

Inicialmente os leds emitiam apenas algumas luzes coloridas (a cor da estrutura que envolvia o led). Com a evolução do processo de construção do

led estes componentes passaram a emitir cores diferentes, mesmo tendo uma carcaça transparente. Através de um controle muito preciso na corrente elétrica, o led consegue emitir milhares de cores diferentes[2], o que possibilitou sua inserção nas novas tecnologias, como nas lâmpadas e nos televisores de leds.

Os leds podem acender e apagar muito rapidamente o que possibilita sua utilização na transmissão de dados digitais, como nos controles remotos dos aparelhos eletrônicos.

2.8 Estudando um LED 2

Objetivos

Observar o comportamento de um led (diodo) em polarização direta e reversa e levantar sua curva característica $i \times V$.

Materiais Utilizados

1 led, 2 multímetros, 1 resistor, 1 fonte variável de tensão, cabos conectores.

Montagem e Procedimento

Monte o experimentos de acordo com a Fig.(2.12). Saiba que o diodo conduz corrente elétrica somente num sentido. Por isso deve-se ligá-lo nos polos certos. Se inverter os polos o diodo não conduz corrente elétrica. O resistor associado em série com o diodo serve para diminuir a intensidade da corrente que passa por este.

A partir de $V = 0$ vá aumentando o valor da tensão e obtenha os correspondentes valores de corrente i. Com esses dados construa um gráfico de $i \times V$.

[2] A cor da luz emitida pelo led depende do cristal e da impureza de dopagem com que o componente é fabricado.

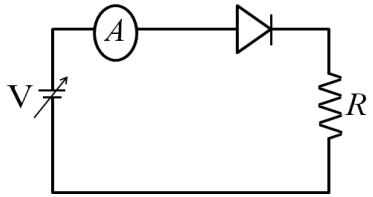

Figura 2.12: Estudando um led (diodo).

Análise e Explicação

O gráfico da Fig.(2.13) mostra a intensidade da corrente em função da tensão de um led. Observe que enquanto não se atinge um determinado valor de tensão, não se inicia a circulação de corrente pelo led. No entanto, após ultrapassar o valor da tensão de corte V_F (também chamado ponto de quebra) a corrente aumenta proporcionalmente com o aumento da tensão. Ao aumentar a corrente, a intensidade luminosa do led também aumenta.

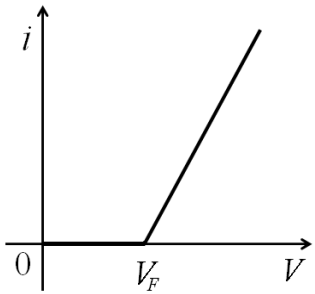

Figura 2.13: Gráfico de $i \times V$ para um diodo.

Para $V > V_F$ o aumento de corrente é aproximadamente linear. A partir de então o diodo pode ser considerado um resistor de baixa resistência associado em série com a fonte.

2.9 Constante de Planck

Objetivo

Determinar o valor da constante de Planck.

Materiais Utilizados

1 (ou mais) led, 2 multímetros, 1 resistor, 1 fonte variável de tensão, cabos conectores.

Montagem e Procedimento

A montagem e o procedimento é o mesmo do Exp.(2.8). Obtenha dados de $i \times V$ para os leds, construa os respectivos gráficos, faça um desenvolvimento teórico e determine o valor da constante de Planck h.

Análise e Explicação

Em 1900 o físico alemão Max Planck desenvolveu um modelo matemático para a emissão de radiação eletromagnética, segundo o qual a energia não era contínua, mas sim, que ela era emitida e absorvida em pequenos pacotes de energia, denominados quanta (mais tarde o nome quanta foi substituído por fótons).

A teoria de Planck era baseada em duas hipóteses:

- as partículas oscilantes que emitem radiação podem ter apenas determinadas quantidades de energia (E_n), e valores discretos dados por

$$E_n = nhf,$$

onde n é um número inteiro positivo, f a frequência de radiação emitida e h é uma constante denominada constante de Planck, cujo valor é $h = 6{,}626.10^{-34} J.s$;

- as partículas emitem ou absorvem radiação em quantidades discretas e essa quantidade é igual à diferença de energia entre os níveis em que tais partículas se deslocam:

$$\Delta E = hf.$$

A passagem de corrente elétrica através de uma junção pn diretamente polarizada implica na liberação de energia devido à recombinação de elétrons em abundância na banda de condução no lado n da junção com os buracos na banda de valência no lado p da junção.

Após fazer as medidas obteve-se os seguintes dados experimentais[3] de V e i num led, os quais estão na Tab.(2.1). Para obter a constante de Planck traça-se uma reta tangente à porção linear da curva $i \times V$, obtendo o valor de V_0.

Tabela 2.1: Dados de V e i para um led.

$V(V)$	$i(A)$	$V(V)$	$i(A)$
1,81	$9{,}80.10^{-4}$	2,02	$1{,}25.10^{-2}$
1,82	$1{,}26.10^{-3}$	2,03	$1{,}33.10^{-2}$
1,83	$1{,}62.10^{-3}$	2,10	$1{,}82.10^{-2}$
1,84	$1{,}82.10^{-3}$	2,14	$2{,}67.10^{-2}$
1,85	$2{,}02.10^{-3}$	2,24	$3{,}28.10^{-2}$
1,86	$2{,}47.10^{-3}$	2,29	$4{,}80.10^{-2}$
1,88	$3{,}53.10^{-3}$	2,34	$5{,}12.10^{-2}$
1,89	$3{,}91.10^{-3}$	2,57	$6{,}80.10^{-2}$
1,91	$5{,}19.10^{-3}$	2,71	$7{,}72.10^{-2}$
1,92	$5{,}44.10^{-3}$	2,82	$8{,}30.10^{-2}$
1,94	$6{,}60.10^{-3}$	2,93	$8{,}94.10^{-2}$
1,97	$8{,}95.10^{-3}$	3,11	$1{,}00.10^{-1}$
2,00	$1{,}09.10^{-2}$	3,23	$1{,}07.10^{-1}$

Através do método chamado regressão linear obtemos a melhor reta que passa por todos os pontos do gráfico. Uma reta definida pela função linear

$$y = ax + b$$

[3] Aqui se utiliza os valores de $V > V_F$ e os correspondentes valores de i.

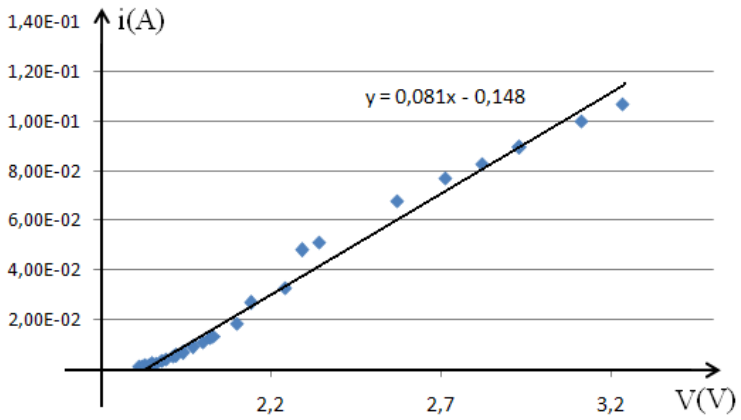

Figura 2.14: Gráfico $i \times V$ para um led.

tem os coeficientes a e b dados por

$$a = \frac{n\sum_{i=1}^{n}(x_i y_i) - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} y_i}{n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i \sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n}(x_i y_i)}{n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2}$$

A equação da reta encontrada para os dados da Tab.(2.1) é

$$i = 0{,}081V - 0{,}148. \tag{2.2}$$

O led só passa a conduzir corrente ou só acende quando a energia fornecida aos elétrons de sua BV for igual ou maior que a diferença entre sua BC e BV. V_0 é o menor valor de tensão aplicada aos seus terminais para acender o led.

Nesse caso a energia recebida será igual a energia emitida pelo led, em forma de radiação eletromagnética

$$eV = hf, \tag{2.3}$$

onde eV é a energia fornecida pelo circuito e hf a energia liberada pelo fóton.

O limiar de tensão (V_0) é encontrado fazendo $i = 0$ na Eq.(2.2)

$$0 = 0{,}081V - 0{,}148$$

donde vem $V_0 = 1{,}827V$.

Sendo a velocidade c de propagação de uma onda eletromagnética dada por $c = \lambda f$, a partir de (2.3) vem que a constante de Planck pode ser obtida por

$$h = \frac{eV\lambda}{c}. \tag{2.4}$$

O LED utilizado no experimento era de cor vermelha, com $\lambda = 670nm$. Substituindo os dados $e = 1{,}6.10^{-19}C$, $V = 1{,}827V$, $\lambda = 670.10^{-9}m$ e $c = 2{,}998.10^{8}m/s$ na Eq.(2.4), encontramos

$$h = 6{,}533.10^{-34}J.s.$$

Este valor difere em menos de $1{,}5\%$ do valor tabelado de $h = 6{,}626.10^{-34}J.s$

2.10 Resistência de um LDR

Objetivo

Verificar a variação da resistência de um ldr (resistor dependente da luz) com a incidência de luz.

Materiais Utilizados

1 ohmímetro, 1 ldr (resistor dependente da luz).

Montagem e Procedimento

Cubra a face sensível do ldr com uma folha de papel escura (ou com a própria mão), conecte seus terminais elétricos no ohmímetro e meça a sua resistência elétrica. Vá descobrindo lentamente a face sensível do ldr e verifique como a sua resistência vai diminuindo.

Análise e Explicação

O LDR é um componente eletrônico que tem sua resistência dependente da quantidade de luz que incide sobre ele. Quando a luz incide em determinados materiais, como o sulfeto de cádmio, por exemplo, os elétrons que participam das ligações entre seus átomos podem absorver energia suficiente para que essas ligações sejam quebradas. Dessa forma, tais elétrons permanecem no material na condição de elétrons livres, diminuindo sua resistência elétrica.

Nesse fenômeno chamado efeito fotoelétrico interno, a quantidade de elétrons liberados para a condução será tanto maior quanto mais elevada for a intensidade da luz incidente. Materiais que apresentam resistência elétrica dependente da luz são chamados foto resistores, também conhecidos por ldr.

Quando o ldr está num ambiente escuro, sua resistência elétrica é elevada, o que faz com que a corrente que passa através dele seja baixa. No sistema de liga e desliga automático de iluminação, por exemplo, nessa situação o circuito encontra-se fechado, com a lâmpada ligada. Quando a face sensível à luz do ldr for iluminada, a resistência do ldr torna-se baixa e uma bobina passa a ser percorrida por uma corrente significativa, gerando um campo magnético suficientemente intenso para atrair uma barra de ferro que abre o circuito.

2.11 Ouvindo o Som do Controle Remoto

Objetivo

Montar um circuito que permita ouvir o som gerado pelo controle remoto.

Materiais Utilizados

1 bateria ($9V$), 1 ldr, 1 led, 1 resistor (com cerca de 680Ω e $0{,}125W$), 1 controle remoto de televisão, 1 caixinha de som de computador (ou de rádio), cabos conectores.

Montagem e Procedimento

Monte o experimento de acordo com a Fig.(2.15). Verifique a polaridade do led, já que ele é um diodo e conduz corrente apenas num sentido. O led possui um dos terminais maior que o outro. O maior é o polo positivo e deve ser ligado ao polo positivo da bateria.

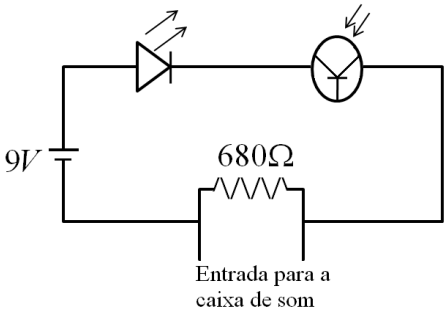

Figura 2.15: Som do controle remoto.

Aproxime o controle remoto do ldr e pressione qualquer tecla. Ouça um ruído na caixinha de som.

Análise e Explicação

Ao ser atingido pela radiação infravermelha pulsada do controle remoto, o ldr diminui a sua resistência elétrica, o que aumenta a corrente elétrica no circuito, variando a tensão no resistor. É através do resistor que se escuta o som do sinal do controle remoto. Esse som é gerado devido à variação de

tensão obtida no resistor, que é a mesma da caixinha de som, pois ambos estão associados em paralelo.

Capítulo 3

CIÊNCIAS ESPACIAIS

3.1 Planeta Terra e Gravidade

Objetivo

Analisar a forma como a força da gravidade atua sobre o planeta Terra.

Materiais Utilizados

1 globo terrestre.

Montagem e Procedimento

Pegue o globo terrestre e nele localize diversas regiões. Se questione se em algum local há alguém com os pés no chão, mas com a cabeça para baixo? Se o planeta tem formato aproximadamente esférico e está flutuando no espaço, como as coisas não caem de sua superfície?

Análise e Explicação

Qualquer corpo situado na superfície da Terra é atraído gravitacionalmente por ela. Esta força de atração está dirigida para o centro da Terra como se a sua massa estivesse toda concentrada nele. Dessa forma, qualquer que seja o local

da Terra onde a pessoa ou objeto se encontra, o seu peso estará dirigido para o centro do planeta. Para cada posição da Terra existe uma direção vertical, que é a direção em que é exercida a força peso, cujo sentido é sempre para o centro da Terra (Fig.3.1).

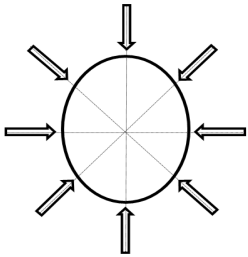

Figura 3.1: Forças dirigidas para o centro da Terra.

3.2 Achatamento da Terra

Objetivo

Demonstrar o efeito de achatamento da Terra nos polos devido ao seu movimento de rotação.

Materiais Utilizados

1 furadeira elétrica (ou algo com a mesma função), 1 lâmina fina de aço ou alumínio (aro flexível), 1 pedaço de ferro fino ou arame rígido, 1 pedaço de arame flexível.

Montagem e Procedimento

Passe o pedaço de ferro pelo meio da lâmina, de modo a formar um eixo. Na parte inferior fixe a lâmina (aro) no eixo com o arame flexível. Prenda o eixo na furadeira e coloque o conjunto a girar. Você vai observar a ocorrência

do achatamento do aro. O esquema da montagem do experimento e o efeito causado pela rotação do conjunto estão representados na Fig.(3.2).

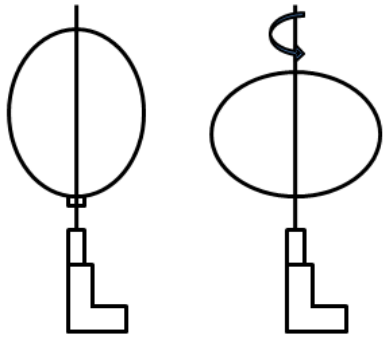

Figura 3.2: Rotação e achatamento do aro.

Uma outra forma de realizar esse experimento é utilizando uma cartolina grossa presa num arame, sendo este conjunto ligado numa manivela com uma correia e um multiplicador de velocidade.

Análise e Explicação

Um ponto numa esfera próximo ao equador percorre um círculo bem maior comparado por um ponto próximo aos polos. Quanto mais rápido um objeto se move em círculos, maior é a força necessária para mantê-lo em sua trajetória. O aro não é fixo no polo norte, ele pode mover-se para cima ou para baixo ao longo do eixo de rotação.

Quando é colocado a girar, devido à sua inércia, o aro tende a se expandir mais na região do equador, ficando achatado nos polos. O que imita o comportamento do aro é o fato dele se comportar como uma mola que é comprimida à medida que se achata e tende a reagir com uma força oposta à força de compreensão. O equilíbrio ocorre quando as duas tendências se igualam.

Devido à rotação, os planetas sofrem forças que tendem a fazer o diâmetro polar ser menor que o diâmetro equatorial. Isso ocorre porque, apesar da Terra

ser composta por materiais sólidos, seus componentes têm um comportamento plástico: sua massa possui uma liberdade de movimento e migra para o equador terrestre.

A diferença entre os diâmetros equatorial e polar da Terra é de cerca de $40km$. Tal diferença é relativamente pequena comparada com os $12.756km$ do diâmetro equatorial.

O achatamento da Terra foi previsto teoricamente por Isaac Newton. As primeiras medidas experimentais foram realizadas por expedições francesas por volta de 1.736.

3.3 Velocidade de Rotação da Terra

Objetivo

Medir a velocidade de rotação da Terra.

Materiais Utilizados

1 cronômetro, 1 trena, luz do Sol, ambiente escuro (que permita a passagem de um colimado feixe de luz).

Montagem e Procedimento

Posicione um objeto furado (uma superfície grande que tem um orifício pequeno, como uma cortina, por exemplo), de modo que a luz do Sol o atravesse e incida num anteparo. Tanto o objeto furado quanto o anteparo devem estar fixos.

Marque o ponto no anteparo onde está incidindo a luz do Sol e acione o cronômetro (ponto 1), dando início à experiência. Observe a variação da posição do ponto luminoso com o decorrer do tempo. Depois de um certo tempo, trace o cronômetro e marque a nova posição do ponto luminoso (ponto 2).

Com a trena meça a distância entre os 2 pontos luminosos (distância h), bem como a distância entre o orifício e o anteparo (distância d). Estas distâncias estão representadas na Fig.(3.3).

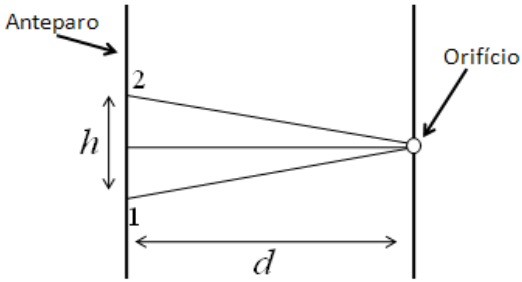

Figura 3.3: Distâncias h e d.

Determinando esses dois valores com precisão, bem como conhecendo a distância entre a Terra e o Sol, encontre a velocidade de rotação da Terra (rotação em torno do seu próprio eixo).

Análise e Explicação

Neste experimento supomos que o Sol está girando ao redor da Terra com velocidade angular ω, apesar de sabermos que é a Terra que gira ao redor do Sol. Isso é possível devido à relatividade do movimento entre os dois astros, bem como ao fato do tempo de realização do experimento não ser muito grande.

Para calcular a distância percorrida pelo Sol ao longo de sua órbita ao redor da Terra, no intervalo de tempo marcado, utilizemos a aproximação de triângulos como se fosse uma câmara escura de orifício, cujas medidas estão representadas na Fig.(3.4).

Na Fig.(3.4) H é a distância percorrida pelo Sol e D a distância entre a Terra e o Sol, sendo esta estimada em cerca de $150.000.000km$. Aplicando a relação de triângulos, temos

$$\frac{h}{d} = \frac{H}{D},$$

donde vem que a distância percorrida pelo Sol em torno da Terra no intervalo

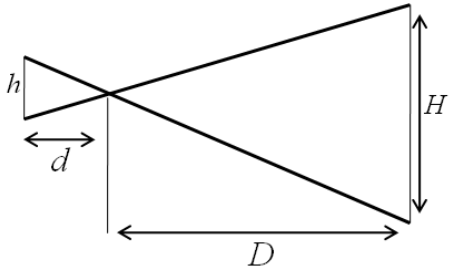

Figura 3.4: Distâncias D, d, H e h.

de tempo t é

$$H = \frac{Dh}{d}. \tag{3.1}$$

A velocidade escalar v de translação do Sol é dada por

$$v = \frac{H}{t}. \tag{3.2}$$

Levando (3.1) em (3.2), vem que

$$v = \frac{DH}{dt}. \tag{3.3}$$

A velocidade angular ω relaciona-se com a velocidade escalar v por

$$v = \omega r, \tag{3.4}$$

onde r é a distância do objeto até o centro de translação (neste caso a distância entre a Terra e o Sol. Relacionando (3.3) e (3.4) e sendo $r = D$, temos que a velocidade angular é

$$\omega = \frac{h}{dt}.$$

O valor a ser encontrado de ω é aproximadamente igual a $7{,}29.10^{-5} rad/s$. Sendo o raio da Terra aproximadamente igual a $6.400km$, uma pessoa na sua superfície, ao nível do mar, pela relação (3.4) teria uma impressionante velocidade escalar de cerca de $1.600km/h$.

3.4 Gnômon e Movimento do Sol

Objetivos

Acompanhar o movimento do Sol, bem como medir a sua altura máxima em relação ao horizonte com o gnômon.

Materiais Utilizados

1 trena, 1 estaca, 1 martelo, 1 prumo.

Montagem e Procedimento

Construa o gnômon fincando, com o auxilio do martelo, uma estaca de madeira na vertical, num local plano. Para verificar se ela está bem na vertical utilize um fio de prumo, ou algo semelhante. Ao incidir sobre a estaca vertical a luz do Sol projeta uma sombra no solo, como representado na Fig.(3.5).

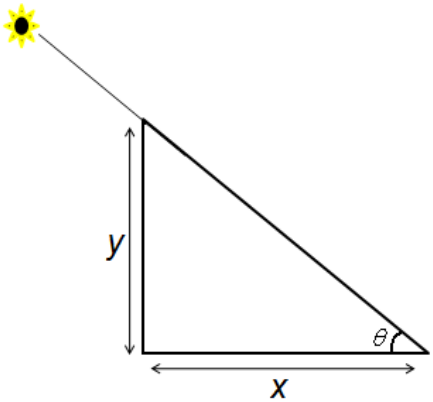

Figura 3.5: Gnômon.

O ângulo θ é chamado de altura do Sol, ou seja, o ângulo que o Sol forma com a linha do horizonte. Medindo a altura da estaca y e o comprimento

da sombra x é possível determinar a altura do Sol. À medida que o Sol se movimenta, a sombra gerada pela estaca também se desloca.

Análise e Explicação

Pela relação trigonométrica no triângulo retângulo formado, temos que $tan\theta = y/x$, donde vem que a altura do Sol é

$$\theta = tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right).$$

Quando o Sol surge no horizonte a sombra projetada pelo gnômon é máxima. À medida que o Sol vai subindo a sombra vai diminuindo até que, ao meio-dia solar, ela atinge a altura máxima. Nesse momento o Sol atingiu sua altura máxima, a qual é chamada de culminação solar.

3.5 Desenhando uma Elipse

Objetivo

Desenhar as órbitas elípticas dos astros celestes com as excentricidades corretas.

Materiais Utilizados

2 alfinetes, 1 lápis (ou 1 caneta), 1 folha de papel, 1 régua, barbante, 1 pedaço de papelão.

Montagem e Procedimento

Coloque a folha de papel sobre o pedaço de papelão e fixe os dois alfinetes, de modo que fiquem separados por uma distância c. Com um pedaço de barbante faça uma laçada, formando uma corda fechada. Com a laçada envolva os dois alfinetes e mantenha o fio esticado com o lápis, movimentando-o de modo a descrever a elipse, como representado na Fig.(3.6).

Mude a distância c entre os alfinetes e perceba que, quanto maior for tal distância, mais achatada é a elipse. Se a distância c for nula, obtêm-se uma

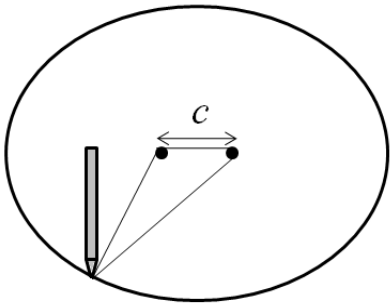

Figura 3.6: Desenhando uma elipse.

circunferência. Através da excentricidade conhecida de alguns planetas, é possível desenhar as suas órbitas.

Análise e Explicação

Numa elipse define-se a excentricidade e como sendo a razão entre a distância c entre seus focos F e F' e o comprimento A do seu eixo maior (Fig.3.7)

$$e = \frac{c}{A}. \tag{3.5}$$

Quanto maior a distância entre os focos, maior é a excentricidade da elipse. Através de medidas dos seus eixos maior A e menor B, a excentricidade é dada por

$$e = \sqrt{1 - \left(\frac{B}{A}\right)^2}. \tag{3.6}$$

A partir da relação (3.6) percebemos que o valor mínimo da excentricidade é zero ($e = 0$) e isso se obtém quando $B = A$, tendo neste caso um círculo. O valor máximo da excentricidade é $e = 1$, e isso ocorre quando $B \to 0$. Dessa forma

$$0 \leq e \leq 1.$$

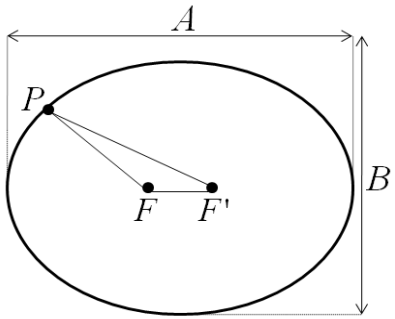

Figura 3.7: Componentes de uma elipse.

Em qualquer ponto da elipse, a soma das distâncias desse ponto P aos dois focos F e F' é constante (Fig.3.7), mais precisamente

$$\overline{FP} + \overline{PF'} = A.$$

Como exemplo da excentricidade dos planetas, temos: mercúrio: $e = 0{,}2$, Terra: $e = 0{,}02$, plutão[1]: $0{,}25$. Vamos dar um exemplo das dimensões para as órbitas desses três planetas.

Escolhemos arbitrariamente o valor do eixo maior A, como sendo $A = 20cm$, que é um valor um pouco menor que a largura de uma folha de papel $A4$. A distância entre os focos c, a partir de (3.5) é dado por

$$c = eA,$$

e o comprimento L do barbante em forma de alça necessário para desenhar a elipse é

$$L = c + A.$$

No caso de mercúrio, teríamos $c = 4cm$ e $L = 24cm$; para a Terra $c = 0{,}4$ e $L = 20{,}4cm$, e para plutão $c = 5cm$ e $L = 25cm$.

[1] Apesar de plutão não ser mais considerado um planeta, mas sim um planeta anão, o incluímos aqui para mostrar a grande excentricidade da sua órbita.

Perceba que a órbita da Terra é quase uma circunferência devido à sua baixa excentricidade. Na maioria das vezes os livros exageram em representar a sua excentricidade.

3.6 Paralaxe

Objetivo

Observar o fenômeno da paralaxe.

Materiais Utilizados

2 canetas (ou 2 lápis).

Montagem e Procedimento

Feche um dos seus olhos e coloque as duas canetas na sua frente, de modo que elas fiquem alinhadas. Na Fig.(3.8) temos um esquema dos seus olhos e da posição das canetas, vistas de cima.

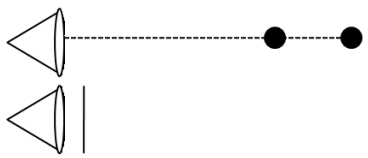

Figura 3.8: Posição das canetas vistas de cima - canetas alinhadas.

Em seguida abra o olho que estava fechado e feche o outro. Observe agora que as canetas estão desalinhadas (Fig.3.9). Por que isso ocorre?

Análise e Explicação

O que ocorre neste experimento é o fenômeno denominado paralaxe. Paralaxe é o deslocamento aparente de um referencial, causado pelo deslocamento do observador.

Figura 3.9: Posição das canetas vistas de cima - canetas desalinhadas.

Nós usamos a paralaxe em todo o movimento, para pegar objetos e enxergar o mundo em três dimensões. Ele se baseia no fato de que nossos dois olhos formam a base de um triângulo, tendo como vértice o objeto que observamos, e a paisagem distante forma um fundo fixo. Nosso cérebro, como o de outros animais, avalia o ângulo desse triângulo e calcula a distância até o objeto de maneira automática.

Repita o procedimento realizado anteriormente, mas com um objeto localizado a uma distância bem maior dos seus olhos. Nesse caso perceba que a paralaxe é quase imperceptível, pois o ângulo θ ficou muito pequeno (Fig.3.10-a). A solução é aumentar a base do triângulo. Para isso movimente-se em linha reta entre os ponto A e B e perceba como o efeito da paralaxe torna-se perceptível (Fig.3.10-b).

Nos últimos séculos o método de paralaxe vem sendo usado para medir distâncias entre corpos no universo. O astro observado representa o vértice do triângulo e o céu estrelado forma a paisagem de fundo. Para formar a base do triângulo a medida da posição do astro é feita ao mesmo tempo em dois observatórios. Para distâncias maiores, como de estrelas próximas, os astrônomos usam como base do triângulo a posição da Terra em dois pontos diametralmente opostos de sua órbita. Para isso tiram-se duas fotografias da mesma estrela, sendo uma seis meses depois da outra. Para medir distâncias muito maiores usam-se outros métodos, principalmente baseados na luminosidade.

Galileu tentou usar o método da paralaxe para provar que a Terra se movia ao redor do Sol. No entanto as distâncias das estrelas mais próximas são tão grandes que seus ângulos de paralaxe eram pequenos demais para serem medidos com uma luneta na época. Somente a partir de meados do século XXI, com

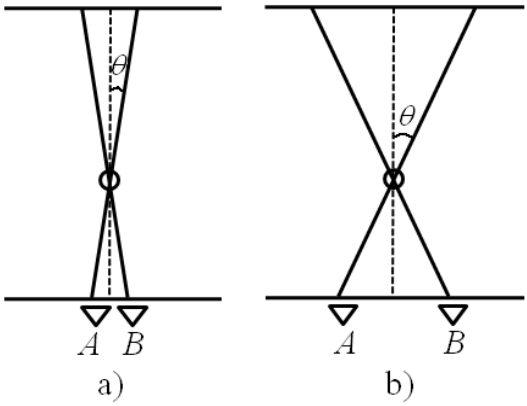

Figura 3.10: Efeito da paralaxe: a- Imperceptível; b- Perceptível.

o advento de telescópios mais potentes, foi possível a medição de paralaxes.

3.7 Tamanho Relativo entre os Planetas e o Sol

Objetivo

Representar o Sol e os planetas do sistema solar numa escala correta.

Materiais Utilizados

Papel de jornal, 1 régua, 1 bola de basquete (ou outra semelhante, quanto maior melhor), 1 paquímetro, fita adesiva.

Montagem e Procedimento

Inicialmente mede-se o diâmetro da bola de basquete com a régua, a qual irá representar o Sol. Supondo que esse diâmetro seja de $40cm$, pelo diâmetro conhecido do Sol e dos planetas (Tab.3.1), calcula-se o diâmetro dos planetas,

que irão ser construídos em miniaturas. Na Tab.(3.1) o diâmetro refere-se ao diâmetro equatorial.

Tabela 3.1: Diâmetros dos astros do sistema solar.

Astro	**Diâmetro** (km)	**Diâmetro Escala** (mm)
Sol	1.390.000	400
Mercúrio	4.879,4	1,40
Vênus	12.103,6	3,48
Terra	12.756,28	3,67
Marte	6.794,4	1,96
Júpiter	142.984	41,15
Saturno	120.536	34,69
Urano	51.118	14,71
Netuno	49.492	14,24

Amasse o papel de jornal e construa esferas com os diâmetros tabelados acima, os quais podem ser medidos com o paquímetro, e envolva-as com fita adesiva para deixá-las firmes. Distribua os planetas ao redor do Sol e obtenha um sistema solar em escala correta de tamanho.

Análise e Explicação

Ao abordarem o tema sistema solar os livros didáticos geralmente representam uma figura esquemática do mesmo com os seus componentes fora de escala, pelo menos fora de uma escala correta.

Olhando somente para a tabela que apresenta os diâmetros, é difícil ter uma noção correta de relação de tamanho. Este experimento, apesar de ser bem simples, permite mostrar a grande diferença de volume existente entre o Sol e os planetas.

Uma representação mais correta do sistema solar poderia ser feita colocando os planetas, já confeccionados em escala, em distâncias corretas (também em escala) em relação ao Sol.

3.8 Rotação da Terra e Formação dos Dias e das Noites

Objetivos

Representar o movimento de rotação da Terra e mostrar a formação dos dias e das noites.

Materiais Utilizados

1 bola de isopor grande (ou algo semelhante, com uns $20cm$ de diâmetro), 1 lâmpada elétrica (já montada num soquete), 1 vareta (de madeira ou metálica). Em muitas escolas existem os globos terrestre. Neste caso pode-se utilizar um deles, sem a necessidade de estar construindo um a partir da bola de isopor e da vareta.

Montagem e Procedimento

Espete a bola de isopor pelo seu centro com a vareta, de modo a representar o planeta Terra. Sobre uma mesa empilhe uns poucos livros e sobre eles coloque a lâmpada. O ambiente deve ser escuro, de modo que a única fonte luminosa seja a luz da lâmpada. Segure a bola de isopor com o eixo na vertical, numa posição próxima à lâmpada, a qual representará o Sol. Em seguida vá girando a bola ao redor do eixo formado pela vareta e observe como algumas de suas regiões ficam iluminadas e outras escurecidas. Um esquema do experimento está na Fig.(3.11).

Análise e Explicação

O movimento de rotação da Terra em torno do seu próprio eixo é responsável pela formação dos dias e das noites. Sendo que esse eixo de rotação é inclinado, a duração dos dias e das noites varia, dependendo da localização do observador sobre a Terra e da época do ano. Quando é inverno no hemisfério sul, os dias são curtos e as noites longas. Nesse momento é verão no hemisfério norte, e nele os dias são longos e as noites curtas.

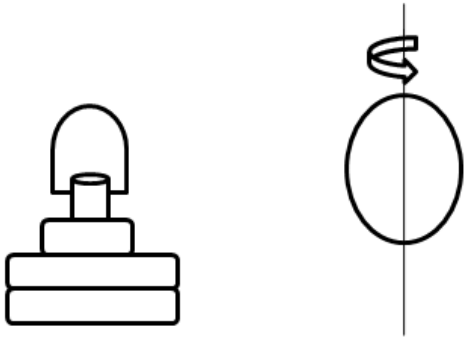

Figura 3.11: Rotação do planeta Terra.

3.9 Translação da Terra e Estações do Ano

Objetivos

Representar o movimento de translação da Terra e explicar a ocorrência das estações do ano.

Materiais Utilizados

1 bola de isopor grande (ou algo semelhante, com uns $20cm$ de diâmetro), 1 lâmpada elétrica (já montada num soquete), 1 vareta (de madeira ou metálica), 1 transferidor, 1 pedaço de papelão, 1 tesoura, fita adesiva.

Montagem e Procedimento

Sobre uma mesa empilhe uns poucos livros e sobre eles disponhe a lâmpada. O ambiente deve ser escuro, de modo que a única fonte luminosa seja a luz da lâmpada. Espete a bola de isopor pelo seu centro com a vareta. Ligue a lâmpada, que representará o Sol, e ao seu redor movimente a bola de isopor, que representará o planeta Terra.

O plano da órbita da Terra será paralelo à superfície da mesa sobre a qual

está a lâmpada. Além disso, é importante enfatizar que o eixo de rotação da Terra não é perpendicular ao plano da sua órbita, mas está deslocado cerca de 23° deste. Um esquema do experimento está na Fig.(3.12).

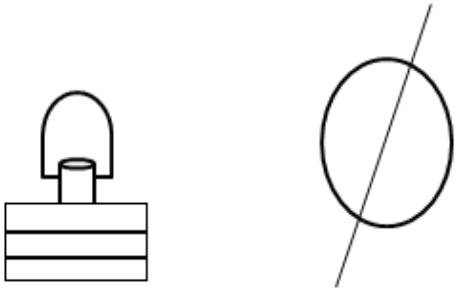

Figura 3.12: Movimento do planeta Terra ao redor do Sol.

Para representar corretamente essa inclinação, num pedaço quadrangular de papelão retire um canto com a tesoura, coloque-o na vertical e posicione o transferidor de modo que forme um ângulo de 23°. Prenda a vareta (o eixo da Terra) com fita adesiva ao papelão. Mova o papelão paralelo à mesa (Fig.3.13).

Análise e Explicação

As estações do ano ocorrem devido ao fato da existência da inclinação do eixo de rotação da Terra e do seu movimento de translação ao redor do Sol[2] Não importa se a inclinação do eixo da Terra é para a direita ou para a esquerda. Na verdade, em astronomia não há sentido em apontar direções dessa forma. O que importa é que essa direção, em relação à órbita de translação, permanece praticamente constante no decorrer do tempo.

Na Fig.(3.14) temos um esquema das quatro posições sucessivas Terra (bola de isopor) ao redor do Sol (lâmpada) no decorrer de um ano[3].

[2]Este eixo está inclinado em 23º em relação à perpendicular ao plano da órbita e em 67º em relação ao plano da órbita.

[3]Nesta figura a Terra e o Sol estão fora de escala.

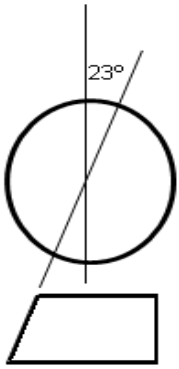

Figura 3.13: Ângulo de inclinação.

Na posição 1 vê-se que o hemisfério norte (N) é fortemente iluminado pelo Sol, enquanto o hemisfério sul (S) está iluminado apenas parcialmente. Assim, é verão no hemisfério norte e inverno no hemisfério sul. Passando para a posição 2, a iluminação solar aumenta no hemisfério sul, que passa da estação inverno para a primavera, e diminui no hemisfério norte, que passa de verão para outono. Na posição 3 o hemisfério sul está bem iluminado, enquanto o hemisfério norte está fracamente iluminado. Neste período é verão no hemisfério sul e inverno no hemisfério norte. Passando de 3 para 4, o hemisfério norte recebe mais luz do Sol, pois passou de inverno para primavera, e o hemisfério sul começa a receber menos luz, mudando de verão para outono. E o ciclo continua incessantemente. O movimento de translação da Terra ao redor do Sol é contínua, o que faz com que o ciclo das estações também seja contínuo.

Próximo à linha do equador, que divide os dois hemisférios terrestres, não há muita diferença de iluminação durante as mudanças de estações do ano. Nessa região não ocorrem grandes mudanças de temperaturas.

Esse experimento é essencial para explicar a ocorrência das estações do ano, bem como esclarecer algumas ideias ainda reinantes, como a que as estações do ano são originadas do distanciamento da Terra em relação ao Sol: quando a Terra está mais próxima do Sol é verão, e quando está mais afastada

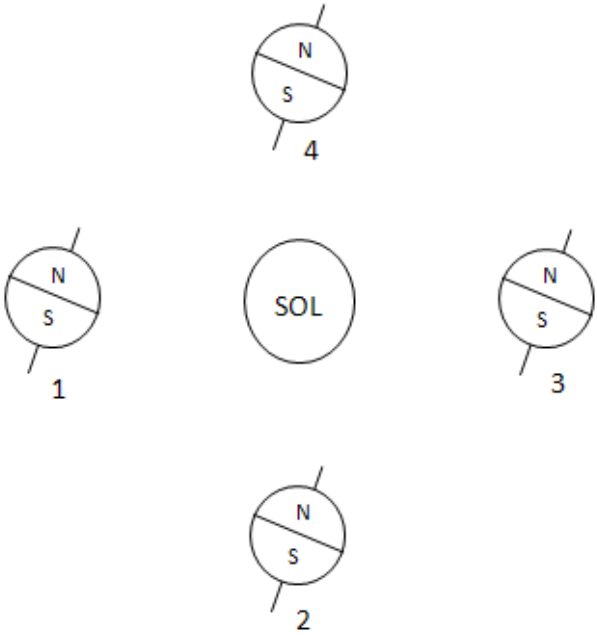

Figura 3.14: Estações do Ano.

é inverno. Isso é absurdo, pois a Terra mantem-se a uma distância praticamente constante do Sol[4]. Além disso, quando é verão num hemisfério é inverno no outro, o que gera um paradoxo fatal para essa explicação.

3.10 Movimento da Lua

Objetivos

Representar o movimento da Lua ao redor da Terra e demonstrar as suas fases.

[4] A excentricidade da órbita elíptica é bem pequena, de modo que ela é quase uma circunferência.

Materiais Utilizados

1 esfera de isopor, 1 bola de tênis de mesa, 1 lâmpada com soquete, 1 suporte pequeno. A bola de isopor deve ser maior que a bola de tênis.

Montagem e Procedimento

Neste experimento a lâmpada representará o Sol, a bola de tênis de mesa a Lua e a bola de isopor a Terra.

Inicialmente coloque a esfera de isopor sobre o suporte, de modo que ela fique um pouco acima do nível da mesa, e este um pouco distante da lâmpada ligada. Pegue a bola de tênis e movimente-a ao redor da esfera de isopor, representando o movimento da Lua ao redor da Terra. O plano da órbita da Lua deve ser um pouco inclinado em relação ao plano da mesa, como na Fig.(3.15). Neste experimento não estamos levando em consideração os movimentos de rotação da Terra e da Lua, nem o movimento de translação da Terra.

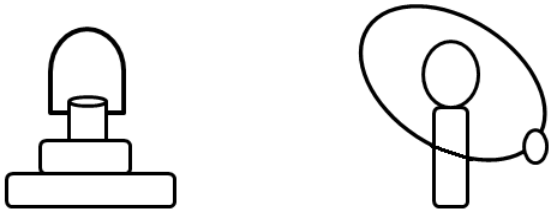

Figura 3.15: Movimento da Lua ao redor da Terra.

Análise e Explicação

A Lua gira ao redor da Terra, mas não no mesmo plano que esta gira ao redor do Sol. Se assim fosse, ocorreria a cada mês lunar (29,5 dias) um eclipse solar e um eclipse lunar. Mas isso não ocorre. O fato é que o plano da órbita da Lua é cerca de 5° inclinado em relação ao plano da órbita da Terra.

Na Fig.(3.16) temos a representação das fases da Lua. Aqui a Lua, a Terra e o Sol estão no mesmo plano para facilitar a representação.

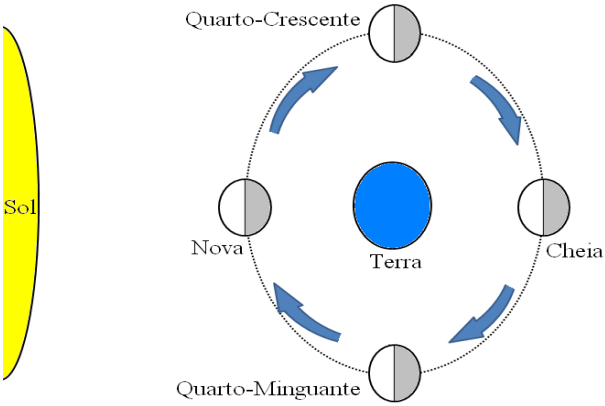

Figura 3.16: Fases da Lua.

Na lua nova a face iluminada não é vista da Terra. No quarto-crescente a metade do disco iluminado é visto da Terra. Observada do hemisfério sul da Terra a forma da Lua lembra a letra C (vista do hemisfério norte a letra D). Na lua cheia toda a face iluminada da Lua se encontra voltada para a Terra e a mesma fica no céu durante toda a noite, com a forma de um disco. No quarto-minguante metade do disco iluminado pode ser visto da Terra. Observada do hemisfério sul da Terra a forma da Lua lembra a letra D (vista do hemisfério norte lembra a letra C).

A Lua também descreve um movimento de rotação. Mas o seu período de rotação é igual ao seu período de translação, ou seja, o tempo que ela leva para dar uma volta ao redor do seu próprio eixo é o mesmo que ela leva para girar ao redor do planeta Terra. Por isso que ela sempre fica com a mesma face voltada para a Terra.

3.11 Diferença no Tamanho da Lua

Objetivo

Verificar a aparente diferença de tamanho da Lua quando localizada em diferentes posições no céu.

Materiais Utilizados

1 câmera digital, 1 moeda.

Montagem e Procedimento

Este é um experimento simples de observação que deve ser realizado em certas ocasiões propícias e em dias diferentes. Observe a Lua numa posição alta no céu e num outro momento observe-a próxima do horizonte (lua cheia nascente). Perceba que a Lua próxima do horizonte parece ser maior do que quando está alta no céu. No entanto, se você fotografar a Lua nas duas situações e comparar as imagens, verificará que o tamanho é sempre o mesmo. Por que isso ocorre?

Uma maneira semelhante e mais simples do que tirar e analisar uma fotografia é colocar uma moeda entre o olho e a Lua nas situações já citadas, de modo que a moeda fique com o mesmo tamanho da Lua. Constate que a distância da moeda ao olho é a mesma, independente da posição da Lua no céu.

Análise e Explicação

A explicação para a ilusão sobre o tamanho da Lua no horizonte é um problema ainda não completamente esclarecido pela física, ou talvez pela psicologia da percepção.

O filósofo grego Aristóteles atribuía à atmosfera a causa da amplificação do tamanha da Lua no horizonte. O astrônomo Cláudio Ptolomeu explicou essa variação aparente do tamanho à existência de refração da luz na atmosfera. Hoje se sabe que isso não tem nada a ver com efeitos de refração na atmosfera.

A verdade é que a Lua não fica maior no horizonte. Não há motivo físico para a Lua mudar de tamanho, já que a distância que ela dista da Terra é aproximadamente a mesma. Na verdade, quando está no horizonte a Lua está mais longe da Terra do que quando está alta.

Apesar de não haver um consenso entre os cientistas, a explicação mais aceita atualmente é baseada na questão de referência. Ao observarmos a Lua no horizonte geralmente a comparamos com outros objetos, como árvores, montanhas, etc., o que dá a impressão de ela ser maior do que quando a observamos alta e sozinha no céu. Isso é uma ilusão de óptica.

Considere a Fig.(3.17), a qual mostra como o efeito de vizinhança distorce a nossa percepção do diâmetro do círculo central. Embora o círculo central seja rigorosamente igual à esquerda e à direita, as pessoas pensam que o da direita é maior do que o da esquerda.

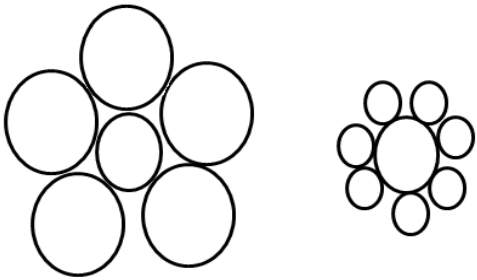

Figura 3.17: Ilusão de óptica.

3.12 Potência do Sol

Objetivo

Determinar a potência total do sol através da captação da sua radiação.

Materiais Utilizados

1 termômetro, 1 lata de refrigerante (vazia) pintada externamente de preto, 1 régua, água.

Montagem e Procedimento

Em um dia de sol forte, sem a presença de nuvens para encobri-lo, encha a lata de água e meça a sua temperatura inicial T_0. Em seguida, exponha a lata ao sol, de modo que os raios solares atinjam a sua superfície lateral. Se disposta sobre uma superfície plana, a sombra da lata é reduzida a um retângulo, como observamos na Fig.(3.18).

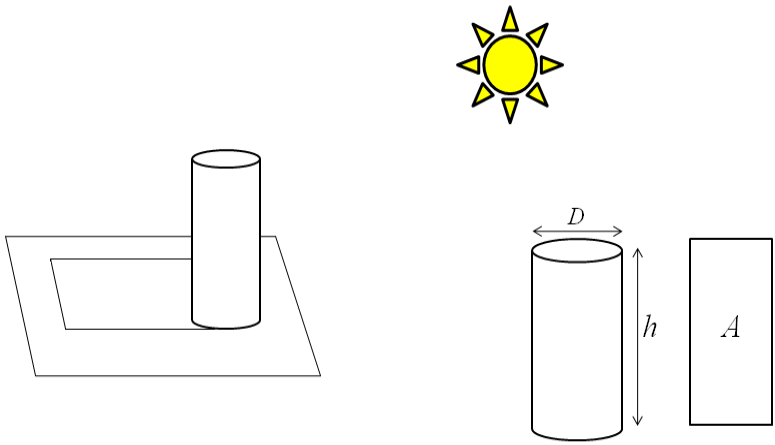

Figura 3.18: Incidência da radiação solar sobre a lata com água.

A água contida na lata absorverá a energia solar numa área retangular, cuja dimensões são a altura da lata e o seu diâmetro. Deixe a lata ao sol por alguns minutos e meça a temperatura final da água (dê uma agitada antes para tornar mais homogênea a sua temperatura). Com os dados obtidos, bem como tendo conhecimento da distância que o Sol dista da Terra, determine, de maneira

aproximada, a sua potência térmica.

Análise e Explicação

O sol possui uma potência térmica P_{sol} e irradia energia em todas as direções do espaço à sua volta. A intensidade da radiação solar que chega na superfície da Terra é dada por

$$I = \frac{P_{sol}}{4\pi r^2}, \tag{3.7}$$

onde $4\pi r^2$ é a área da esfera, cujo raio é a distância entre a Terra e o Sol. Este último valor é de cerca de $150.000.000km$.

No nosso experimento, uma parte da energia total irradiada pelo sol incide sobre a lata contendo água, causando o aumento da sua temperatura. Para aumentar a temperatura da água de T_0 para T, é transmitida para a água uma energia dada por (em J)

$$Q = mc(T - T_0), \tag{3.8}$$

onde m é a massa da água e c o seu calor específico (dado em $J/g^\circ C$).

Sendo que o aquecimento da água ocorreu durante um intervalo de tempo Δt, temos que a potência de irradiação recebida pela lata é

$$P = \frac{Q}{\Delta t}. \tag{3.9}$$

A intensidade da radiação incidente na lata é dada por

$$I = \frac{P}{Dh}, \tag{3.10}$$

onde Dh é a área de secção longitudinal da lata.

Relacionando (3.10) com (3.8) e (3.9), temos

$$I = \frac{mc(T - T_0)}{Dh\Delta t}. \tag{3.11}$$

Igualando as Eqs.(3.11) e (3.7) encontramos a equação

$$P_{sol} = \frac{4\pi r^2 mc(T - T_0)}{Dh\Delta t},$$

com a qual podemos determinar a potência do sol

É importante lembrar que neste experimento desprezamos a quantidade de calor absorvida pela lata, pois ela é muito pequena quando comparada à quantidade de calor absorvida pela água. O valor de referência da potência do sol é $P_{sol} = 3{,}92.10^{26} W$.

3.13 Vapor de Água na Atmosfera

Objetivo

Detectar a presença de vapor de água na atmosfera.

Materiais Utilizados

1 copo metálico, algumas pedras de gelo.

Montagem e Procedimento

Coloque as pedras de gelo dentro do copo metálico (com o copo metálico o efeito é mais rápido, mas pode-se usar um copo de outro material) e deixe ao ar livre. Depois de um tempo você observará a presença de água na parte externa do copo. Mas de onde vem essa água?

Análise e Explicação

O ar atmosférico é uma mistura de alguns gases, entre eles o vapor de água. A quantidade de vapor de água existente em um certo volume de ar depende de algumas condições climáticas.

A diminuição da temperatura faz com que o vapor de água existente na atmosfera, em contato com a superfície externa do recipiente, se condense. A temperatura em que isso ocorre é denominada ponto de orvalho.

3.14 Efeito Estufa

Objetivo

Mostrar como ocorre o efeito estufa.

Materiais Utilizados

1 lâmpada elétrica (quanto maior for sua potência melhor), 2 termômetros, 2 copos com água (mesma quantidade), papel alumínio, 1 caixa de sapatos, filme plástico, 1 tesoura, fita adesiva.

Montagem e Procedimento

Retire a tampa da caixa com a tesoura e forre a parte interna com papel alumínio. Coloque um copo com água dentro da caixa e o outro fora. Tampe a caixa com o filme plástico, prendendo-o, se necessário, com fita adesiva.

Coloque os dois copos com água sob a luz da lâmpada (se o sol for intenso, não há necessidade de se utilizar a lâmpada) por um certo tempo (10 a 15 minutos). Abra a caixa e introduza um termômetro no copo com água, bem como coloque o outro termômeno na água do copo que está fora, e faça a leitura de ambos. Você notará que o copo que ficou dentro da caixa estará com uma temperatura maior do que o que ficou fora.

Análise e Explicação

A principio, os dois copos com água são irradiados com a mesma quantidade de energia. No entanto, o copo que está dentro da caixa aquece mais do que o outro que está fora.

Ao iluminar a caixa a luz passa pelo filme plástico e, ao encontrar a superfície, é absorvida e transforma-se em calor. Esse calor aquece o ar dentro da caixa, o qual não consegue sair devido à existência do plástico. Por isso a água do copo que está dentro da caixa fica mais quente do que a do copo que está fora. A caixa aquece mais a água devido à ocorrência do efeito estufa.

Aqui é importante fazer um comparativo com o efeito estufa do planeta Terra. O efeito estufa é um fenômeno natural que faz com que a temperatura

da Terra seja maior do que seria se não houvesse atmosfera. Sem atmosfera, a temperatura média da Terra seria $-18°C$ ao invés dos $15°C$ atuais.

No planeta Terra a radiação solar incide na atmosfera e desloca-se em direção à superfície do planeta. Ao atingir o solo a radiação o aquece, e ele emite radiação infravermelha (calor), sendo uma parte dessa refletida de volta para o espaço. Como a radiação infravermelha possui menor energia que a radiação solar incidente, ela acaba sendo barrada por alguns gases existentes na atmosfera, como o vapor de água e o gás carbônico (CO_2). Segundo vários cientistas, nos últimos tempos está ocorrendo um aumento da concentração do CO_2 na atmosfera, o que está intensificando o efeito estufa.

3.15 Umidade Relativa do Ar

Objetivo

Medir a umidade relativa do ar.

Materiais Utilizados

2 termômetros de mercúrio (ou álcool) iguais, 1 suporte, 1 copo plástico, água, algodão, fita adesiva.

Montagem e Procedimento

Utilizando o suporte prenda os dois termômetros na posição vertical. Encha o copo com água e nele molhe o algodão. Envolva o bulbo de um dos termômetros com o algodão e, com o auxílio da fita adesiva, prenda-o de forma que a ponta do algodão fique em contato com a água do copo. Veja o esquema da Fig.(3.19). Está montado o equipamento que é destinado a medir a umidade relativa do ar: o psicrômetro de bulbo seco-molhado.

Coloque o psicrômetro no local onde deseja medir a umidade relativa do ar. Espere por cerca de 15 minutos e meça a temperatura nos dois termômetros. Você irá notar que a temperatura do bulbo seco (T) é maior que a temperatura do bulbo molhado (T_m). A diferença entre as duas temperaturas ($T - T_m$) é chamada de depressão psicométrica.

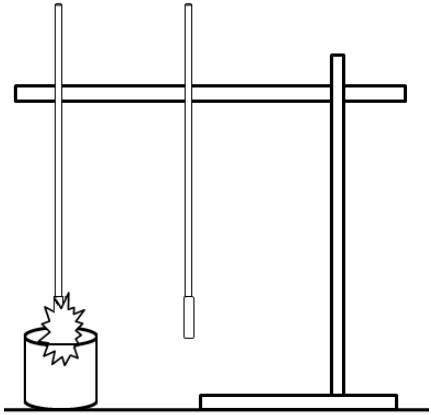

Figura 3.19: Esquema do psicrômetro de bulbo seco-molhado.

A partir da temperatura do bulbo seco (T) e do valor da depressão psicométrica ($T - T_m$), recorra à Tab.(3.2) e obtenha o valor da umidade relativa do ar. Na primeira coluna procure a linha cujo valor de temperatura é o mais próximo de T. Siga essa linha até encontrar a coluna que corresponde ao valor de $T - T_m$ mais próximo do encontrado. A umidade relativa do ar será o valor do encontro entre essa linha e a coluna.

Análise e Explicação

A umidade relativa do ar H é definida pela relação entre a pressão parcial de vapor f no ar atmosférico e a pressão máxima de vapor F na temperatura ambiente:

$$H = \frac{f}{F}.$$

Quando o ambiente está saturado de vapor a pressão parcial f é igual à pressão máxima F, e a umidade relativa H vale 1 ou 100%. Geralmente $f < F$ e $H < 1$ ou $H < 100\%$.

A água presente no algodão que envolve o bulbo do termômetro evapora.

Tabela 3.2: Umidade relativa do ar através de medidas de temperatura e depressão.

	Depressão %				
Temperatura ($°C$)	$1°C$	$2°C$	$3°C$	$4°C$	$5°C$
$-5{,}0$	77	54	32	11	
$-2{,}5$	80	60	41	22	3
0,0	82	65	47	31	15
2,5	84	68	53	38	24
5,0	86	71	58	45	32
7,5	87	74	62	50	38
10,0	88	76	65	54	44
12,5	89	78	68	58	48
15,0	90	80	70	61	52
17,5	90	81	72	64	55
20,0	91	82	74	66	58
22,5	92	83	76	68	61
25,0	92	84	77	70	63
27,5	92	85	78	71	65
30,0	93	86	79	73	67
32,5	93	86	80	74	68
35,0	93	87	81	75	69
37,5	94	87	82	76	70
40,0	94	88	82	77	72

Para evaporar ela precisa receber energia e essa energia ela absorve do líquido contido no bulbo, provocando a sua contração e a redução na altura da coluna de líquido dentro do termômetro.

A presença de vento e a redução da umidade do ar facilitam a evaporação da água. Com isso reduz-se a temperatura no termômetro de bulbo molhado e aumenta-se a diferença entre a temperatura lida nesse termômetro e aquela lida no termômetro de bulbo seco. Se não há vento no local a diferença de temperatura entre os dois termômetros pode ser usada diretamente para determinar a quantidade de ar presente na forma de vapor no ambiente.

Um ambiente no qual a umidade relativa é igual a 100% indica uma condição limite a partir da qual acréscimos de vapor darão inicio à condensação do vapor. Se a umidade está em 50%, há metade do valor necessário para que se dê inicio à condensação.

A umidade relativa do ar tem uma grande influência na sensação de calor. Por exemplo, em locais onde a umidade é muito alta, a sensação de calor é muito grande, mesmo que a temperatura não seja muito elevada.

Analisando a Tab.(3.2) percebemos que os maiores valores de umidade relativa, qualquer que seja a temperatura do bulbo molhado, estão sempre associados as menores diferenças entre as temperaturas de bulbo seco e molhado. O ar mais úmido dificulta a evaporação e com menos evaporação torna-se menor a diferença entre as leituras nos dois termômetros.

3.16 Simulando um Tornado

Objetivos

Construir e estudar um tornado numa garrafa de água.

Materiais Utilizados

2 garrafas PET (transparentes), água.

Montagem e Procedimento

Encha uma garrafa de água. Conecte a outra garrafa vazia com a cheia, de modo que elas fiquem ligadas pelas bocas (Fig.3.20-a).

A seguir vire as garrafas, dispondo novamente o conjunto na vertical, de modo que a que contém água fique na parte superior. Afirme o conjunto pelo centro e aplique um movimento de rotação, de modo a provocar um movimento giratório na água (Fig.3.20-b).

Observe a formação de um vórtice no centro da garrafa, que seria uma espécie de coluna onde o ar da garrafa de baixo sobe, fazendo com que a água desça de maneira estável e mais rápida. Está simulado um tornado.

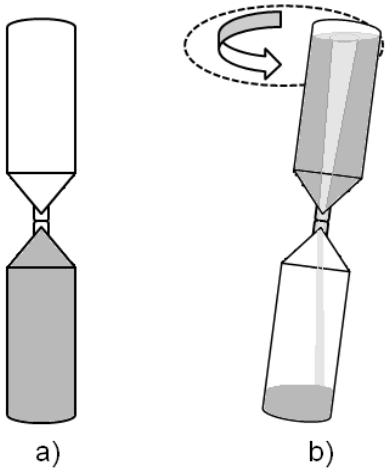

Figura 3.20: a- Garrafas ligadas pela boca; b- Simulação de um tornado.

Análise e Explicação

Um tornado é um fenômeno meteorológico que se manifesta com uma coluna de ar que gira de forma violenta, estando em contato com uma nuvem e com a superfície terrestre.

A maioria dos tornados possui a forma de um funil estreito, com algumas poucas centenas de metros de comprimento. Eles podem se manifestar de diversas formas e tamanhos. Normalmente se formam associados à temperaturas severas que produzem ventos fortes, elevada precipitação pluviométrica e frequentemente granizo.

Embora não haja um consenso sobre o mecanismo que desencadeia o início de um tornado, aparentemente eles estão ligados à uma interação existente entre fortes fluxos ascendentes e descendentes que formam uma movimentação intensa no centro das nuvens carregadas.

3.17 Cintilação da Luz das Estrelas

Objetivo

Simular a interferência da atmosfera na luz oriunda das estrelas.

Materiais Utilizados

1 ponteira *laser*, 1 vela, 1 parede.

Montagem e Procedimento

Num ambiente escuro fixe a fonte de *laser* e projete o seu feixe sobre uma parede. Coloque a vela próxima da saída da luz do *laser*, de modo que o feixe atravesse a chama. Veja como se comporta o feixe luminoso do *laser* na parede.

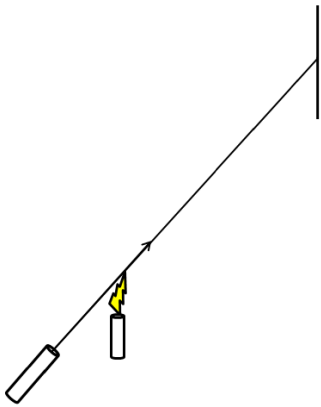

Figura 3.21: Projeção luz *laser* na parede.

Sopre a chama da vela lateralmente sem apagá-la e perceba que o ponto luminoso na parede começa a oscilar.

Análise e Explicação

O ar quente tem um índice de refração diferente do ar frio. Isso deve-se ao fato do ar quente ser menos denso que o ar frio. Com o sopro, a chama da vela sofre um desvio, e o ar quente na região ocupada por ele é substituído por ar mais frio, que têm um índice de refração diferente. Essa mudança de índice de refração faz com que o feixe do *laser* mude o seu trajeto, alterando a posição do ponto luminoso projetado na tela.

As estrelas piscam porque ocorrem variações da temperatura devido as correntes de ar na atmosfera, equivalente ao sopro na chama da vela neste experimento. Os raios de luz provenientes de pontos luminosos distantes, como as estrelas, sofrem desvios aleatórios ao percorrerem a atmosfera terrestre. A luz se move mais rapidamente através de regiões de ar quente do que através de regiões de ar frio. Dessa forma podemos dizer que o cintilar das estrelas é causado por turbulências na atmosfera.

As imagens trêmulas que se veem acima do teto dos carros expostos ao sol em dias quentes também estão relacionadas com variações no índice de refração, devido às diferenças de temperaturas no ar.

3.18 Garrafa Foguete

Objetivo

Demonstrar o principio de funcionamento de um foguete.

Materiais Utilizados

Alguns metros de arame ou fio rígido, 1 garrafa PET (2L), 1 prego, 1 martelo (ou algo para bater), álcool, fósforo.

Montagem e Procedimento

Com o auxílio do prego e do martelo faça um furo no centro da tampa da garrafa PET. Amarre dois pedaços de arame firmemente ao redor da garrafa,

de modo que esta fique suspensa por dois ganchos. Estique alguns metros de arame e amarre-o horizontalmente em dois suportes fixos.

Abra a garrafa e despeje um pouco de álcool, podendo até usar um desses tubos de desodorante para espalhá-lo melhor. Rapidamente feche a tampa e pendure-a no arrame esticado. Em seguida aproxime um palito de fósforo no orifício da tampa e observe o lançamento da garrafa (Fig.3.22).

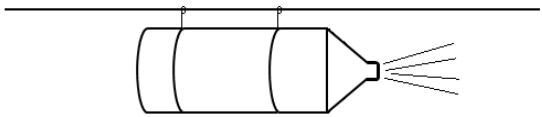

Figura 3.22: Garrafa foguete.

Análise e Explicação

Um foguete carrega os elementos combustíveis no seu interior e, ao provocar uma reação entre eles, acaba produzindo gases, os quais são liberados à alta velocidade num certo sentido, provocando o movimento do foguete em sentido oposto. É dessa forma que os foguetes se movimentam, mesmo no espaço livre formado por vácuo.

No interior da garrafa deste experimento ocorre a combustão do álcool, que é representada pela reação química

$$C_2H_5OH + 3O_2 \longrightarrow 2CO_2 + 3H_2O,$$

onde o álcool reage com o gás oxigênio e produz dióxido de carbono e água. Os gases ejetados fazem a garrafa se deslocar para frente. Isso está de acordo com a lei de ação e reação de Newton. O fio esticado serve de guia para a garrafa, de modo que ela descreva uma trajetória retilínea e estável.

3.19 Balão Foguete

Objetivo

Ilustrar o principio de funcionamento de um foguete.

Materiais Utilizados

1 balão de borracha.

Montagem e Procedimento

Encha o balão com ar e prenda a sua saída. Em seguida solte o balão e veja que ele adquire um movimento similar ao de um foguete, mesmo que de maneira desordenada.

Análise e Explicação

Na boca aberta do balão a energia de pressão do ar e a energia elástica armazenadas nas paredes esticadas de borracha são convertidas em energia cinética associada ao ar que sai do mesmo. Devido à sua inércia o balão como um todo tende a ficar parado. O ar ejetado num sentido o empurra para o outro.

3.20 Carrinho Foquete

Objetivo

Construir um carrinho que funcione como um foguete.

Materiais Utilizados

Fita adesiva, 1 tesoura, 1 pedaço de papelão grosso, 1 balão de borracha, 4 tampas de garrafa PET, 2 varetas (de madeira ou de metal), 1 prego, 1 martelo, 2 canudos grossos de refrigerante (as varetas devem passar dentro dos canudos).

Montagem e Procedimento

Recorte um retângulo de papelão grosso, o qual formará a base do carrinho. Cole com fita os dois canudos num dos lados do papelão e dentro deles passe as varetas. Com o prego e o martelo fure as tampas de garrafa PET, de modo que elas encaixem firmemente nas varetas. Dobre um outro pedaço de papelão em formato de V, com base, e fixe-o (com fita) de maneira invertida sobre a base superior do carinho.

Com a tesoura faça um furo próximo ao vértice do V invertido, de modo a passar a ponta do balão por ele. Um esquema da montagem do experimento está na Fig.(3.23).

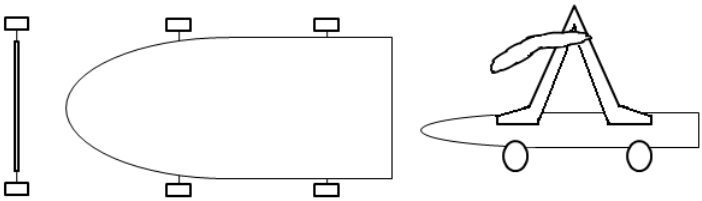

Figura 3.23: Montagem do carrinho foguete.

Encha o balão, prenda-o cheio, e coloque o carinho no chão. Solte o balão e observe o carinho se mover (Fig.3.24).

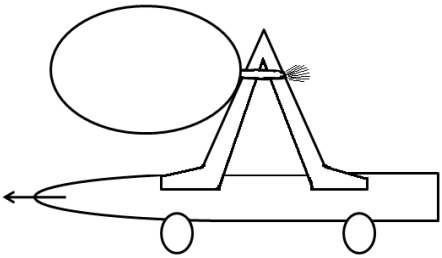

Figura 3.24: Carrinho foguete se movendo.

Análise e Explicação

O combustível deste carrinho foguete é o ar comprimido que se encontra dentro do balão. Ao ser liberado o ar impulsiona o carrinho no sentido oposto aquele em que está saindo o ar.

REFERÊNCIAS

1. AFONSO, Germano. *Experiências Simples usando o Gnômon*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. v.18, n.3, 1996.

2. ALMEIDA, Guilherme de. *Sobre o Tamanho Aparente da Lua no Horizonte e a Maiores Alturas*. v.29, n.2, 2012.

3. ALVES, Esdras; DA SILVA, Andrezza. *Usando um LED como Fonte de Energia*. Física na Escola. v.9, n.1, 2008.

4. ARAÚJO, Mauro S. T. de; ABIB, Maria L. dos S.. *Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades*. Revista Brasileira de Ensino de Física. v.27, n.2, 2003.

5. ASSIS, André K. T.. *Os Fundamentos Experimentais e Históricos da Eletricidade*. Quebec H2W 2B2, Canadá: Apeiron Montreal, 2010.

6. BAGNATO, Vanderlei S.; RODRIGUES, Vinícius. *Análogo Mecânico para a Condutividade Elétrica nos Metais: Efeito da Temperatura*. Revista Brasileira de Ensino de Física. v.28, n.1, 2006.

7. BERKES, Istvan. *A Física do Quotidiano*. Tradução de Florbela Fernandes. 1ª ed. Lisboa: Gradiva, 1992.

8. BISCUOLA, Gualter J.; BÔAS, Newton V.; DOCA, Ricardo H.. *Física*. v.1 e 3. 1ª ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

9. BORGES, A. Tarciso. *Novos Rumos para o Laboratório Escolar de Ciências*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. v.19, n.3, 2002.

10. CAMILLO, J.; ASSIS, A. K. T.. *Construção de um Gerador Eletrostático Gotejante: Chuva Elétrica de Kelvin*. Física na Escola. v.9, n.1, 2008.

11. CAMPOS, Agostinho A. G.; ALVES, Elmo S.; SPEZIALI, Nivaldo L.. *Física Experimental Básica na Universidade*. 2ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2008.

12. CANALLE, João B. G.. *O Problema do Ensino da Órbita da Terra*. Física na Escola. v.4, n.2, 2003.

13. CARDOSO, Henrique B; MENDES FILHO, Josué. *Improvisando dentro da Sala de Aula*. Física na Escola. v.3, n.2, 2002.

14. CARRON, Wilson; GUIMARÃES, Osvaldo. *Física*. v. único. 2ª ed. São Paulo: Moderna, 2003.

15. CATELLI, Francisco; VILLAS-BOAS, Valquiria. *Exploração de Alguns Conceitos de Eletromagnetismo no Movimento do Braço de um Disco Rígido*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. v.28, n.2, 2011.

16. CAVALCANTE, Marisa; TAVORALO, Cristiane. *Uma Caixinha para Estudo de Espectros*. Física na Escola. v.3, n.2, 2002.

17. CAVALCANTE, Marisa; TAVORALO, Cristiane; SOUZA, D, F.; MUZINATTI, J. *Uma Aula sobre o Efeito Fotoelétrico no Desenvolvimento de Competências e Habilidades*. Física na Escola. v.3, n.1, 2002.

18. CAVALCANTE, Marisa A.; TAVORALO, Cristiane R. C.. *Física Moderna Experimental*. 2ª ed. Barueri, SP: Manole, 2007.

19. CAVALCANTE, Marisa; TAVORALO, Cristiane; HAAG, Rafael. *Experiências em Física Moderna*. Física na Escola. v.6, n.1, 2005.

20. CHAIB, J; ASSIS, A.. *Experiências de Oersted em Sala de Aula*. Revista Brasileira de Ensino de Física. v.29, n.1, 2007.

21. CHIQUITO, A. J.; SILVA, R. da; VIEIRA, K. B.. *Uma Mini-Estação Meteorológica*. Física na Escola. v.6, n.2, 2005.

22. CHIQUITO, A.; SILVA, R. da; BETTINI, K.; MACEDO, R.. *Um Sistema Simples para a Verificação da Lei de Ohm*. Física na Escola. v.7, n.2, 2006.

23. CIVIDINI, Cleison C.; PERUZZO, Jucimar. *Estudo dos Geradores*. Disciplina de Física Experimental III. Curso de Licenciatura em Física. Centro Universitário Diocesano do Sudoeste do Paraná, Palmas, PR, 2005.

24. CIVIDINI, Cleison C.; PERUZZO, Jucimar. *Ponte de Weatstone e Ponte de Fio*. Disciplina de Física Experimental III. Curso de Licenciatura em Física. Centro Universitário Diocesano do Sudoeste do Paraná, Palmas, PR, 2005.

25. CORRADI, W.; VIEIRA, S. L. A.; TÁRSIA, R. D.; BALZUWEIT, K.; FONSECA, L.;OLIVEIRA, W. S. de. *Física Experimental*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2008.

26. COUTO, Francisco P.. *Atividades Experimentais em Aulas de Física: Repercussões na Motivação dos Estudantes, na Dialogia e nos Processos de Modelagem*. Dissertação (Mestrado em Educação). Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2009.

27. CRUZ, Frederico F. de S.. *Faraday e Maxwell: luz sobre os campos*. São Paulo: Odysseus, 2005. Coleção Imortais da Ciência (Coordenação de Marcelo Gleiser).

28. CUNHA, Andre R.; GOMES, Gerson G.. *Física Moderna no Ensino Médio e sua Necessidade de Sincronização Conceitual*. Física na Escola. v.13, n.1, 2012.

29. DAMINELI, Augusto. *Hubble: A Expansão do Universo*. São Paulo: Odysseus, 2003. Coleção Imortais da Ciência (Coordenação de Marcelo Gleiser).

30. DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José A.; PERNAMBUCO, Marta M.. *Ensino de Ciências: Fundamentos e Métodos*. 3ª ed. São Paulo: Cortez, 2009.

31. DIAS, I. F. L.; TEIXEIRA, R. C.; DUARTE, J. L. *Introdução aos Semicondutores e suas Aplicações Tecnológicas*. Londrina, PR, Eduel, 2005.

32. EBERHARDT, Dario; GIOVANNINI, Odilon; CATELLI, Francisco. *Faça Você Mesmo: Produção e Detecção de Pulsos Eletromagnéticos*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. v.29, n.3, 2012.

33. EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. *Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas*. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1979.

34. FELTRE, Ricardo. *Química*. v.1. 6ª ed. São Paulo: Moderna, 2004.

35. GASPAR, Alberto. *Física*. v. único. 1ª ed. São Paulo: Ática, 2008.

36. GASPAR, Alberto. *Experiências de Ciências para o Ensino Fundamental*. 1ª ed. São Paulo: Ática, 2009.

37. GASPAR, Alberto. *Compreendendo a Física*. v.1, e 3. São Paulo: Ática, 2010.

38. GIORDAN, M. *O Papel da Experimentação no Ensino de Ciências*. Química Nova na Escola. n.10, 1999.

39. GONÇALVES FILHO, Aurélio; TOSCANO, Carlos. *Física e Realidade*. v.1 e 3. 1ª ed. São Paulo: Scipione, 2011.

40. GREF - Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. *Leituras de Física*. v.3. São Paulo: Edusp, 1998.

41. GUIMARÃES, Luciana R.. *Atividades para Aulas de Ciências: Ensino Fundamental, 6º ao 9º ano*. 1ª ed. São Paulo: Nova Espiral, 2009.

42. HOROWICZ, Ricardo J.. *Luz, Cores ... Ação: Ótica e suas Aplicações Tecnológicas*. 1ª ed. São Paulo: Moderna, 1995.

43. JURAITIS, Klememsas R.; DOMICIANO, João B.. *Introdução ao Laboratório de Física Experimental: métodos de obtenção, registro e análise de dados experimentais*. Londrina: EDUEL, 2009.

44. LABURÚ, Carlos; SILVA, Osmar da; BARROS, Marcelo. *Laboratório Caseiro. Para-raios: um Experimento Simples e de Baixo Custo para a Eletrostática*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. v.27, n.1, 2008.

45. LABURÚ, Carlos E.. *Seleção de Experimentos de Física no Ensino Médio: uma Investigação a partir da Fala de Professores*. Investigação em Ensino de Ciências. v.10(2), 2005.

46. LOPES, Élder; LABURÚ, Carlos. *Diâmetro de um Fio de Cabelo por Difração: um Experimento Simples*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. v.18, n.2, 2001.

47. LOPES, Deisy; STEIN-BARANA, A.; MORENO, Leandro. *Construção de um Guindaste Eletromagnético para fins Didáticos*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. v.26, n.1, 2005.

48. *MANUAL de Atividades Práticas. Física e Ciências*. 4ª ed. Autolabor Soluções Inteligentes, 2006.

49. MALVINO, Albert P.. *Eletrônica*. v.1. São Paulo: Makron Books, 1995.

50. MARKUS, Otávio. *Circuito Elétricos: Corrente Contínua e Corrente Alternada*. 9ª ed.. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2004.

51. MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. *Física - Ensino Médio*. v.3. São Paulo: Scipione, 2008.

52. MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. *Curso de Física*. v.1 e 3. São Paulo: Scipione, 2010.

53. MENDES, Paulo. Física Experimental: *Como Realizar Experiências em Física*. Coimbra: Universidade de Coimbra, 1998.

54. MICHA, Daniel N.; PENELLO, Germano M.; KAWABATA, Rudy M. S.; CAMAROTTI, Teo. *Vendo o Invisível. Experimentos de Visualização do Infravermelho Feitos com Materiais Simples e de Baixo Custo*. Revista Brasileira de Ensino de Física. v.33, n.1, 2011.

55. NOGUEIRA, S.; CANALLE, J. B. (Org). Astronomia: Ensinos Fundamental e Médio. Coleção Explorando o Ensino. v. 11. Brasília: MEC, SEB; MCT; AEB, 2009.

56. NOGUEIRA, S.; PESSOA FILHO, J. B.; SOUZA, P. N. de (Org). Astronáutica: Ensinos Fundamental e Médio. Coleção Explorando o Ensino. v. 12. Brasília: MEC, SEB; MCT; AEB, 2009.

57. OLIVEIRA, G. S. de; SILVA, N. F. da; HENRIQUES, R. (Org). Mudanças Climáticas: Ensinos Fundamental e Médio. Coleção Explorando o Ensino, v. 13. Brasília: MEC, SEB; MCT; AEB, 2009.

58. OLIVEIRA FILHO, Kepler de; SARAIVA, Maria de F.. *Astronomia e Astrofísica*. 2ª ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004.

59. *PARÂMETROS Curriculares Nacionais (PCNs)*. Ensino Médio. Brasília: Ministério da Educação, 1999.

60. PAULA, Anderson de; VIANNA, Deise. *Levitação Eletrodinâmica: o Ensino de Física Baseado no Enfoque CTS, na Discussão para a Melhoria da Qualidade do nosso Ar*. Física na Escola. v.8, n.1, 2007.

61. PENTEADO, Paulo C. M.; TORRES, Carlos M. A.. *Física - Ciência e Tecnologia*. v.1 e 3. São Paulo: Moderna, 2005.

62. PERUZZO, Francisco; CANTO, Eduardo do. *Química na Abordagem do Cotidiano*. v.1. 4ª ed. São Paulo: Moderna, 2010.

63. PERUZZO, Jucimar; CIVIDINI, Cleison C.. *Resistência Elétrica em Função do Comprimento*. Disciplina de Física Experimental III. Curso de Licenciatura em Física. Centro Universitário Diocesano do Sudoeste do Paraná, Palmas, PR, 2005.

64. PERUZZO, Jucimar; CIVIDINI, Cleison C.. *Carga e Descarga de Capacitores - Circuitos RC em Regime CC*. Disciplina de Física Experimental III. Curso de Licenciatura em Física. Centro Universitário Diocesano do Sudoeste do Paraná, Palmas, PR, 2005.

65. PERUZZO, Jucimar; CIVIDINI, Cleison C.. *Determinação da Constante de Planck Utilizando um Diodo de Emissão de Luz*. Disciplina de Laboratório da Estrutura da Matéria. Curso de Licenciatura em Física. Centro Universitário Diocesano do Sudoeste do Paraná, Palmas, PR, 2007.

66. PIACENTINI, João J.. *Introdução ao Laboratório de Física*. Florianópolis, SC: Editora da UFSC, 1998.

67. PIMENTEL, Jorge; ZUMPARO, Vitor. *Demonstre em Sala de Aula: Correntes de Foucault Exploradas com um Disco Rígido de Computador*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. v.25, n.1, 2005.

68. RAMALHO JR., Francisco; FERRARO, Nicolau G.; SOARES, Paulo A. de T.. *Os Fundamentos da Física*. v.1 e 3. São Paulo: Moderna, 2003.

69. RESNICK, Robert; HALLIDAY, David; KRANE, Kenneth. *Física*. v.3 e 4. Tradução de P. M. C. L. Pacheco, L. de S. Xavier, P. P Kenedi e M. A. Savi. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

70. REZENDE, Sérgio M.. *Materiais e Dispositivos Eletrônicos*. 2ªed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004.

71. ROCHA FILHO, João da; SALAMI, Marcos; HILLEBRAND, Vicente. *Construção e Caracterização de uma Célula Fotoelétrica para Fins Didáticos*. Revista Brasileira de Ensino de Física. v.28, n.4, 2006.

72. ROCHA FILHO, J. da; SALAMI, M.; BASSO, N.; THOMAZ, R.; BORGES, R.; ANDRELLA NETTO, R.. *Medição da Carga Elementar por Eletrólise da Água*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. v.26, n.2, 2009.

73. SABA, Marcelo; RAPOZO, Rodrigo; SANTANA, Gustavo. *Fotografando o que não se Vê*. Física na Escola. v.3, n.1, 2002.

74. SAMPAIO, José L.; CALÇADA, Caio S.. *Universo da Física*. v.3. 2ªed. São Paulo: Atual, 2005.

75. SANT'ANNA, Blaidi; MARTINI, Gloria; REIS, Hugo C.; SPINELLI, Walter. *Conexões com a Física*. v.1 e 3. 1ª ed. São Paulo: Moderna, 2010.

76. SANTOS, Muriel C. dos; PERUZZO, Jucimar. *Lei de Ohm*. Disciplina de Introdução à Física Experimental. Curso de Licenciatura em Física. Centro Universitário Diocesano do Sudoeste do Paraná, Palmas, PR, 2004.

77. SCHAPPO, Marcelo. *Medir a Velocidade de Rotação da Terra sem Sair de Casa*. Física na Escola. v.10, n.2, 2009.

78. SCHULZ, Peter A. B.. *Nanociência de Baixo Custo em Casa e na Escola*. Física na Escola. v.8, n.1, 2007.

79. SERWAY, Raymond. *Física Para Cientistas e Engenheiros*. v.3 e 4. 3ªed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

80. SILVA, Claudio X. da; BARRETO FILHO, Benigno. *Física: Aula por Aula*. v.3. São Paulo: FTD, 2010.

81. SILVA, Reginaldo da; MACEDO, Rodrigo; SOUZA, Marcelo de; CHIQUITO, Adenilson. *Força Magnética sobre Correntes Elétricas: um Motor Linear*. Física na Escola. v.4, n.2, 2003.

82. SILVA, Mauro C. da. *Quais Lâmpadas Acendem? Entendendo o Funcionamento dos Circuitos Elétricos*. Física na Escola. v.12, n.1, 2011.

83. SILVA, Luciene F. da; ASSIS, Alice. *Física Moderna no Ensino Médio: Um Experimento para Abordar o Efeito Fotoelétrico*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. v.29, n.2, 2012.

84. SILVEIRA, Fernando L. da; AXT, Rolando. *Associação de Pilhas em Paralelo: Onde e Quando Usamos?*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. v.20, n.3, 2004.

85. SILVEIRA, Fernando L. da; MEDEIROS, Alexandre. *A Ilusão sobre o Tamanho da Lua no Horizonte*. Física na Escola. v.7, n.2, 2006.

86. SOUZA, J. A. de. *Um Foguete de Garrafa PET*. Física na Escola. v.8, n.2, 2007.

87. SOUZA, Rogério R. de; GUSKEN, Edmilton; MUNDIM, Alessandro G. *Brincando com Correntes Induzidas*. Física na Escola. v.11, n.2, 2010.

88. TIPLER, Paul A.; LLEWELLYN, Ralph A.. *Física Moderna*. Tradução de Ronaldo S. de Biasi. 3ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

89. TORRES, Carlos M. A.; FERRARO, Nicolau G.; SOARES, Paulo A. de T.. *Física: Ciência e Tecnologia*. v.3. 1ª ed. São Paulo: Moderna, 2010.

90. UENO, Paulo. *Física*. v. único. 1ª ed. São Paulo: Ática, 2005.

91. VALADARES, Eduardo de C.. *Física Mais que Divertida: Inventos Eletrizantes Baseados em Materiais Reciclados e de Baixo Custo*. 3ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2012.

92. WALKER, Jearl. *O Grande Circo da Física*. Tradução de Jorge A. Valadares. 2ª ed. Lisboa: Gradiva, 2001.

93. YAMAMOTO, Kazuhito; FUKE, Luiz F.. *Física para o Ensino Médio*. v.3. 1ª ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

94. *Baú de Ciências*. `www.fsc.ufsc.br/baudeciencias`. Acesso entre 01/03/2012 e 10/03/2012.

95. CERQUEIRA, Francklin E. M.. *Ensino Interativo de Física: Atividades Experimentais para Ensinar Física*. 2004. `www.leduc.com.br/gratis/docs/livro_fisica.pdf`. Acesso em 05/2010.

96. *Ciência à Mão - Portal de Ensino de Ciências*. www.cienciamao.usp.br. Acesso entre 01/06/2011 e 15/06/2011.

97. *Experimentoteca-Ludoteca*. www.ludoteca.if.usp.br. Acesso entre 10/11/2010 e 15/12/2010.

98. *Experimentos de Física*. www.fc.unesp.br/experimentosdefisica/. Acesso entre 10/11/2010 e 15/12/2010.

99. *Feira de Ciências*. www.feiradeciencias.com.br. Acesso entre 10/11/2010 e 15/02/2013.

100. *Mago da Física*. www.magodafisica.com. Acesso entre 01/06/2011 e 15/06/2011.

101. *Sala de Física*. www.saladefisica.cjb.net. Acesso entre 10/11/2010 e 15/12/2010.

102. *Seara da Ciência*. www.seara.ufc.br. Acesso entre 10/11/2010 e 15/12/2010.

Índice Remissivo

água na atmosfera, 260
átomo de Bohr, 214
órbita da Terra, 250
órbitas elípticas, 242

acelerador de partículas, 199
achatamento da Terra, 236
altura do Sol, 241
amperímetro, 38
anel de Thompson, 180
anel saltador, 180
arco elétrico, 85
associação de capacitores, 92, 95
associação de geradores, 68, 70
associação de lâmpadas, 59, 61
associação de resistores, 50, 52
atração e repulsão, 5
atrito, 1–3

bússola magnética, 120
balão foguete, 270
banda de condução, 222
banda de valência, 222
blindagem eletrostática, 24, 200
bobina chata, 135

código de cores, 48
câmara digital, 217
campo magnético, 123–125, 133, 135, 138, 153
capacitor, 89
capacitores em paralelo, 95
capacitores em série, 92
carga elétrica, 4, 144
cargas na superfície, 23
cargas num condutor esférico, 21
carregamento de um capacitor, 90
carrinho foguete, 270
chama de uma vela, 219
chamas coloridas, 213
chave de teste, 54
ciências espaciais, 235
cintilação, 267
circuito paradoxal, 105, 106
comprimento de onda, 215
condução eletrolítica, 30
condutor com corrente, 146, 148
condutor esférico, 21
condutor retilíneo, 133
condutores e isolantes, 28
condutores elétricos, 28
condutores paralelos, 150

constante de Planck, 228
construção de um eletroímã, 141
construindo um imã, 118
construindo uma bússola, 120
controle remoto, 217, 232
conversão de energia, 108
corpo carregado e neutro, 9
corpo humano, 55
corrente, 41
corrente alternada, 153
corrente de curto-circuito, 66
correntes de Foucault, 190, 192
correntes induzidas, 186, 188
Curie, 121
curto-circuito, 66

descarregamento de um capacitor, 92
dias e noites, 249
diodo, 226
disco de Arago, 181, 184
distribuição de cargas, 21, 23
dopagem, 223

efeito estufa, 261
efeito Joule, 74, 76, 77, 192
efeito Seebeck, 56
efeito termoelétrico, 78
eixo de rotação, 249
eixo inclinado, 249
eletróforo de Volta, 16
eletrólise, 197
eletrização, 12
eletrização por atrito, 1–3
eletrização por contato, 12
eletrização por indução, 12
eletrizando uma pessoa, 20
eletroímã, 141, 143
eletromagnetismo, 1
eletroscópio, 12
eletroscópio de folhas, 10
elipse, 242
energia do *gap*, 222
energia elétrica e mecânica, 108
energia num indutor, 157
equação de Planck, 225
equações de Maxwell, 206
esfera de plasma, 87
espectro contínuo, 211
espectro discreto, 216
espectro eletromagnético, 212, 217
espectroscópio, 209
estações do ano, 250
estrutura de bandas, 222
estudando um diodo, 226
estudando um led, 221
excentricidade, 242
excentricidade dos planetas, 244
experimento de Hertz, 202
experimento de Oersted, 131

fóton, 215, 222
física moderna, 209
faixas de cores, 47
Faraday, 158, 200
fases da Lua, 254
ferradura, 143
foguete, 270
fonte de alta tensão, 21
força da gravidade, 235

força eletromotriz, 64
força magnética, 144, 146, 148, 150

gaiola de Faraday, 200
garrafa de Leiden, 15
garrafa foguete, 268
gerador de Van der Graaf, 20
gerador elétrico, 64, 110
gerador eletromagnético, 194
geradores em paralelo, 70
geradores em série, 68
gnômon, 241
gravidade, 235

hemisférios terrestres, 252
Hertz, 202

ilusão do tamanho da Lua, 256
imã, 118, 126, 143
indução eletromagnética, 171, 173, 174
indutor, 157
interação através do campo, 123
interferência da atmosfera, 267
interferência eletromagnética, 207
isolante elétrico, 28, 33

Joule, 74, 76, 77

lâmpada de arco, 85
lâmpada fluorescente, 27, 196
lâmpadas em paralelo, 59
lâmpadas em série, 61
ldr, 231
LED, 224
led, 218, 221
lei de ação e reação, 269
lei de Kirchhoff, 115
lei de Lenz, 178
lei de Ohm, 41, 43, 96
Leiden, 15
leitura de resistores, 47
levitação por rotação, 154
levitron, 154
linhas de campo, 124
Lua, 253
luz branca, 210
luz das estrelas, 267

materiais ferromagnéticos, 130
materiais semicondutores, 218
material ferromagnético, 123
Maxwell, 206
meio eletrolítico, 31
modelo de Bohr, 214
motor de Faraday, 158
motor e lâmpada, 102
motor elétrico, 158
motor elétrico com bobinas, 169
motor elétrico de tração, 168
motor elétrico mínimo, 161, 163, 165, 167
movimento da Lua, 253
movimento de translação, 250
movimento do Sol, 241
multímetro, 34

Oersted, 131
ohmímetro, 39
ondas eletromagnéticas, 204

pêndulo eletrostático, 7, 18

paradoxo magnético, 129
paralaxe, 245
Planck, 228
planeta Terra e gravidade, 235
planetas, 244, 247
plasma, 87
polos do imã, 119
polos magnéticos, 127
ponte de fio, 98
ponte de Wheatstone, 98
ponto Curie, 121
potência útil máxima, 110
potência de um gerador, 110
potência do sol, 257
pressão de vapor, 263
primeira lei de Ohm, 41
processos de eletrização, 12

radiação infravermelha, 217
receptor elétrico, 72
reostato, 62
repulsão elétrica, 4, 5
resistência, 41, 79
resistência de um condutor, 43
resistência de um ldr, 231
resistência e temperatura, 79
resistência elétrica, 55
resistência interna, 64
resistividade, 81
resistividade e temperatura, 81
resistor, 41, 47
resistor ôhmico, 42
resistor não-ôhmico, 42
resistores em paralelo, 52
resistores em série, 50
rotação da Terra, 238, 249

Seebeck, 56
segunda lei de Ohm, 43
simulando um tornado, 265
Sol, 247, 257
solenoide, 138

tamanho da Lua, 256
tensão, 41
teste da chama, 214
tornado, 265
transferência de elétrons, 2
transformador elétrico, 174, 176
transições eletrônicas, 215
translação da Terra, 250

umidade relativa do ar, 262

vapor de água, 260
velocidade de rotação, 238
visualizando no infravermelho, 217
voltímetro, 36
Volta, 16