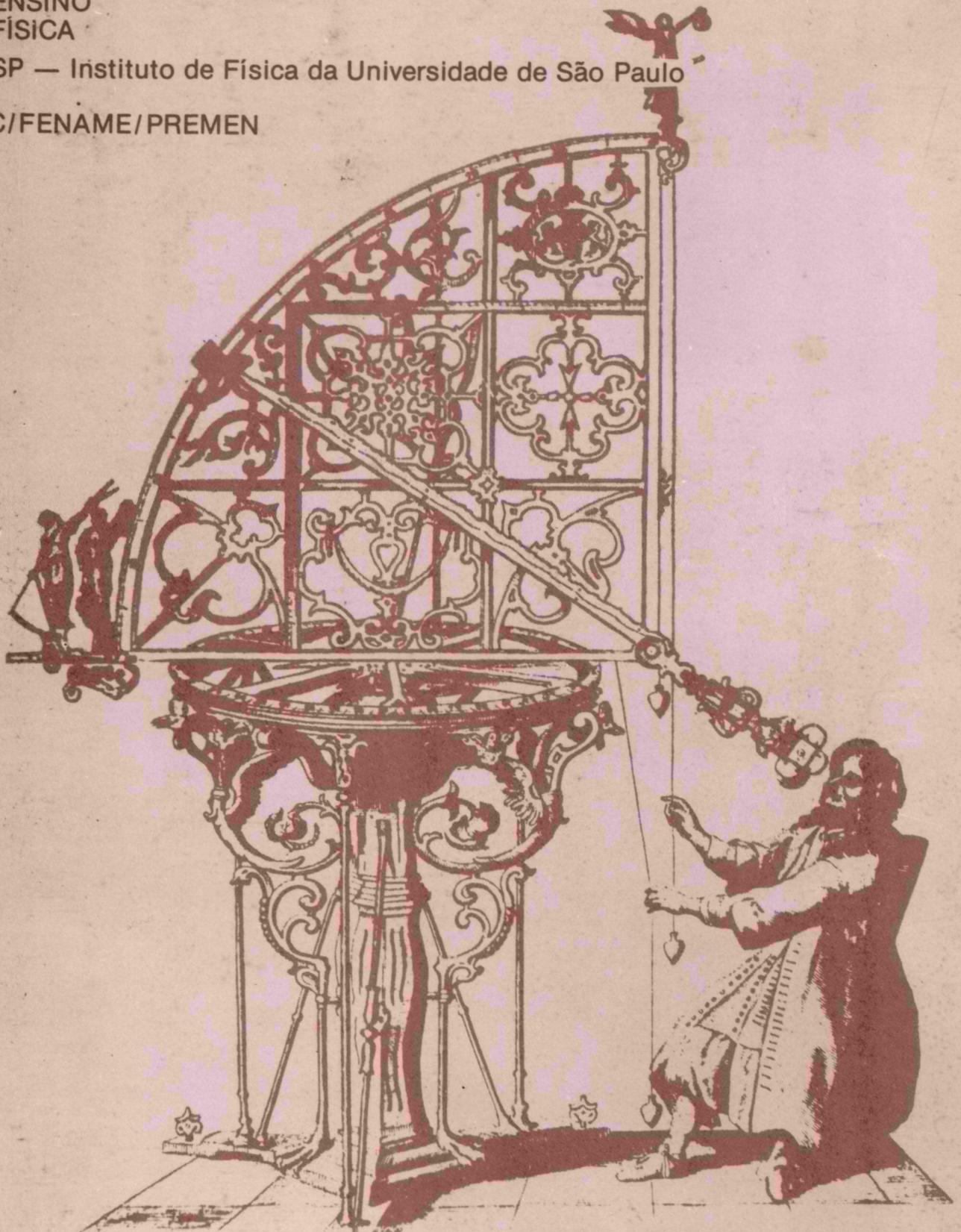


PROJETO
DE ENSINO
DE FÍSICA

IFUSP — Instituto de Física da Universidade de São Paulo

MEC/FENAME/PREMEN



GUIA DO PROFESSOR

**IFUSP — INSTITUTO DE FÍSICA
DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**PROJETO
DE ENSINO
DE FÍSICA**

GUIA DO PROFESSOR

**MECÂNICA
ELETRICIDADE
ELETROMAGNETISMO**



Ministério da Educação e Cultura
Fundação Nacional de Material Escolar

Rio de Janeiro
1980

©1975

Direitos autorais exclusivos da
FENAME — Ministério da Educação e Cultura

Impresso no Brasil

Depósito legal na Biblioteca Nacional, conforme Decreto
nº 1.825, de 20 de dezembro de 1907.

Esta edição foi publicada pela
FENAME — Fundação Nacional de Material Escolar, sendo
Presidente da República Federativa do Brasil
João Baptista de Oliveira Figueiredo

Ministro de Estado da Educação e Cultura
Eduardo Mattos Portella

Secretário-Geral do MEC
João Guilherme de Aragão

Secretário de Apoio do MEC
Alysson Darowish Mitraud

Diretor Executivo da FENAME
Milton Durço Pereira

Edição em convênio com o Instituto de Física da Universidade
de São Paulo, patrocinada pela Secretaria Geral do Ministério
da Educação e Cultura, através do Fundo Nacional de Desenvol-
vimento da Educação (F.N.D.E.).

MEC/FENAME/PREMEN

PEF – PROJETO DE ENSINO DE FÍSICA, constituído de quatro conjuntos de textos e materiais experimentais (Mecânica 1 e 2, Eletricidade e Eletromagnetismo) e de um Guia do Professor destinados ao ensino de segundo grau, foi planejado e elaborado pela equipe do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP) mediante convênios com a FENAME e o PREMEN

Coordenação

Ernst Wolfgang Hamburger
Giorgio Moscati

Guia do Professor

Antonio Rodrigues
Antonio Geraldo Violin
Eliseu Gabriel de Pieri
Joaquim Nestor Braga de Moraes
José de Pinho Alves Filho
Jesuina Lopes de Almeida Pacca
Moacyr Ribeiro do Valle Filho
Paulo Alves de Lima
Diomar da Rocha Santos Bittencourt (redação final)

Mecânica

Antonia Rodrigues
Antonio Geraldo Violin
Diomar da Rocha Santos Bittencourt
Hideya Nakano
Luiz Muryllo Mantovani
Paulo Alves de Lima
Plínio Ugo Meneguini dos Santos (vice-coordenador)

Eletricidade

Eliseu Gabriel de Pieri
José de Pinho Alves Filho
Judite Fernandes de Almeida

Eletromagnetismo

Jesuina Lopes de Almeida Pacca
João Evangelista Steiner

Programação Visual

Carlos Egidio Alonso
Carlos Roberto Monteiro de Andrade
Ettore Michele di San Filli Bottini
João Baptista Novelli Junior

Fotografia e Reproduções

José Augusto Machado Calil
Washington Mazzola Racy

Secretaria e Datilografia

Carlos Eduardo Franco de Siqueira
Janete Vieira Garcia Novo

Linguagem dos textos do aluno

Claudio Renato Weber Abramo
Maria Nair Moreira Rebello

Construção de protótipos

José Ferreira
Voanerges do Espírito Santo Brites

Desenho Industrial dos Conjuntos Experimentais

Alessandro Ventura (Mecânica)
Plínio Ugo Meneguini dos Santos (Eletricidade e Eletromagnetismo)

Colaboram o pessoal da Secretaria, Oficina Gráfica, Administração, Oficina Mecânica e Oficina Eletrônica do IFUSP.

IFUSP: Caixa Postal 20516, São Paulo — SP

ÁREA DE PROJETOS ESPECIAIS/ASSESSORIA

Anna Maria Borges Guerra Rêgo
Márcia Vital
Tânia Jatobá

Direção do Departamento de Produção
Antonio José de Britto

Equipe Editorial

Anir Machado Guerra Rêgo
Antonio Geraldo Pereira Caldas
Aristóteles Gomes Tardin
Generice Albertina Vieira
Gioietta Timoteo Lana
José Roberto Lisbôa
José Tedin Pinto
Lia Maria Gomes Carneiro
Maria Regina Fernandes de Souza
Marilene dos Santos Andrade
Norma de Magalhães C. Vasconcellos
Odette Junqueira de Castro

Sumário

APRESENTAÇÃO	11
1. Organização do Guia	12
2. Objetivos do curso	12
3. Programa	12
4. Forma de apresentação dos textos	13
5. Textos optativos e leituras suplementares	13
6. Duração do curso	14
7. Condições das salas de aula e duração das aulas	14
8. Pré-requisitos dos alunos	15
9. Forma de trabalho dos alunos	15
10. Forma de trabalho do professor	16
11. Início do curso	17
12. Avaliação	18
13. Bibliografia geral	19
14. Professores e colégios que testaram o Projeto de Ensino de Física	22
MECÂNICA	
Capítulo 0	23
1. Objetivos gerais do curso	23
2. Programa de Mecânica	24
3. Número de aulas previstas	26
4. Programação do curso	27
5. O laboratório de Mecânica	27
6. Teste de pré-requisitos	27
Capítulo 1 — Órbita de um satélite	29
1. Conteúdo	30
2. Objetivos do capítulo	30
3. Pré-requisitos	30
4. Número de aulas previstas	30
5. Sugestões para avaliação	30
6. Bibliografia	30
7. Comentários sobre o texto	31
8. Sugestões para discussão com os alunos	32
9. Sugestões para outras experiências	32
Capítulo 2 — Medidas de espaço	33
1. Conteúdo	34
2. Objetivos do capítulo	34
3. Pré-requisitos	34
4. Número de aulas previstas	34
5. Sugestões para avaliação	34
6. Bibliografia	35
7. Comentários sobre o texto	35
8. Sugestões para discussão com os alunos	36
9. Sugestões para outras experiências	36
Capítulo 3 — Medidas de tempo	37
1. Conteúdo	38
2. Objetivos do capítulo	38

3. Pré-requisitos	38
4. Número de aulas previstas	38
5. Sugestões para avaliação	38
6. Bibliografia	38
7. Comentários sobre o texto	39
8. Sugestões para discussão com os alunos	40
9. Sugestões para outras experiências	40
Capítulo 4 — Movimento uniforme	41
1. Conteúdo	42
2. Objetivos do capítulo	42
3. Pré-requisitos	42
4. Número de aulas previstas	42
5. Sugestões para avaliação	43
6. Bibliografia	43
7. Comentários sobre o texto	43
8. Sugestões para discussão com os alunos	47
9. Sugestões para outras experiências	47
Leitura suplementar: Algarismos significativos	47
Capítulo 5 — Velocidade média e velocidade instantânea	51
1. Conteúdo	52
2. Objetivos do capítulo	52
3. Pré-requisitos	52
4. Número de aulas previstas	52
5. Sugestões para avaliação	52
6. Bibliografia	53
7. Comentários sobre o texto	53
8. Sugestões para discussão com os alunos	54
9. Sugestões para outras experiências	54
Capítulo 6 — Força, inércia e aceleração	55
1. Conteúdo	56
2. Objetivos do capítulo	56
3. Pré-requisitos	57
4. Número de aulas previstas	57
5. Sugestões para avaliação	57
6. Bibliografia	58
7. Comentários sobre o texto	58
8. Sugestões para discussão com os alunos	62
9. Sugestões para outras experiências	62
Capítulo 7 — Segunda lei de Newton	63
1. Conteúdo	64
2. Objetivos do capítulo	64
3. Pré-requisitos	64
4. Número de aulas previstas	64
5. Sugestões para avaliação	64
6. Bibliografia	65
7. Comentários sobre o texto	65
8. Sugestões para discussão com os alunos	68
9. Sugestões para outras experiências	68
Capítulo 8 — Grandezas vetoriais	69
1. Conteúdo	70
2. Objetivos do capítulo	70
3. Pré-requisitos	70
4. Número de aulas previstas	70
5. Sugestões para avaliação	71

6. Bibliografia	71
7. Comentários sobre o texto	71
8. Sugestões para discussão com os alunos	73
9. Sugestões para outras experiências	73
Capítulo 9 — Quantidade de movimento	75
1. Conteúdo	76
2. Objetivos do capítulo	76
3. Pré-requisitos	76
4. Número de aulas previstas	76
5. Sugestões para avaliação	76
6. Bibliografia	76
7. Comentários sobre o texto	77
8. Sugestões para discussão com os alunos	79
9. Sugestões para outras experiências	80
Capítulo 10 — Energia e Trabalho	81
1. Conteúdo	82
2. Objetivos do capítulo	82
3. Pré-requisitos	82
4. Número de aulas previstas	82
5. Sugestões para avaliação	82
6. Bibliografia	83
7. Comentários sobre o texto	83
8. Sugestões para discussão com os alunos	90
9. Sugestões para outras experiências	90
Capítulo 11 — Conservação de energia	91
1. Conteúdo	92
2. Objetivos do capítulo	92
3. Pré-requisitos	92
4. Número de aulas previstas	93
5. Sugestões para avaliação	93
6. Bibliografia	93
7. Comentários sobre o texto	93
8. Sugestões para discussão com os alunos	99
9. Sugestões para outras experiências	100
Capítulo 12 — Gravitação	101
1. Conteúdo	102
2. Objetivos do capítulo	102
3. Pré-requisitos	102
4. Número de aulas previstas	102
5. Sugestões para avaliação	102
6. Bibliografia	103
7. Comentários sobre o texto	103
8. Sugestões para discussão com os alunos	107
9. Sugestões para outras experiências	109
ELETRICIDADE	
Capítulo 0	111
1. Objetivos gerais do curso	111
2. Programa de Eletricidade	111
3. Número de aulas previstas	112
4. Programação do curso	113
5. O laboratório de Eletricidade	114
6. Teste de pré-requisitos	114
Capítulo 1 — Cargas e estrutura da matéria	115
1. Conteúdo	116

2. Objetivos do capítulo	116
3. Pré-requisitos	116
4. Número de aulas previstas	116
5. Sugestões para avaliação	116
6. Bibliografia	117
7. Comentários sobre o texto	118
8. Sugestões para discussão com os alunos	122
9. Sugestões para outras experiências	124
Capítulo 2 — Campo elétrico e pilha	125
1. Conteúdo	126
2. Objetivos do capítulo	126
3. Pré-requisitos	126
4. Número de aulas previstas	126
5. Sugestões para avaliação	126
6. Bibliografia	128
7. Comentários sobre o texto	128
8. Sugestões para discussão com os alunos	132
9. Sugestões para outras experiências	132
Capítulo 3 — Potencial elétrico	133
1. Conteúdo	134
2. Objetivos do capítulo	134
3. Pré-requisitos	134
4. Número de aulas previstas	134
5. Sugestões para avaliação	134
6. Bibliografia	136
7. Comentários sobre o texto	136
8. Sugestões para discussão com os alunos	140
9. Sugestões para outras experiências	140
Capítulo 4 — Corrente elétrica	141
1. Conteúdo	142
2. Objetivos do capítulo	142
3. Pré-requisitos	142
4. Número de aulas previstas	142
5. Sugestões para avaliação	142
6. Bibliografia	144
7. Comentários sobre o texto	144
8. Sugestões para discussão com os alunos	145
9. Sugestões para outras experiências	147
Capítulo 5 — Resistência elétrica	149
1. Conteúdo	150
2. Objetivos do capítulo	150
3. Pré-requisitos	150
4. Número de aulas previstas	150
5. Sugestões para avaliação	150
6. Bibliografia	152
7. Comentários sobre o texto	152
8. Sugestões para discussão com os alunos	153
9. Sugestões para outras experiências	154
Capítulo 6 — Resistência e resistividade	155
1. Conteúdo	156
2. Objetivos do capítulo	156
3. Pré-requisitos	156
4. Número de aulas previstas	156
5. Sugestões para avaliação	156

6. Bibliografia	158
7. Comentários sobre o texto	158
8. Sugestões para discussão com os alunos	160
9. Sugestões para outras experiências	161
Capítulo 7 — Condução nos sólidos	163
1. Conteúdo	164
2. Objetivos do capítulo	164
3. Pré-requisitos	164
4. Número de aulas previstas	164
5. Sugestões para avaliação	164
6. Bibliografia	165
7. Comentários sobre o texto	165
8. Sugestões para discussão com os alunos	167
9. Sugestões para outras experiências	168
Capítulo 8 — Efeito Joule	169
1. Conteúdo	170
2. Objetivos do capítulo	170
3. Pré-requisitos	170
4. Número de aulas previstas	170
5. Sugestões para avaliação	170
6. Bibliografia	171
7. Comentários sobre o texto	171
8. Sugestões para discussão com os alunos	172
9. Sugestões para outras experiências	173
Capítulo 9 — Circuitos elétricos	175
1. Conteúdo	176
2. Objetivos do capítulo	176
3. Pré-requisitos	176
4. Número de aulas previstas	176
5. Sugestões para avaliação	176
6. Bibliografia	177
7. Comentários sobre o texto	177
8. Sugestões para discussão com os alunos	179
9. Sugestões para outras experiências	179
ELETROMAGNETISMO	
Capítulo 0	181
Introdução	181
1. Objetivos gerais do curso	181
2. Programa de Eletromagnetismo	182
3. Número de aulas previstas	183
4. Programação do curso	183
5. O laboratório de Eletromagnetismo	183
6. Instruções de montagem dos dispositivos para os capítulos 4 e 6	185
7. Indicações de algumas montagens das experiências descritas no texto	186
8. Teste de pré-requisitos	186
Capítulo 1 — Eletricidade e ímãs	187
1. Conteúdo	188
2. Objetivos do capítulo	188
3. Pré-requisitos	188
4. Número de aulas previstas	188
5. Sugestões para avaliação	188
6. Bibliografia	189

7. Comentários sobre o texto	189
8. Sugestões para discussão com os alunos	191
9. Sugestões para outras experiências	192
Capítulo 2 — Estruturas dos ímãs	195
1. Conteúdo	196
2. Objetivos do capítulo	196
3. Pré-requisitos	196
4. Número de aulas previstas	196
5. Sugestões para avaliação	196
6. Bibliografia	197
7. Comentários sobre o texto	198
8. Sugestões para discussão com os alunos	200
9. Sugestões para outras experiências	201
Capítulo 3 — O campo magnético	203
1. Conteúdo	204
2. Objetivos do capítulo	204
3. Pré-requisitos	204
4. Número de aulas previstas	204
5. Sugestões para avaliação	204
6. Bibliografia	205
7. Comentários sobre o texto	205
8. Sugestões para discussão com os alunos	208
9. Sugestões para outras experiências	208
Capítulo 4 — Correntes em campos magnéticos	211
1. Conteúdo	211
2. Objetivos do capítulo	211
3. Pré-requisitos	213
4. Número de aulas previstas	213
5. Sugestões para avaliação	213
6. Bibliografia	213
7. Comentários sobre o texto	214
8. Sugestões para discussão com os alunos	217
9. Sugestões para outras experiências	218
Capítulo 5 — Indução eletromagnética	219
1. Conteúdo	220
2. Objetivos do capítulo	220
3. Pré-requisitos	220
4. Número de aulas previstas	220
5. Sugestões para avaliação	220
6. Bibliografia	221
7. Comentários sobre o texto	221
8. Sugestões para discussão com os alunos	224
9. Sugestões para outras experiências	225
Capítulo 6 — Aplicações do Eletromagnetismo	227
1. Conteúdo	228
2. Objetivos do capítulo	228
3. Pré-requisitos	228
4. Número de aulas previstas	229
5. Sugestões para avaliação	229
6. Bibliografia	229
7. Comentários sobre o texto	229
8. Sugestões para discussão com os alunos	230
9. Sugestões para outras experiências	231

APRESENTAÇÃO

O Projeto de Ensino de Física (PEF) foi desenvolvido para facilitar o aprendizado de Física nas escolas brasileiras de segundo grau. Trata principalmente de Mecânica, Eletricidade e Eletromagnetismo.

Os textos, exercícios, experimentos e leituras são apresentados de maneira integrada em quatro coleções de fascículos, acompanhadas de três conjuntos experimentais.

O PEF foi elaborado no Departamento de Física Experimental do Instituto de Física da Universidade de São Paulo por uma equipe de cerca de trinta pessoas que incluiu professores universitários e secundários de Física, pesquisadores em Física, programadores visuais, redatores, fotógrafos, etc.

Os direitos autorais do PEF foram cedidos à Fundação Nacional de Material Escolar — FENAME —, do Ministério da Educação e Cultura (MEC), que é responsável pela publicação e distribuição dos fascículos e deste **Guia**, bem como pela produção e distribuição dos conjuntos experimentais. Além do auxílio financeiro da FENAME e do PREMEN — Programa de Expansão de Melhoria do Ensino —, também do MEC, o PEF contou com verbas do Instituto de Física da Universidade de São Paulo, bem como, em sua fase inicial, com auxílio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

Antes de a edição da FENAME ser elaborada, uma versão preliminar dos fascículos e protótipos do material de laboratório foi produzida e utilizada em caráter experimental por cerca de 3.000 estudantes, em vinte escolas do Estado de São Paulo, principalmente na Grande São Paulo, nos anos de 1971 e 1972. Este ensaio permitiu uma completa revisão do curso. Foi principalmente com base na experiência desses professores, que testaram a versão preliminar, que se colheram os subsídios para a elaboração deste **Guia**.

Por outro lado, em diversas cidades brasileiras foram realizados cursos de treinamento de professores para a aplicação do Projeto, sob o patrocínio da Universidade de São Paulo e do PREMEN, que também forneceram elementos para esta primeira edição do **Guia**.

Aos professores que testaram a versão preliminar do PEF e aos participantes dos cursos de treinamento agradecemos a colaboração prestada.

Os autores.

1. Organização do Guia

Este **Guia** está dividido em quatro partes. A primeira, identificada como introdução, se inicia nesta página com a organização do **Guia** e termina na página 22 com a lista de professores e colégios que testaram o PEF. A introdução trata principalmente dos aspectos gerais da aplicação do PEF e é útil para o planejamento geral do curso.

As outras três partes, denominadas, respectivamente, **Mecânica, Eletricidade e Eletromagnetismo**, tratam especificamente da aplicação de cada volume e de cada fascículo do PEF e estão divididas nos seguintes itens:

1. Conteúdo do capítulo do PEF;
2. Objetivos principais do capítulo;
3. Pré-requisitos;
4. Número de aulas previstas;
5. Sugestões para avaliação;
6. Bibliografia específica do capítulo;
7. Comentários sobre o texto;
8. Sugestões para discussão com os alunos;
9. Sugestões para outras experiências.

Essas três partes, **Mecânica, Eletricidade e Eletromagnetismo**, são identificadas pela diferença de altura do retângulo cinza colocado na parte superior direita de cada página ímpar; esses retângulos formam três manchas na parte externa e oposta à lombada, o que facilita a identificação de cada parte.

O número neles impresso indica o capítulo correspondente ao fascículo do aluno.

2. Objetivos do curso

O Projeto de Ensino de Física destina-se aos alunos do 2º grau, ou seja, a alunos que, em sua maioria, não mais estudarão Física. Por isso, o Projeto foi elaborado tendo em vista os seguintes objetivos:

- a) adaptar-se às condições das escolas e dos professores de 2º grau do Brasil;
- b) levar o aluno a conhecer alguns fenômenos e conceitos da Física, de modo que possa operar com esses conceitos, resolver problemas e realizar experiências simples;
- c) levar o aluno a travar contato com o método científico através do estudo de alguns fenômenos e conceitos específicos da Física;
- d) apresentar ao aluno alguns aspectos da Física Contemporânea.

3. Programa

O programa abrangido pelos quatro volumes do PEF é o seguinte:

1º Volume – Mecânica 1

1. Órbita de um satélite
2. Medidas de espaço
3. Medidas de tempo
4. Movimento uniforme
5. Velocidade média e velocidade instantânea
6. Força, inércia e aceleração

2º Volume – Mecânica 2

7. Segunda lei de Newton
8. Grandezas vetoriais
9. Quantidade de movimento
10. Energia e trabalho
11. Conservação de energia
12. Gravitação

3º Volume – Eletricidade

1. Cargas e estrutura da matéria
2. Campo elétrico e pilha
3. Potencial elétrico
4. Corrente elétrica
5. Resistência elétrica
6. Resistência e resistividade
7. Condução nos sólidos
8. Efeito Joule
9. Circuitos elétricos

4º Volume – Eletromagnetismo

1. Eletricidade e ímãs
2. Estrutura dos ímãs
3. O campo magnético
4. Corrente em campos magnéticos
5. Indução eletromagnética
6. Aplicações do eletromagnetismo

4. Forma de apresentação dos textos

Os textos do PEF são publicados em fascículos, cada um deles correspondente a um capítulo. Cada capítulo contém, em geral, quatro partes:

- a) texto principal:** é impresso em tipo grande, sendo dividido em várias seções numeradas;
- b) exercícios de aplicação:** impressos em tipo grande, são divididos em geral em uma ou várias seções numeradas;
- c) texto optativo:** impresso em tipo menor, é dividido em seções numeradas em seqüência à numeração do texto principal;
- d) leitura suplementar:** impressa em tipo pequeno, existe na maioria dos capítulos.

5. Textos optativos e leituras suplementares

Os textos optativos, impressos em tipo menor, **não são indispensáveis para a compreensão dos capítulos seguintes do curso**. Eles foram introduzidos no texto tendo em mente as classes que dispõem de maior número de aulas (3 ou mais por semana) e alunos mais interessados.

De modo geral, o texto optativo trata com maior profundidade alguns assuntos abordados no texto principal. O professor deve dedicar tempo ao texto optativo apenas quando tiver certeza que poderá terminar o texto principal. Dessa maneira, dependendo da disponibilidade de tempo, o professor poderá decidir entre trabalhar sobre nenhum, alguns, ou todos os textos optativos.

Finalmente, o professor pode recomendar aos alunos que estudem a parte optativa em casa.

As leituras suplementares, também impressas em tipo menor, foram elaboradas tendo em mente o trabalho extracurricular. Nessas leituras, pretende-se principalmente motivar o aluno para o estudo da Física. Isso não impede, no entanto, que o pro-

fessor dedique algumas aulas à discussão das leituras suplementares que julgar mais interessantes.

Mais adiante neste **Guia** há uma bibliografia que o professor pode recomendar aos alunos mais interessados; os livros relacionados podem servir de base para a formação de uma biblioteca de Física na escola, para alunos e professores.

6. Duração do curso

O PEF foi planejado para ser integralmente aplicado, isto é, incluindo os textos optativos e as leituras suplementares, em três anos com três aulas semanais.

Entretanto, em escolas em que os dois primeiros anos são comuns e o terceiro diversificado, o texto principal do PEF poderá ser aplicado durante os dois primeiros anos e os textos optativos e as leituras suplementares deixados para o terceiro ano. Nesse caso, a matéria do terceiro ano deverá ser necessariamente suplementada por materiais preparados pelo professor, pois somente os textos optativos e as leituras suplementares serão insuficientes para o ano todo.

No caso de escolas que contam com somente duas aulas semanais de Física, o texto principal dos quatro volumes deverá ser aplicado durante os três anos, juntamente com alguns dos textos optativos escolhidos pelo professor.

7. Condições das salas de aula e duração das aulas

As condições das salas de aula brasileiras são as mais diferentes possíveis. Entretanto, as mais comuns são:

a) Sala ambiente de Física ou laboratório equipado de mesas e cadeiras.

Neste caso, o professor permanece no laboratório, onde são ministradas todas as aulas de Física, sejam experimentais, teóricas ou de exercícios, e onde são guardados os conjuntos experimentais. No horário da aula, os estudantes deslocam-se de sua sala para o laboratório.

Esta é a situação ideal para a aplicação do PEF.

b) Salas de aula comuns equipadas com carteiras móveis.

Nesta situação, o professor desloca-se de sala em sala, enquanto os estudantes permanecem em suas próprias salas. Quando for o caso, o professor deverá levar os conjuntos experimentais para as salas de aula onde serão realizadas as experiências.

Para os trabalhos em grupo, os estudantes devem dispor suas carteiras próximas uma das outras, não esquecendo de arrumá-las ao final da aula. A maioria das salas de aula brasileiras é deste tipo e são adequadas à aplicação do PEF.

c) Salas de aula comuns equipadas com carteiras fixas.

O trabalho em grupo é dificultado neste caso, mas ainda pode ser realizado por grupos que não ultrapassem quatro estudantes vizinhos.

O tempo de duração de uma aula nas escolas brasileiras, 45 minutos em média, é insuficiente, principalmente quando se realizam experiências. Para contornar esta situação, o professor poderá pedir à direção da escola aulas duplas, isto é, duas aulas seguidas de Física.

8. Pré-requisitos dos alunos

Antes de iniciar os cursos de Mecânica, Eletricidade e Eletromagnetismo é conveniente que os alunos sejam submetidos a testes de pré-requisitos. O Guia inclui modelos destes testes, nas introduções das partes específicas, que poderão ser utilizados pelo professor. A correção e o levantamento do índice percentual de acertos em cada questão poderão ser realizados facilmente com a ajuda dos próprios alunos. Os resultados dos testes, entretanto, não devem ser utilizados como avaliação dos alunos; a importância desses resultados está na detecção da origem de algumas das dificuldades futuras dos alunos durante o curso.

Os alunos devem fazer o teste de pré-requisitos de cada um dos cursos conscientes de seu objetivo e de que não será usado como avaliação.

Uma maneira de sanar as falhas detectadas pelo teste de pré-requisitos será pedir ao aluno que recorde matérias anteriormente estudadas. Se as falhas, contudo, forem da maioria dos alunos, serão mais eficientes aulas expositivas e materiais especialmente elaborados pelo professor para trabalho em classe ou em casa. Em qualquer caso, o momento melhor de eliminar falhas em pré-requisitos é aquele em que eles são imprescindíveis para o prosseguimento imediato do curso.

9. Forma de trabalho dos alunos

O trabalho dos alunos em classe poderá ser organizado individualmente ou em grupos de três a cinco alunos, dependendo dos critérios do professor e das condições das salas de aula.

A característica principal do PEF é a participação ativa do aluno, seja individualmente ou em grupo. Ler o texto, responder às questões, resolver os exercícios, realizar as experiências, efetuar discussões com os colegas e o professor são as atividades principais que os alunos exercem durante a aula.

Cada aluno deve possuir um exemplar de cada fascículo, pois através dele será desenvolvido o trabalho em classe. De posse de seu exemplar, o aluno deve ler atentamente o texto, procurar compreendê-lo e responder às questões propostas, **por escrito**, nos locais determinados. **Somente** após responder às questões e discutí-las com seus colegas, no caso do trabalho em grupo, é que o aluno deve conferi-las com as respostas impressas no texto.

É muito importante que o aluno tome consciência de que esse método conduz à aprendizagem, e que ele pouco aprenderá se consultar muito cedo as respostas impressas. É importante também que cada aluno tenha seus fascículos completos e preenchidos corretamente, caso contrário encontrará dificuldades para um estudo anterior a uma prova ou para uma recapitulação.

Os exercícios de aplicação devem, em sua maioria, ser resolvidos e discutidos pelos alunos em classe. Resolvendo tais exercícios, o aluno adquire maior firmeza nos conceitos aprendidos, e toma consciência de eventuais falhas na compreensão desses conceitos.

Caso o aluno disponha de tempo, os exercícios, ou parte deles, ou ainda exercícios adicionais poderão ser resolvidos em casa e comentados em classe.

Freqüentemente os alunos serão instruídos a realizar experiências, utilizando sempre aparelhos simples, de forma a terem sempre presente a ligação entre o fenômeno observado e a sua interpretação teórica. Para a realização das experiências, os alunos devem, necessariamente, trabalhar em grupos de três a cinco

para cada conjunto experimental.

O papel dessas experiências é central no Projeto; as experiências fazem parte integrante do curso, sendo impossível ao aluno prosseguir sem tê-las realizado. Dessa maneira, cada fascículo serve, simultaneamente, como livro texto, como caderno de exercícios e como manual de instruções de laboratório.

10. Forma de trabalho do professor

Na aplicação do PEF, o professor atua principalmente como coordenador, organizador, orientador, avaliador e muito pouco como expositor da matéria. Entretanto, disso não decorre que sua participação na sala de aula seja passiva; ao contrário, a participação ativa do professor também é uma característica da aplicação do PEF.

De modo geral, os alunos estão acostumados a aulas expositivas. Muitos deles não entendem, inicialmente, o método de trabalho do PEF; outros reagem negativamente a terem que trabalhar por conta própria. São necessárias, geralmente, algumas semanas para que todos adquiram a iniciativa de trabalho que o Projeto exige. É principalmente nesse período que a coordenação e o acompanhamento dos trabalhos dos alunos são importantes e mesmo decisivos para o sucesso do curso.

Durante o trabalho em classe, o professor deverá percorrer a sala auxiliando cada aluno em seu trabalho, ocasião em que pode verificar as dificuldades mais comuns entre os alunos.

O professor não deve dar imediatamente resposta a perguntas que lhe sejam feitas, sem antes verificar se o aluno realmente leu o texto com cuidado. Normalmente, o texto é suficiente para fornecer os elementos necessários à resolução das questões; não sendo esse o caso, o professor deve formular novas perguntas para conduzir o raciocínio do aluno, levando-o a resolver sua dúvida.

As respostas dos alunos às questões precisam ser corretas. Entretanto, é desejável que não tenham redação idêntica à do texto. O professor poderá incentivar os alunos a formularem, de maneira pessoal e diferente, as respostas, dando ele mesmo algumas equivalentes (e melhores), como exemplo.

Ao fim de cada capítulo, ou em ocasiões em que achar conveniente, o professor deve conduzir uma discussão geral sobre o assunto do capítulo ou sobre um assunto mais específico; por exemplo, um ponto que deixou dúvidas em grande parte da classe. Os minutos finais de cada aula, inclusive, podem ser sempre reservados para discussões gerais.

O professor deve estabelecer prazos e determinar os objetivos que devem ser alcançados durante a semana, ou mesmo durante cada aula, a fim de assegurar uma velocidade de trabalho razoavelmente uniforme. Entretanto, alguns alunos trabalham mais rapidamente que outros e terminam o capítulo antes. Neste caso, o professor pode permitir que eles passem ao capítulo seguinte ou atribuir outras tarefas a esses alunos, tais como:

a) Ler, responder e discutir as partes não obrigatórias do texto, impressas em tipo menor. Incluem-se, aqui, as leituras suplementares.

b) Servir de monitores para alunos mais atrasados. Esta solução se revelou muito boa durante os ensaios: o monitor ganha bastante com isso, pois vê constantemente questionados os seus conhecimentos, e tende, conseqüentemente, a aperfeiçoá-los. Por outro lado, o monitor tem, geralmente, maior facilidade de comunicação com os outros alunos, deixando-os mais à vontade para um diálogo franco.

Caso o professor disponha de tempo para planejamento, e o número de alunos em classe seja pequeno, ele pode permitir que grupos de alunos mantenham velocidades diferentes durante todo o curso; nesta situação o grupo discute com o professor e faz a sua avaliação separadamente.

11. Início do curso

É muito útil para a execução futura dos trabalhos que, antes de iniciar o curso, o professor conduza, em uma aula, uma discussão sobre os objetivos e o método do curso, de como será realizado e organizado o trabalho em classe e a maneira como será feita a avaliação. Os textos **O que é o PEF** e **Como utilizar este texto**, que fazem parte do folheto introdutório dos fascículos, deverão ser lidos pelos alunos e poderão servir de base para a discussão. Nessa discussão, o professor poderá aproveitar a ocasião e explicar o que são testes de pré-requisitos e por que são utilizados, e avisar os alunos de que serão submetidos a um destes testes na aula seguinte.

O teste de pré-requisitos deverá ser aplicado, corrigido e comentado em uma aula, se os alunos ajudarem em sua correção.

Se a duração dessa aula for insuficiente para tanto, o professor poderá dividir o teste em partes e aplicá-las em dias diferentes.

Finalmente, terminadas essas atividades preliminares, o curso deverá ser iniciado. No caso de o professor preferir o trabalho em grupos, deverá, antes, organizá-los.

Uma característica evidenciada, quando foi testada a versão preliminar do PEF, é que **muitos alunos não estão acostumados a ler**: correm os olhos por uma página e passam à seguinte sem ter idéia do que está escrito ou respondem às questões sem ler o texto que aparece entre elas. Dessa maneira, fracassam quando tentam responder às perguntas do texto.

Alguns professores utilizaram com sucesso o seguinte esquema inicial: os trabalhos são iniciados com leitura em voz alta de pequenos trechos do texto, pelo professor e por alguns alunos, alternadamente. Após a leitura de cada trecho, o professor comenta-o ligeiramente. Quando surge uma questão, os alunos tentam respondê-la individualmente; o professor faz um levantamento rápido das respostas e, a partir delas, resolve a questão no quadro-negro. Nessa ocasião, aproveita para ressaltar a necessidade de representar corretamente as unidades, de indicar os cálculos feitos, de escrever de forma clara e concisa, de utilizar lápis e borracha na execução de gráficos e cálculos, etc. A resposta apresentada pelo professor, todavia, deve ser colocada de forma diferente do texto, para que o aluno não se fixe apenas nas respostas do folheto.

Com o decorrer das aulas, os trechos de leitura são alongados e o professor, depois que os alunos escreveram suas respostas, responde às questões oralmente.

Finalmente, depois de algumas aulas, os alunos se adaptam ao processo de trabalho. Se o professor preferir, eles continuam trabalhando individualmente; senão, organiza o trabalho em grupo.

12. Avaliação

A avaliação do aluno deve ser realizada por intermédio de provas e do trabalho em classe. É necessário, assim, que cada aluno responda às questões do texto, resolva os exercícios propostos e realize as experiências. Dessa maneira, a frequência às aulas é absolutamente importante e necessária ao bom aproveitamento; dificilmente o aluno faltoso poderá acompanhar o curso somente pelo estudo em casa.

EXEMPLO DE FICHA DE AVALIAÇÃO

Nº DO ALUNO	1	2	3	4	5
FREQÜÊNCIA 10%					
TRABALHO EM CLASSE - 10% (PARTICIPAÇÃO)					
RENDIMENTO DO GRUPO EM RELAÇÃO À CLASSE - 10%					
FATO DE O ALUNO PORTAR EM AULA O MATERIAL DIDÁTICO - 10%					
PROVAS INDIVIDUAIS 60%					
TOTAL					

As provas devem corresponder a cada capítulo e seus problemas e questões devem estar no mesmo nível das questões e dos exercícios de aplicação do texto.

Como o PEF tem a característica de apresentação seqüencial da matéria, onde cada capítulo é pré-requisito para o seguinte, as provas deverão verificar não só o conteúdo específico de um capítulo, mas também habilidades e conceitos desenvolvidos em capítulos anteriores. Assim, uma prova poderá conter:

- 1) questões em que o aluno deve utilizar gráficos e tabelas construídos durante as aulas, resultados experimentais, etc.
- 2) questões que dependam da montagem e realização de uma experiência durante a própria duração da prova.

Para essas questões, os resultados corretos somente são conseguidos se o aluno tiver participado efetivamente do trabalho em classe e preenchido completamente seu fascículo. Dessa forma, essas questões são uma medida, ainda que indireta, da participação do trabalho em classe.

É importante que os alunos conheçam os objetivos de cada capítulo, de como será realizada a avaliação, a relevância do trabalho em classe e que assuntos tratados em um capítulo poderão ser utilizados em aulas e provas posteriores. Os alunos também devem ser conscientizados de que provas não visam apenas à obtenção de notas, mas, principalmente, à detecção de falhas e orientação dos estudos de revisão da matéria.

A revisão da matéria poderá ser feita a partir da discussão das questões da prova, que o professor deverá conduzir após a sua realização.

Se o professor tiver tempo disponível ou se o número de alunos não for muito grande, a avaliação poderá ser realizada, durante o desenrolar das aulas e sem a interrupção dos trabalhos por todos os alunos. Nesse caso, o professor prepara previamente várias questões sobre a parte que deseja avaliar e as submete a um grupo de alunos que já tenha terminado os trabalhos, enquanto que os outros alunos continuam os trabalhos normais. Concluída a prova, ou na aula seguinte, o professor discute as questões com o grupo de alunos. Caso o resultado não seja satisfatório, os alunos deverão rever a matéria, ou parte dela, e realizar nova prova, se necessário. Esse procedimento, em geral, leva a uma participação mais efetiva do aluno e diminui o "medo de provas" e a "cola".

Um professor que utilizou este sistema preparou uma ficha de avaliação que está reproduzida a título de exemplo. Aliás, uma ficha deste tipo pode ser muito útil para a avaliação; evidentemente, ela poderá conter outros itens de avaliação, bem como ter outros pesos.

13. Bibliografia geral

Relatividade

- 1 — BONDI, H. **Relatividade e bom senso: um novo enfoque das idéias de Einstein**. Trad. Leonidas Hegenberg e Octanny Silveira da Mota. São Paulo, Herder, 1971.
- 2 — LANDAU, L. & ROMER, Y. **Aprenda a teoria da relatividade brincando**. Trad. Giorgio Moscati. São Paulo, Hemus, 1970.
- 3 — RUSSEL, B. **ABC da relatividade**. Rio de Janeiro, Zahar, 1966.
- 4 — THONMSEN, W. H. **Para compreender Einstein**. Rio de Janeiro, Tecnoprint, 1966.

História da ciência

- 5 – BERNAL, J. D. **Science in history**. Middlesex, Penguin Books, 1969. 4 v.
- 6 – DAMPIER, W. **Pequena história da ciência**. São Paulo, Ibrasa, 1961.
- 7 – EINSTEIN, A. & INFELD, L. **A evolução da física**. Trad. Giasone Rebuá, 2. ed. Rio de Janeiro, Zahar, 1966.
- 8 – GAMOW, G. **Biografia de física**. Rio de Janeiro, Zahar, 1963.
- 9 – MASON, J. F. **História da ciência; as principais correntes do pensamento científico**. Trad. Flávio e José Vellinho de Lacerda. Rio de Janeiro, Globo, 1964.
- 10 – SILVA, M. O. da R. e. **A evolução do pensamento científico**. São Paulo, Ed. de Humanidade, Ciência e Tecnologia, 1972.

Ciência e sociedade

- 11 – BRECHT, B. **Galileu Galilei**. Trad. R. Schwartz. São Paulo, Sociedade Brasileira de Física, 1970.
- 12 – HAMBURGER, E. W. **Ciência, tecnologia e desenvolvimento**. São Paulo, Brasiliense, 1971.
- 13 – KOMGANOFF, V. **A pesquisa científica**. São Paulo, Difusão Européia do Livro, 1961.
- 14 – LOPES, J. L. **Ciência e libertação**. Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1969.
- 15 – MANN, M. **A energia atômica na paz**. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1963.
- 16 – PINTO, A. V. **Ciência e existência**. Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1969.
- 17 – SILVA, M. O. da R. e. **Ciência e humanismo**. São Paulo, EDART, 1969.
- 18 – WIENER, N. **Cibernética e sociedade**. São Paulo, Cultrix, 1970.

Divulgação científica

- 19 – ASIMOV, I. **O universo**. Rio de Janeiro, Bloch, 1969.
- 20 – ————. **Vida e energia**. São Paulo, Best-Seller, 1965.
- 21 – BARNETT, L. **O universo e o Dr. Einstein**. São Paulo, Melhoramentos [s.d.].
- 22 – BONDI, H. **O universo como um todo; aspectos de cosmologia**. São Paulo, EDART, 1968.
- 23 – GAMOW, G. **Átomo e natureza**. Rio de Janeiro, Civilização Brasileira, 1964.
- 24 – ————. **Gravidade**. São Paulo, EDART, 1968.
- 25 – ————. **Nascimento e morte do sol**. 2.ed. Porto Alegre, Globo, 1962.
- 26 – ————. **Um, dois, três. . . infinito**. Rio de Janeiro, Zahar [s.d.].
- 27 – HOYLE, F. **A natureza do universo**. Rio de Janeiro, Zahar [s.d.].
- 28 – HURLEY, P. M. **Qual a idade da Terra?** Trad. José Moacir Vianna Coutinho. São Paulo, EDUSP, 1963.
- 29 – JAFFE, B. **Michelson e a velocidade da luz**. São Paulo, EDART, 1967.
- 30 – JEANS, J. **O universo em que vivemos**. Rio de Janeiro, Zahar [s.d.].
- 31 – KAHN, F. **O átomo**. São Paulo, Melhoramentos [s.d.]
- 32 – ————. **O livro da natureza**. São Paulo, Melhoramentos [s.d.]
- 33 – KOESTLER, A. **Os sonâmbulos**. São Paulo, Ibrasa, 1961.
- 34 – MACDONALD, D.K.C. **Perto do zero absoluto; introdução à física das baixas temperaturas**. São Paulo, EDART, 1968.
- 35 – PAVAN, C. & CUNHA, A.B.de. **A energia atômica e o fu-**

turo do homem. São Paulo, EDUSP, Ed. Nacional, 1968. (Biblioteca Universitária. Sér. 3 Ciências Puras, 17)

- 36 – PERELMAN, Y. **Aprenda a física brincando.** São Paulo, Hemus, 1969.
- 37 – SHAPLEY, H. **O futuro do homem no universo.** Rio de Janeiro, Zahar [s.d.]
- 38 – THINBAUD, J. **Vida e transmutação dos átomos.** Trad. João Baptista Ramos. Rio de Janeiro, Ao livro Técnico, 1959. (Sér. Evolução Científica).

Ficção científica

- 39 – CLARKE, A. C. **2001 uma odisséia no espaço.** São Paulo, Expressão e Cultura [s.d.]

Textos para o ensino médio

- 40 – ALVARENGA, B.G. & LUZ, A.M.R. da. **Física.** 2.ed. Belo Horizonte, B. Alvares, 1969.
- 41 – ANTUNES, A.A.N. **Física: escola nova.** São paulo, Moderna, 1970. 5v.
- 42 – GRUPO DE ESTUDOS EM TECNOLOGIA E ENSINO DE FÍSICA. **Física auto-instrutivo – FAI:** texto programado para o 2º grau. São Paulo, Saraiva, 1974. 5v.
- 43 – HARVARD project physics. New York, Holt, Rinehart and Winston, 1969.
- 44 – LUCIE, P. **Física com Martins e eu.** Rio de Janeiro, Raval, 1969.
- 45 – NUFFIELD FOUNDATIONS, London. **Nuffield physics course.** London, Penguin Books, 1966-1970.
- 46 – PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE. **Física.** 6. ed. São Paulo, EDART, 1970. 4 v.

Textos de física para o ensino superior

- 47 – ALONSO, M. & FINN, E. **Física: um curso universitário.** Trad. Giorgio Moscati. São Paulo, E. Blücher, 1972.
- 48 – ANUÁRIO astronômico. São Paulo, IAG, 1974.
- 49 – BERKELEY. **Curso de física.** São Paulo, E. Blücher; Brasília, I.N.L., 1973.
- 50 – FALICOV, L. M. **A estrutura eletrônica dos sólidos.** Trad. Wiktor Wajntal. São Paulo, Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências, 1968. (Sér. Física, monografia, 3).
- 51 – FUCHS, W. R. **Física moderna.** Trad. Normando Celso Fernandes e Alberto Luiz da Rocha Barros. São Paulo, Polígono, 1972.
- 52 – GOLDEMBERG, J. **Física geral e experimental.** 2. ed. São Paulo, Ed. Nacional, EDUSP, 1970. (Biblioteca Universitária. Sér. 3. Ciências Puras, 9-9B).
- 53 – OLDENBERG, O. & HOLLADAY, W.G. **Introdução à física atômica e nuclear.** Trad. Shigeo Watanabe. São Paulo, E. Blücher, EDUSP, 1971.
- 54 – OREAR, J. **Física.** Trad. Ivan Cunha Nascimento. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1971.
- 55 – RESNICK, R. **Introdução à relatividade especial.** Trad. Shigeo Watanabe. São Paulo, Polígono, EDUSP, 1971.
- 56 – RESNICK, R. & HALLIDAY, D. **Física.** Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1965.

Atividades espaciais

- 57 – CANBY, C. **História de los cohetes.** Madrid, Continente [s.d.]
- 58 – ENCICLOPÉDIA soviética; A-Z cosmonáutica. Moscou, Mir, 1969.
- 59 – LEY, W. **Events in space.** New York, Mackay, 1969.

14. Professores e colégios que testaram o Projeto de Ensino de Física

Professores	Colégios	Série	Ano
Antonia Rodrigues	C. E. "Prof. Américo de Moura"	1ª/2ª	71/72
Antonio Galvão Hilário	I. E. E. "Alberto Conte"	1ª/2ª	72
Antonio Geraldo Violin	I. E. E. "Alberto Conte"	1ª/2ª	71
Celso Lerner	C. E. "Profª Zuleika de Barros M. Ferreira"	1ª	71
Celso Lerner	C. E. "Renasçença"	1ª	71
Carlos Alberto Askinis	C. E. "Prof. Américo de Moura"	2ª/3ª	72
Eliseu Gabriel de Pieri	C. E. "Padre Francisco de Azevedo"	1ª/2ª/3ª	71/72/73
Floriano Castilho	I. E. E. "Coronel João Cruz (Avaré)"	2ª/3ª	71
Fussae Jó	I. E. E. "Prof. Roldão Lopes de Barros"	1ª	72
Hitomi Okamura	C. E. "Profª Zuleika de Barros M. Ferreira"	2ª	71
Humberto Di Stefano	Liceu "Acadêmico de São Paulo"	1ª	71
Izaura M. Akashi	C. E. "Francisco de Assis Reis"	2ª/3ª	71/72
Joseph Isaac Goldenberg	Liceu "Eduardo Prado"	1ª	72
José Roberto Cardoso	C. E. "São Caetano"	1ª	71
Maria Estela Zin Romano	C. E. "Laura Lopes"	1ª	71
Mauro Gomes Vidal	C. E. "Prof. Teotônio Alves Pereira"	1ª	71
Nery G. Leite	C. E. "Cerqueira Cezar"	2ª/3ª	71
Neusa Celi Zonota	C. E. "Idalina M. C. Sodré"	1ª	71
Paulo Alves de Lima	I. E. E. "Anhanguera"	1ª	71/72
Rute Beviláqua	C. E. Tec. Ind. "Brasilides Godoy"	1ª	72
Silvia A. Meira	C. E. "São Caetano"	1ª	71/72
Walter Brambilla	I. E. E. "Prof. Roldão Lopes de Barros"	1ª	72

1. Objetivos gerais do curso

O curso de Mecânica do PEF pretende levar o aluno a conhecer o método científico e alguns dos princípios básicos da Mecânica, principalmente as leis de conservação de energia e quantidade de movimento, bem como aplicá-los na resolução de exercícios e realização de experimentos simples.

As leituras suplementares tratam de outros campos da Física e de seu relacionamento com a sociedade; seu objetivo é motivar os alunos e ajudá-los a alargarem seus horizontes.

Os primeiros cinco capítulos do curso são bastante formativos, tendo como objetivo a discussão de conceitos básicos da Física: velocidade, espaço, tempo, medida. Os capítulos restantes são progressivamente mais complexos, pois envolvem não só a discussão de conceitos, mas também a relação entre conceitos (como a 2ª lei de Newton, por exemplo). A seguir, são feitos alguns comentários sobre cada capítulo:

1. A órbita de um satélite

Nesse capítulo os alunos desenham a órbita de um satélite. A órbita foi usada como motivação; o objetivo principal é os alunos aprenderem, se já não sabem, a localizar pontos em um sistema de eixos cartesianos ortogonais.

2. Medidas de espaço

Este capítulo é muito importante para a discussão futura de resultados obtidos em experiências, pois trata de medidas e de sua precisão.

3. Medidas de tempo

Os alunos calibram e utilizam um "cronômetro de areia", isto é, uma ampulheta cuja forma foi modificada e à qual foi acrescentada uma escala milimetrada e um interruptor do fluxo de areia.

4. Movimento uniforme

Trata da velocidade constante de uma forma bastante operacional: os alunos devem fazer medidas de espaço e tempo para a determinação de velocidade de um corpo em movimento.

5. Velocidade média e velocidade instantânea

Começa a incursão dos alunos em conceitos mais abstratos: a velocidade instantânea é considerada como a velocidade média em um intervalo de tempo muito pequeno. O problema não é colocado matematicamente como limite da razão $\Delta e/\Delta t$.

6. Força, inércia e aceleração

Esse capítulo é um misto de Cinemática e Dinâmica. São discutidos o princípio de inércia e os efeitos da aplicação de uma força, bem como calculada a aceleração de um corpo em movimento.

A segunda lei de Newton começa a ser discutida através da proporcionalidade entre força e aceleração.

7. Segunda lei de Newton

A introdução do conceito de massa e de como medi-la permite chegar à lei. São discutidos os conceitos de massa, peso e inércia.

8. Grandezas vetoriais

O conceito de vetor é introduzido através da velocidade. São feitas operações com grandezas vetoriais e definida a aceleração vetorial.

9. Quantidade de movimento

É apresentada e discutida a lei de conservação da quantidade de movimento bem como, de maneira sucinta, a lei de ação e reação.

10. Energia e trabalho

São discutidos os conceitos de energia, energia cinética e trabalho. A lei de conservação de energia não é diretamente colocada, apesar de ser uma idéia subliminar e imanente ao texto.

11. Conservação de energia

É apresentada a lei de conservação de energia. São discutidos os conceitos de energia potencial elástica e gravitacional.

12. Gravitação

São discutidas a lei de gravitação universal e a conservação de energia do movimento de um satélite.

2. Programa de Mecânica

I – Órbita de um satélite

1. Os pontos de um gráfico
2. Órbita de um satélite
3. Exercícios de aplicação

Leitura suplementar: A ciência na cultura
Ciência e tecnologia
A Física no Brasil

II – Medidas de espaço

1. EXPERIÊNCIA – Medida do comprimento de um segmento
2. EXPERIÊNCIA – A medida de um mesmo objeto
3. A MÉDIA – O valor mais provável
4. Cálculo e representação da média
5. Medições de objetos distintos
6. EXPERIÊNCIA – Distância do satélite à Terra – Escala
7. Potências de dez
8. Exercícios de aplicação

Leitura suplementar: A primeira vez que se mediu o raio da Terra

III – Medidas de tempo

1. EXPERIÊNCIA – Cronômetro de areia: calibração e utilização
2. Período de um pêndulo
3. Exercícios de aplicação

Leitura suplementar: A clepsidra
Padrões de medida
Do meridiano terrestre ao comprimento de uma barra
Os padrões atômicos

IV – Movimento uniforme

1. EXPERIÊNCIA – Medida da velocidade
2. A velocidade varia em AB?
3. Uma fotografia estroboscópica

4. O espaço em função do tempo
5. Exercícios de aplicação
6. Grandezas diretamente proporcionais

V – Velocidade média e velocidade instantânea

1. Velocidade média
2. Velocidade instantânea
3. Exercícios de aplicação

Leitura suplementar: Relatividade das medidas de espaço e de tempo

VI – Força, inércia e aceleração

1. O princípio da inércia
2. EXPERIÊNCIA – Como comparar forças
3. Força e variação de velocidade
4. Exercícios de aplicação I
5. Força e aceleração
6. Aceleração média e aceleração instantânea
7. Aceleração na calha
8. EXPERIÊNCIA – Medida de aceleração
9. Exercícios de aplicação II
10. Movimento com aceleração constante
11. Movimento com desaceleração constante
12. Como calcular distâncias quando a aceleração é constante
13. Equações da velocidade e da distância para movimento com aceleração constante
14. Movimento com aceleração variável
15. Exercícios de aplicação III

VII – Segunda lei de Newton

1. Unidade de massa
2. A 2ª lei de Newton
3. Massa e inércia
4. Massa e peso
5. Exercícios de aplicação
6. Aplicação da 2ª lei de Newton ao movimento circular
7. Peso na Terra e na Lua
8. Massa inercial e massa gravitacional

Leitura suplementar: Newton e o *Principia*

VIII – Grandezas vetoriais

1. Representação de grandezas vetoriais
2. Operações com grandezas vetoriais
3. Multiplicação e divisão de uma grandeza vetorial por um número
4. Subtração de grandezas vetoriais
5. Exercícios de aplicação I
6. Aceleração vetorial
7. Forma vetorial da segunda lei de Newton
8. Aplicação da segunda lei de Newton ao movimento circular uniforme
9. Exercícios de aplicação II

IX – Quantidade de movimento

1. A medida da quantidade de movimento
2. Exercícios de aplicação I
3. A lei da conservação da quantidade de movimento
4. Exercícios de aplicação II
5. Ação e reação
6. Exercícios de aplicação III

X – Energia e trabalho

1. TRABALHO – Medida de energia transferida
2. Energia cinética
3. Relação entre trabalho e energia cinética

4. EXPERIÊNCIA – Energia cinética e velocidade na calha
5. Trabalho de força não paralela ao deslocamento
6. Cálculo do trabalho quando a força não é constante
7. Exercícios de aplicação

Leitura suplementar: Oceano – uma usina solar

XI – Conservação de energia

1. Energia potencial de uma mola
2. Trabalho e energia potencial
3. Energia potencial gravitacional
4. Energia mecânica
5. Exercícios de aplicação
6. Energia térmica
7. Teoria cinética dos gases

Leitura suplementar: O sentido do tempo

XII – Gravitação

1. A lei da gravitação universal
2. Exercícios de aplicação
3. Verificação da lei gravitacional no movimento de um satélite
4. Energia potencial do satélite
5. Cálculo da energia potencial do satélite
6. Imponderabilidade

Leitura suplementar: O universo em que vivemos

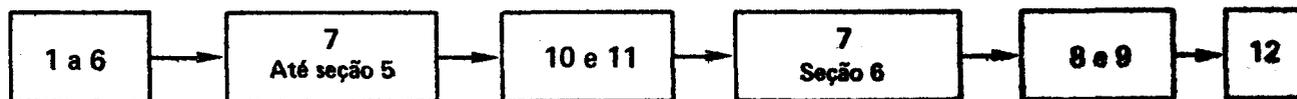
1. Primeiras impressões – a Via Láctea
2. Estrelas e nebulosas
3. Os arquipélagos do espaço
4. Nascimento, vida e morte das estrelas
5. A formação do sistema solar
6. Um pouco de Cosmologia

3. Número de aulas previstas

Capítulo	Texto principal	Exercícios de aplicação	Texto optativo	Leitura suplementar	Avaliação	Total
1	4	—	—	2	—	6
2	6	2	—	1/2	1	10
3	3	1	—	1	1	6
4	6	—	2	—	2	10
5	4	1	—	1	1	7
6	8	—	4	—	2	14
7	4	4	2	—	1	11
8	4	4	—	1	1	10
9	4	4	—	—	1	9
10	2	4	—	1	1	8
11	3	3	1,5	1/2	1	9
12	5	—	1	1	1	8
Total	53	23	11	8	13	108

4. Programação do curso

Normalmente, a programação de Mecânica deve seguir a seqüência de capítulos de 1 a 12. Entretanto, outra alternativa é possível: primeiramente é dada toda a parte escalar do curso e depois a vetorial. Nesse caso, a seqüência está mostrada no diagrama.



5. O laboratório de Mecânica

O conjunto experimental de Mecânica é vendido nos postos da FENAME embalado em um tubo de papelão. Esse material consiste em:

- 1 calha de alumínio com pista de aço
- 2 esferas de aço
- 1 cronômetro de areia
- 1 tubo de latão
- 2 molas espirais de aço
- 5 ganchos
- 1 frasco de óleo
- 3 cupilhas de reserva

Cada conjunto experimental é utilizado por um grupo de 3 a 5 alunos.

As indicações seguintes poderão ser úteis se o professor desejar construir seu próprio material experimental:

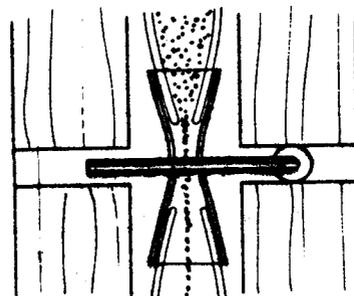
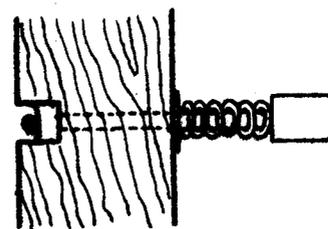
Calha de alumínio: Poderá ser substituída por qualquer pista constituída de uma parte inclinada e uma parte horizontal, desde que suas superfícies sejam bem lisas.

Cronômetro de areia: A leitura suplementar **A Clepsidra**, do capítulo 3 fornece a alternativa de construção de um "relógio de água". Além disso, também poderá ser construída uma versão em madeira do cronômetro de areia, como é mostrado nas figuras 1 e 2 do capítulo 3 e nas figuras ao lado.

Esferas de aço: São esferas de rolamentos facilmente encontráveis.

Molas de aço: São molas comuns, de comprimento normal de 5 a 10cm.

Ganchos: Podem ser feitos com pedaços de arame grosso de mesmo comprimento e dobrados em forma de "esse". Também podem ser substituídos por objetos iguais, de mesma massa: arruelas, porcas, etc.



vista lateral e frontal do interruptor

6. Teste de pré-requisitos

As questões abaixo podem servir como modelo para o teste de pré-requisitos que deve ser aplicado antes do início do curso:

1) Efetue as operações de adição:

- a) $45,74 + 2,35$ b) $0,163 + 0,04$ c) $1/4 + 1/3$

2) Efetue as operações de subtração:

- a) $82,9 - 1,5$ b) $0,984 - 0,3$ c) $1/5 - 1/10$

3) Efetue as operações de multiplicação:

- a) $2,35 \times 2,01$ b) $0,45 \times 0,32$ c) $2/3 \times 4/5$

4) Efetue as operações de divisão:

- a) $4,34 \div 2,1$ b) $0,24 \div 0,5$ c) $4/5 \div 2/3$

5) Determine os valores de Y em cada uma das equações:

a) $4 = 2Y$

b) $8 = 4 + 4Y$

c) $12 = 8 + Y/2$

6) Complete as frases abaixo:

a) 1 metro corresponde a centímetros.

b) 1 quilômetro corresponde a metros.

c) 1 centímetro corresponde a milímetros.

7) Complete as frases abaixo:

a) 1 hora corresponde a minutos.

b) 1 minuto corresponde a segundos.

c) 1 segundo corresponde a minuto.

8) Um operário diarista trabalha durante 20 dias e recebe Cr\$ 480,00. Quanto receberia esse operário se trabalhasse somente durante 12 dias?

A notícia publicada no capítulo 6 (página 6-13) se refere à primeira visita do avião supersônico Concorde ao Brasil em setembro de 1971. Leia aquela notícia e responda às perguntas de número 9 a 15.

“O Concorde quebrou na manhã de ontem um de seus próprios recordes, no vôo do Galeão para Viracopos, quando atingiu a velocidade “Mach 2” (duas vezes a do som), 22 minutos após a decolagem. O recorde anterior era de 25 minutos.

O protótipo francês do supersônico franco-britânico levantou vôo do Galeão às 9h09 e, sete minutos após, sobre o Atlântico, atingia a velocidade “Mach 1”. Em mais 15 minutos, à altitude de 15 mil metros, a velocidade do Concorde já era duas vezes maior que a do som. Às 9h50 estava em Porto Alegre, e às 10h19 sobrevoava a Capital, para pousar em Viracopos às 10h30”.

9) A que horas o avião levantou vôo? De que lugar?

10) O que significa uma velocidade “Mach 2”? E “Mach 1”?

11) Quanto tempo após a decolagem, o avião atingiu “Mach 1”? E “Mach 2”?

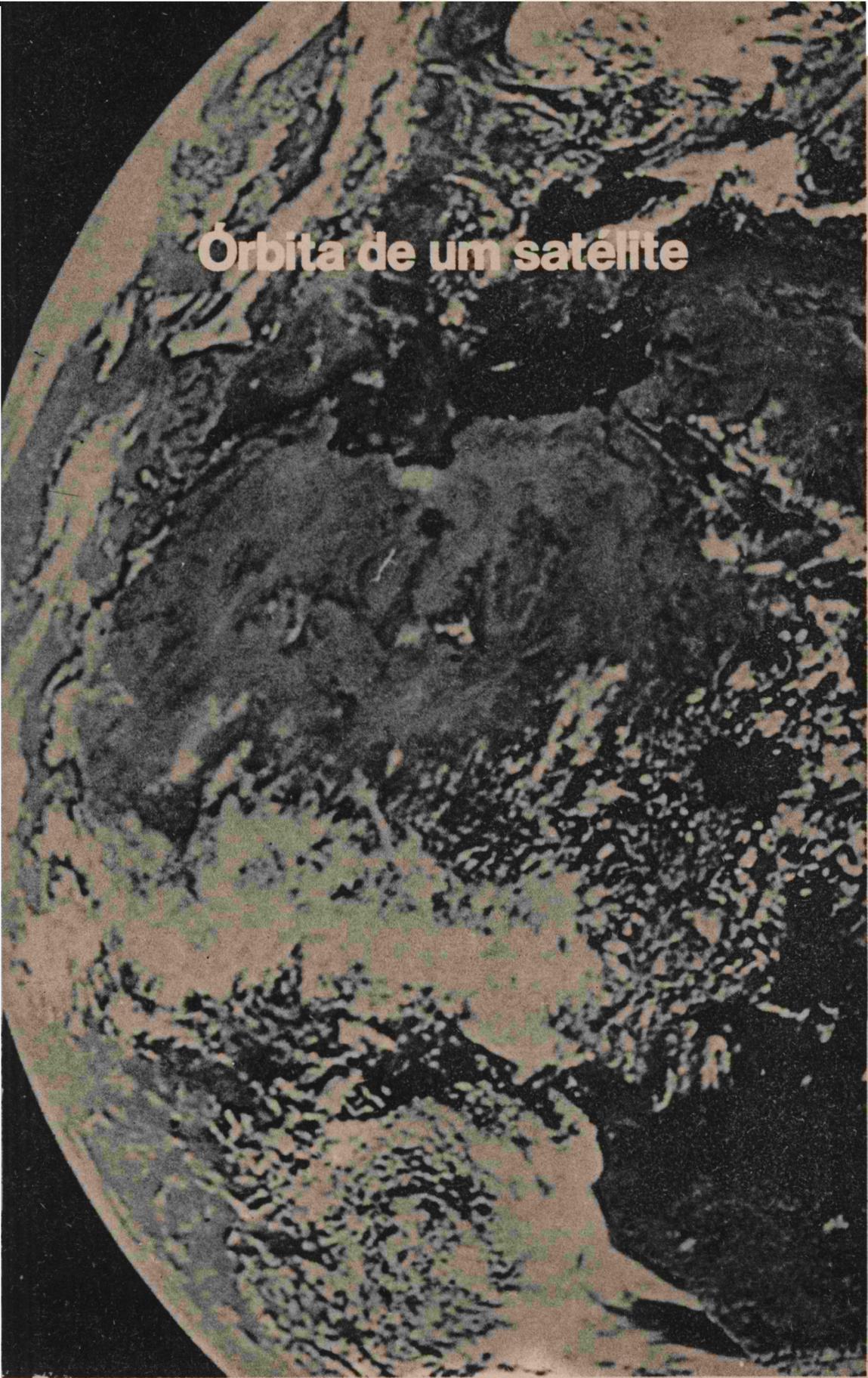
12) Qual era a altitude do Concorde quando atingiu “Mach 2”?

13) Quanto tempo o avião demorou de Porto Alegre até a Capital (São Paulo)?

14) A que horas o avião desceu? Em que lugar?

15) Qual foi a duração total do vôo?

Órbita de um satélite



1. Conteúdo

Introdução — 1-1.

1. Os pontos em um gráfico — 1-2
2. Órbita de um satélite — 1-3
3. Exercícios de aplicação — 1-6

Leitura Suplementar:

- A ciência na cultura — 1-9
- Ciência e tecnologia — 1-11
- A Física no Brasil — 1-13

2. Objetivos do capítulo

Ao fim do capítulo o aluno deverá ser capaz de:

- a) Dado um ponto em um sistema cartesiano ortogonal, escrever suas coordenadas.
- b) Dadas as coordenadas de um ponto, localizá-lo em um sistema cartesiano ortogonal.
- c) Dado um conjunto de pontos em um sistema cartesiano ortogonal, interpolar uma curva entre esses pontos.
- d) Explicar o que é trajetória de um corpo.

3. Pré-requisitos

Os pré-requisitos mínimos para que o aluno inicie o capítulo 1 e, por conseguinte, o PEF são:

- a) Ler e interpretar corretamente um texto.
- b) Efetuar as quatro operações algébricas.

É conveniente, portanto, que, antes de iniciar o estudo do capítulo 1, seja aplicado um teste de pré-requisitos. O modelo deste teste está na introdução de Mecânica do Guia.

4. Número de aulas previstas

- a) Para a apresentação do curso e aplicação do teste de pré-requisitos: 2
- b) Para o texto principal: 4
- c) Para a leitura suplementar: 2

5. Sugestões para avaliação

Dentre os exercícios propostos no capítulo 1, aqueles que servem para verificar se os objetivos foram alcançados, podendo servir de modelo para a organização de uma prova, são:

- E1 e E2 para o objetivo a;
- E3 para os objetivos b e c.

6. Bibliografia

Os livros abaixo referem-se aos assuntos das leituras suplementares e podem servir de subsídios para uma discussão com os alunos em classe, caso eles se interessem.

- 1 — BERNAL, J.D. **Sciences in history**. Middlesex, Penguin Books, 1969. 4 v.
- 2 — HAMBURGER, E. W. **Ciência, tecnologia e desenvolvimento**. São Paulo, Brasiliense, 1971.
- 3 — KOESTLER, A. **Os sonâmbulos**. São Paulo, Ibrasa, 1961.
- 4 — LOPES, J. L. **Ciência e libertação**. Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1969.
- 5 — PINTO, A. V. **Ciência e existência**. Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1969.
- 6 — SILVA, M. O. da R. e. **Ciência e humanismo**. São Paulo, EDART, 1969.
- 7 — ———. **A evolução do pensamento científico**. São Paulo,

Para uma leitura adicional a respeito de Cosmonáutica e Astronomia, podem ser consultados:

- 8 – ANUÁRIO astronômico. São Paulo, IAG, 1974.
- 9 – CANIATTO, R. **O céu**: projeto brasileiro de ensino de física. São Paulo. Edição da Universidade Estadual de Campinas [s.d.], v. 1.
- 10 – ENCICLOPÉDIA soviética; A-Z cosmonáutica. Moscou, Mir, 1969.
- 11 – JEANS, J. **O universo em que vivemos**. Rio de Janeiro, Zahar [s.d.].
- 12 – LEY, W. **Events in space**. New York, Mackay, 1969.

7. Comentários sobre o texto.

É importante que, antes de iniciar o capítulo 1, os alunos já conheçam o método de trabalho, a avaliação que vai ser empregada, e tenham lido as instruções de "Como utilizar este texto" do folheto introdutório.

Procure fazer que os alunos leiam o texto e escrevam as respostas das questões numeradas. Faça também que discutam suas respostas com os colegas e somente vejam as respostas impressas quando houver indicações para isso.

Introdução

O texto procura ressaltar a importância da ciência no mundo atual. Observe que o satélite Kosmos 159 entra no texto apenas como motivação; o objetivo de colocação de pontos em um sistema de eixos ortogonais, por exemplo, poderia ser alcançado com a utilização de quaisquer pontos e não, necessariamente, com os pontos de uma órbita.

1. Os pontos em um gráfico

O texto é simples. Entretanto, uma leitura sem atenção leva a muitos erros.

Observe se os alunos realmente lêem o texto e respondem às questões.

Nesta seção, não é importante que os alunos decorem o que é **origem**, **ordenada** e **abscissa**, mas saibam colocar pontos em um gráfico e determinar coordenadas de pontos.

Para trabalhar com o capítulo 1, bem como para todos os outros, **peça sempre aos alunos que utilizem lápis e borracha**; isto levará a um trabalho mais limpo e facilitará correções.

2. Órbita de um satélite

O objetivo principal desta seção é a construção completa da órbita do satélite. Os conceitos de órbita e trajetória e o aspecto da trajetória de um corpo são importantes e podem ser discutidos após a feitura da órbita; veja, para isso, as sugestões para discussões.

3. Exercícios de aplicação

Devem ser feitos e discutidos em classe.

Leitura suplementar:

- A ciência na cultura
- Ciência e tecnologia
- A Física no Brasil

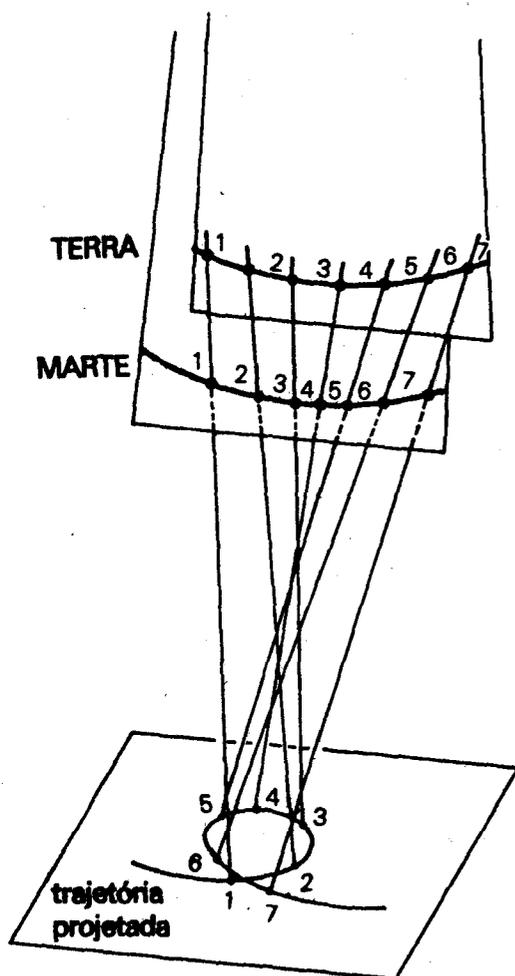
A leitura suplementar trata do papel da Física e da Ciência em geral, na sociedade e na cultura.

Apesar de não ser essencial para o prosseguimento do curso, é um assunto muito importante na vida de todos nós e é a justificativa para a existência do curso de Física na escola média.

Se houver tempo, a leitura poderá ser feita em casa e discutida em classe.

A figura mostra trechos das órbitas da Terra e de Marte em torno do Sol; a trajetória aparente de Marte, vista da Terra e projetada em um plano, forma um laço. Note-se que o laço se forma devido ao fato de as órbitas da Terra e de Marte não estarem no mesmo plano. Se as órbitas fossem coplanares, o efeito seria diferente: Marte pareceria caminhar num sentido, parar, andar no sentido oposto, parar novamente e reiniciar o movimento no sentido original, tudo isso sobre uma mesma linha.

figura A



8. Sugestões para discussão com os alunos

O fato de que todo movimento deve ser pensado como relativo a um certo sistema de referência não é salientado no texto. É, no entanto, um bom assunto para discussão se houver tempo e interesse.

Outras questões para debate em classe são:

P1 – Onde deveria estar um observador para ver a órbita da figura 4 como uma reta?

R: No plano da órbita.

P2 – Há um ponto de onde um observador veria a órbita como sendo circular?

R: Sim. Um observador, postado convenientemente no plano perpendicular à órbita e que passa pelo eixo maior da elipse, pode ver essa órbita de tal forma que o tamanho aparente do eixo maior se torne igual ao tamanho aparente do eixo menor.

P3 – Você percebe alguns movimentos das estrelas quando observa o céu, à noite? Em caso positivo, como elas se movem? Por que são chamadas estrelas fixas? Como se distinguem dos planetas?

P4 – Observando a figura da página 1-6, discuta as afirmações abaixo, referentes à relatividade do movimento:

a) As estrelas descrevem trajetórias circulares.

b) As estrelas estão paradas e a Terra gira em torno de um eixo.

Comentário: Essas questões são boas para despertar o aluno para o problema de sistemas de referência, uma vez que ambas as afirmações são corretas dependendo do sistema de referência adotado.

A figura da página 1-8 (movimento aparente dos planetas) pode despertar interesse nos alunos e provocar um longo debate. A figura A mostra o caso da órbita de Marte, que às vezes chega a formar um laço, o que também pode ser discutido. Algumas das questões para discussão podem ser:

P5 – Por que a trajetória aparente do planeta Mercúrio se apresenta da forma indicada na figura da página 1-8?

P6 – A trajetória aparente de Mercúrio chega a formar um laço. Por que isso ocorre?

Se sua escola fica próxima de uma das instituições citadas na página 1-13, pode ser organizada uma visita dos alunos ou convidado um professor para uma palestra. Observe que naquela lista foram omitidos o Instituto de Física da Universidade de Pernambuco, em Recife, cujo campo de pesquisa é a Física dos Sólidos e o Instituto de Física do Pará, em Belém, cuja especialidade é a Geofísica.

Ao término da discussão do capítulo 1, faça a ligação com o capítulo seguinte, que trata de medidas de espaço, mostrando ao aluno que, colocados os pontos no gráfico, precisamos conhecer a distância entre eles, salientando a importância de saber medir distâncias, uma vez que todo o curso será experimental e, portanto, depende das medidas realizadas.

9. Sugestões para outras experiências

Não há.



Medi de espas

1. Conteúdo

Introdução – 2-1

1. Medida do comprimento de um segmento – 2-3
2. A medida de um mesmo objeto – 2-8
3. A média – O valor mais provável – 2-9
4. Cálculo e representação da média – 2-9
5. Medições de objetos distintos – 2-11
6. Distância do satélite à Terra – 2-12
7. Potências de dez – 2-14
8. Exercícios de aplicação – 2-16

Leitura Suplementar:

A primeira vez que se mediu o raio terrestre – 2-21

2. Objetivos do capítulo

Ao fim do capítulo, o aluno deverá ser capaz de:

- a) Dado um segmento de reta, medir o comprimento desse segmento com uma régua calibrada numa escala qualquer e escrever o resultado dentro dos critérios estipulados.
- b) Dado o resultado escrito corretamente de uma medida de comprimento, dizer qual o algarismo duvidoso desse resultado.
- c) Dada uma série de resultados de medidas de um mesmo objeto, feita com instrumentos diferentes, dizer qual é o mais preciso e justificar.
- d) Dada uma série de resultados de medidas, dizer qual é a menor divisão das escalas dos instrumentos utilizados.
- e) Reconhecer a menor divisão da escala de um instrumento de medida qualquer e ler corretamente as medidas indicadas por esses instrumentos.
- f) Dada uma série de resultados de medidas, reconhecer a média como o valor que melhor representa a medida efetuada.
- g) Dadas as medidas de uma série de objetos diferentes efetuadas com um mesmo instrumento de medida, dizer se os comprimentos são iguais ou não e justificar.
- h) Conhecida a escala de uma figura, determinar o valor real da distância entre dois pontos dessa figura.
- i) Dada uma distância real e a escala de transformação, representar essa distância, em escala, em uma figura.

3. Pré-requisitos

Para o bom desenvolvimento deste capítulo é necessário que o aluno conheça as unidades de distância e saiba fazer transformações de uma unidade para outra, além de fazer as quatro operações aritméticas fundamentais sem maiores dificuldades.

4. Número de aulas previstas

- a) Para o texto principal: 6
- b) Para os exercícios de aplicação: 2
- c) Para a avaliação: 1
- d) Para a leitura suplementar: parte de uma aula.

5. Sugestões para avaliação

Dentre os exercícios propostos, aqueles que servem como modelo para a organização de uma prova são:

- E1 e E8 para avaliar o objetivo a;
- E3 (b) e E9 para o objetivo b;
- E3 (c) e E7 para o objetivo d;
- E4, E5 e E6 para o objetivo e;
- E2 para o objetivo g;
- E12 para o objetivo h.

6. Bibliografia

1 – PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE. **Física**. 6. ed. São Paulo, EDART, 1970. v.1, cap. 4.

É um texto que trata principalmente de medidas e erros.

7. Comentários sobre o texto

Introdução

A introdução pretende despertar os alunos para o problema de efetuar medidas. Observe que eles vão trabalhar com a órbita do satélite desenhada no capítulo 1; esclareça esse fato, com antecedência, e peça que tragam o primeiro fascículo para as aulas do capítulo 2, além da régua de vinil que acompanha os textos.

A régua de vinil é frágil. Não deve ser dobrada, enrolada ou mordida. Sua flexibilidade e precisão são características importantes para os capítulos seguintes. Em caso de perda, pode-se improvisar uma boa régua com uma tira de papel milimetrado.

1. Experiência – Medida do comprimento de um segmento

O processo utilizado para ressaltar a incidência de erros na execução de medidas é o preenchimento de tabelas com medidas feitas por diversos alunos. Fique atento para que estes estejam em "fase", pois só com o preenchimento da tabela, que deve ser desenhada no quadro pelo professor, é que o aluno pode prosseguir a leitura do texto.

Observe se, na figura 1 e na figura 2, os instrumentos de medida utilizados são realmente os que estão impressos no texto; a tendência é os alunos medirem com a sua própria régua.

Por uma coincidência, pode ocorrer que os dez alunos, escolhidos para fornecer o resultado de suas medidas, tenham obtido o mesmo resultado; tente escolhê-los de modo que isso não aconteça.

Procure fazer com que os alunos meçam individualmente, sem tomar conhecimento das medidas feitas pelos colegas.

Verifique se as diversas tabelas estão sendo preenchidas nas unidades pedidas.

No final da seção, faça uma discussão salientando o que são a incerteza de uma medida, a precisão do instrumento e como se deve escrever o resultado de uma medida. O texto é um pouco longo e se o aluno não for assistido pode perder-se nos detalhes e não adquirir uma visão global do capítulo.

2. Experiência – Medida de um mesmo objeto

Nessa experiência o aluno vai aplicar todos os conhecimentos adquiridos anteriormente. Se for possível, peça que tragam, pelo menos, uma lâmina de barbear, por grupo.

3. A média – O valor mais provável, 4. Cálculo e representação da média e 5. Medições de objetos distintos

Nestas seções o aluno aprende como calcular e como representar a média de uma série de medidas, usando-a como valor mais provável. O texto é bem claro, e o assunto não deve ser novidade; portanto, deixe-os trabalhar normalmente com ele. Se o professor perceber que o tempo não é suficiente, pode mandar que os alunos façam esses itens em casa.

6. Distância do satélite à Terra — Escala

O objetivo desta seção é ensinar os alunos a trabalhar com escalas. Para isso, eles vão novamente utilizar o desenho do capítulo 1; avise-os para que tenham este texto à mão.

7. Potências de dez

Esta seção tem por objetivo suprir alguma deficiência que a classe possa ter na utilização de potências de dez para a representação de uma medida. É importante que os alunos se habituem a essa representação, pois nos capítulos seguintes ela será largamente utilizada. Esta seção também pode ser feita pelo aluno em casa, se o professor achar conveniente.

8. Exercícios de aplicação

Se o número de aulas semanais for três ou mais, é conveniente que todos os exercícios sejam feitos em classe; caso contrário, os alunos poderão fazer em classe os exercícios E1, E2, E4, E5, E10 e E12, deixando os restantes para fazer em casa.

Leitura suplementar:

A primeira vez que se mediu o raio terrestre

É uma leitura em que o aluno encontra um pouco de história e vê como um raciocínio correto, partindo de uma premissa falsa, leva a conclusões erradas; além disso, apresenta unidades de medidas usadas por volta de 434 a.C., assim como métodos de efetuar medidas. Se o professor achar conveniente, ela poderá ser lida em casa e discutida em classe.

8. Sugestões para discussão com os alunos

- a) A tabela dos **valores aproximados de algumas distâncias em metros** da página 2-14 constitui um tema de discussão em que se pode explorar o significado de galáxias, ano-luz, átomo, etc., e comparar tamanhos.
- b) A leitura suplementar do capítulo 3, **Padrões de medidas**, pode ser discutida parcialmente, envolvendo principalmente padrões de comprimento.

9. Sugestões para outras experiências

- a) Medir a espessura de uma folha de caderno com a régua de vinil. Nesse caso, deve-se medir a espessura de um número grande de folhas, 150 por exemplo, e dividi-la pelo número de folhas. A hipótese de que a espessura das folhas é uniforme pode ser discutida pelos alunos.
- b) Utilizar aparelhos de medidas como micrômetros, paquímetros etc., que a escola eventualmente possua, para medir a espessura de um fio de cabelo, de uma folha de papel, etc.
- c) Realizar medidas por triangulação. Este é o processo de medida utilizado na leitura suplementar para a determinação do raio terrestre.
- d) No guia de laboratório do volume 1 do P.S.S.C. há experiências de medidas de distâncias utilizando o **medidor de alcances**, o **visor de paralaxe** e o **micrômetro óptico**, que podem ser realizadas, desde que a escola possua tais equipamentos. Como esses equipamentos são de construção relativamente simples, eles poderão eventualmente ser construídos na própria escola.



Medidas de tiempo

3

1. Conteúdo

Introdução – 3-1

1. Cronômetro de areia – Calibração e utilização – 3-2
2. Período de um pêndulo – 3-6
3. Exercícios de aplicação – 3-8

Leitura suplementar:

A Clepsidra – 3-11
Padrões de Medidas – 3-11

2. Objetivos do capítulo

Ao fim do capítulo o aluno deverá ser capaz de:

- a) Calibrar um cronômetro de areia.
- b) Medir, em segundos, o intervalo de tempo entre dois eventos, usando o cronômetro de areia e o gráfico de calibração.
- c) Transformar, de uma para outra, as unidades de tempo mais comumente usadas: hora, segundo, minuto, dia, mês e ano.

3. Pré-requisitos

Além dos capítulos anteriores não é necessário nenhum requisito adicional para este capítulo.

4. Número de aulas previstas

- a) Para o texto principal: 3
- b) Para os exercícios de aplicação: 1
- c) Para a avaliação: 1
- d) Para a leitura suplementar: 1

5. Sugestões para avaliação

Dentre os exercícios propostos, aqueles que servem como modelo para a organização de uma prova são:

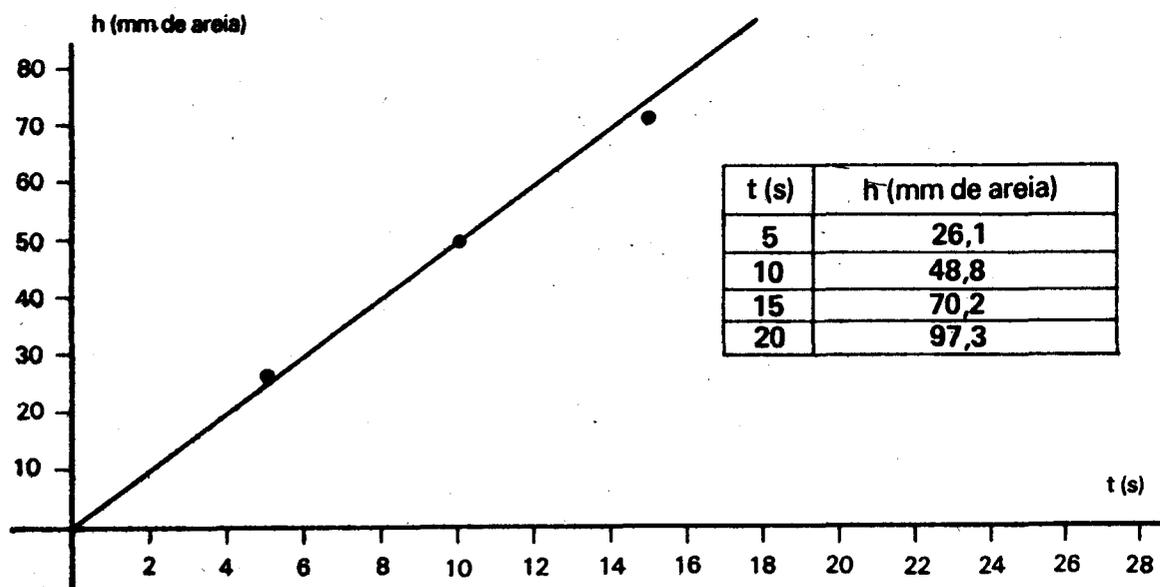
E1 – para avaliar o objetivo b;

E6 – para avaliar o objetivo c.

6. Bibliografia

- 1 – HURLEY, P. M. **Qual a idade da Terra?** Trad. José Moacir Vianna Coutinho. São Paulo, EDUSP, 1963.
- 2 – PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE. **Física**. 6. ed. São Paulo, EDART, 1970. v. 1, cap. 2.

figura B



7. Comentários sobre o texto

Introdução

Nessa parte do curso é indispensável que os alunos trabalhem em grupo. Se a escola não possuir um laboratório, o professor pode, sem qualquer problema, desenvolver o trabalho em sala comum.

Em muitos casos, essa será a primeira vez que o aluno trabalhará com material experimental; cabe então ao professor alertá-lo para os cuidados que deverá ter com o material. O cronômetro de areia é um instrumento sensível que não deve receber choques violentos, como, por exemplo, ser deixado cair no chão ou mesmo sobre a mesa.

1. Experiência – Cronômetro de areia: calibração e utilização

Para essa experiência é necessário que cada grupo disponha de um relógio comum que marque segundos e de um cronômetro de areia.

Cada grupo irá calibrar o cronômetro que utilizará durante o curso; é conveniente, portanto, colocar etiquetas adesivas numeradas nos cronômetros para facilitar sua identificação em futuras utilizações.

Observe que para diminuir a imprecisão da leitura, os cronômetros devem ser lidos em posição vertical.

Uma sugestão para a obtenção dos dados necessários ao preenchimento da tabela 1 (página 3-3) é que cada participante do grupo efetue ao menos uma medida. Esse procedimento, além de possibilitar o manuseio do cronômetro por todos, ajuda a minimizar os vícios de medida de cada um.

Para que os alunos entendam melhor porque cada cronômetro deve possuir seu gráfico de calibração, discuta com eles o fato de o escoamento de areia ser diferente em cada cronômetro. Esse fato se torna mais evidente, se as alturas de areia obtidas, em cada grupo, para o mesmo intervalo de tempo (10 segundos, por exemplo), forem comparadas entre si.

Terminada a experiência, o professor deve discutir com a classe as vantagens do cronômetro de areia, em relação a um relógio comum, para medidas de tempos curtos (sua precisão é de cerca de 0,3s) e a importância do gráfico de calibração. Como o cronômetro será utilizado em outros capítulos, o gráfico de calibração deve estar sempre à mão. Uma sugestão é guardar uma cópia do gráfico junto com o cronômetro, **após** todos os alunos terem feito suas calibrações.

Um gráfico de calibração típico do cronômetro de areia está mostrado na figura B.

2. Período de um pêndulo

O objetivo principal desta experiência é treinar o aluno no uso do cronômetro de areia e do gráfico de calibração.

Se o professor perceber que, em sua sala de aula, não é possível que cada grupo monte um pêndulo, poderá montar apenas um, que seja visível por todos os alunos.

Para a construção de um pêndulo, na falta de barbante, um cordão de sapato serve perfeitamente.

Observe que o período de um pêndulo independe da amplitude, desde que ela não ultrapasse mais ou menos 15° , ou seja, o período independe da amplitude apenas para pequenas oscilações.

3. Exercícios de aplicação

Os exercícios E1, E3 e E4 devem ser feitos em classe. Os demais exercícios podem ser feitos em casa, se não houver tempo em classe.

A (km)	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0
B (h)	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0

Tabela 1

Exercício suplementar:

Duas grandezas A e B estão relacionadas conforme a tabela 1:

- Construa, usando uma folha de papel milimetrado, o gráfico de A em função de B (A no eixo das ordenadas e B no eixo das abscissas), na seguinte escala:
10mm – 2,0km
20mm – 1,0h
- Quanto representa, no eixo das ordenadas, a menor divisão da escala?
- Quanto representa, no eixo das abscissas, a menor divisão da escala?
- Qual o valor de B, quando A for igual a 4,4km?
- Qual o valor de A, quando B for igual a 3,7 horas?

Leitura suplementar:

A clepsidra

É uma sugestão de trabalho experimental para o aluno realizar em casa, se tiver interesse.

Padrões de medidas

Dá uma visão geral do sistema internacional de padrões de medidas e é um assunto interessante para discussão em classe.

8. Sugestões para discussão com os alunos

O ponto mais importante para discussão é a utilização do cronômetro de areia e do gráfico de calibração. Geralmente, muitos alunos não compreendem logo a necessidade do gráfico de calibração; outros insistem em utilizar seus próprios relógios. Para sanar essas dificuldades, peça-lhes, por exemplo, que comparem as medidas de pequenos intervalos de tempo efetuadas com relógio comum e com o cronômetro de areia.

Um tópico interessante para debate é a utilização do pêndulo como instrumento para medir intervalos de tempo. A leitura suplementar sobre padrões de medidas também poderá ser discutida.

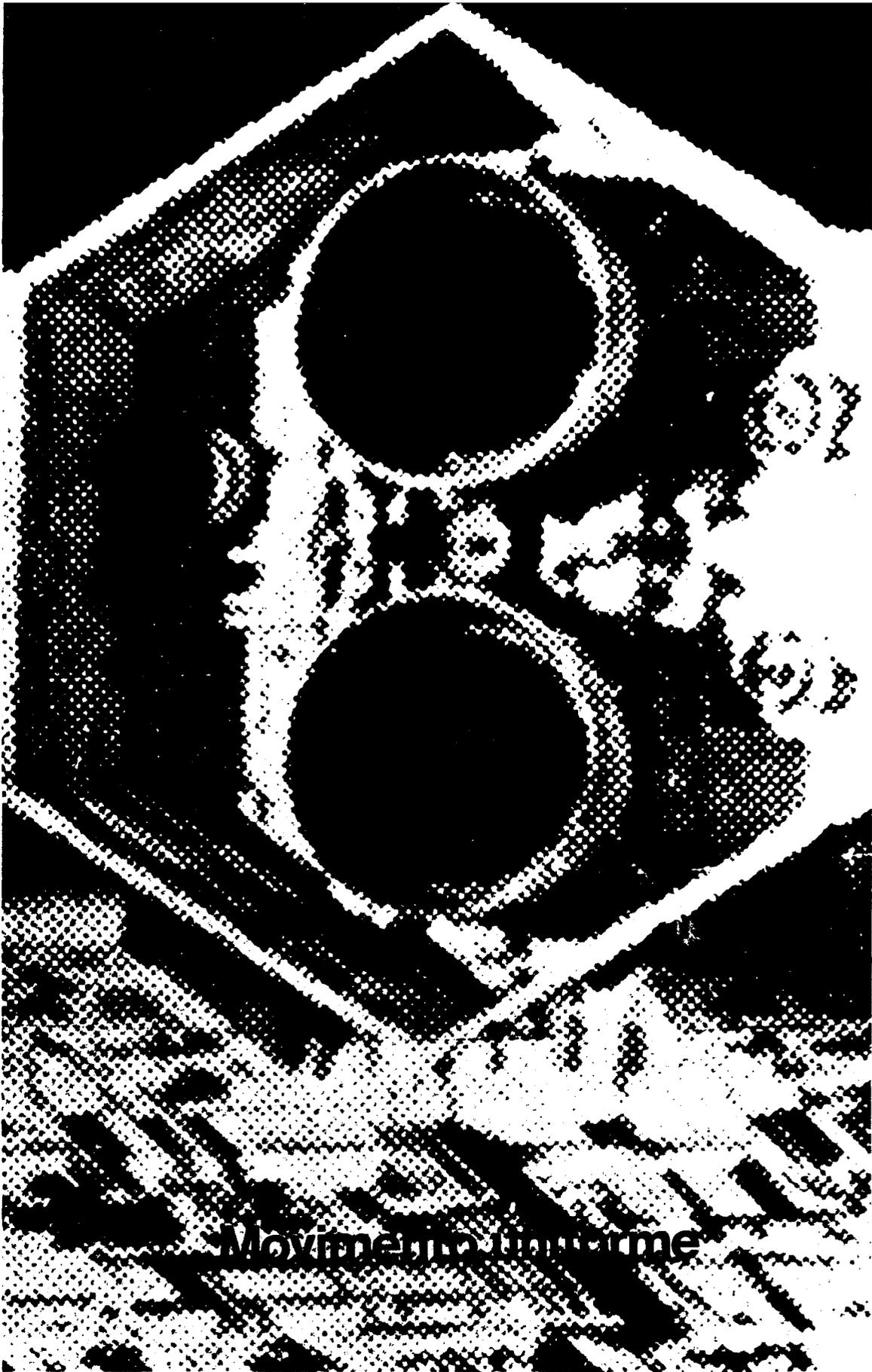
9. Sugestões para outras experiências

A experiência com o pêndulo pode ser retomada para a verificação da dependência do período com a massa do corpo pendurado e com o comprimento do fio.

Para isso, peça aos alunos que meçam os períodos de pêndulos de igual comprimento e corpos suspensos de massas diferentes (pode ser usado o mesmo fio e substituídos os corpos suspensos). **Os períodos medidos não devem depender das massas.**

Para a determinação da relação entre o período e o comprimento do fio, a massa do corpo suspenso deve ser mantida constante e apenas variado o comprimento do fio. Nesse caso, como a relação obtida não é linear mas quadrática, é suficiente que o aluno apenas elabore um gráfico dessa dependência.

Em cada caso, para a medida do período de oscilação, o aluno deve proceder como está explicado no texto, isto é, medir 10 oscilações completas e calcular a média aritmética.



Movimento Unifame

1. Conteúdo

Introdução — 4-1

1. Experiência — Medida da velocidade — 4-3
2. A velocidade varia em AB? — 4-4
3. Uma fotografia estroboscópica — 4-6
4. O espaço em função do tempo — 4-9
5. Exercícios de aplicação — 4-12
6. Grandezas diretamente proporcionais (texto optativo) — 4-19

2. Objetivos do capítulo

- a) Determinar com régua e cronômetro a velocidade de um corpo.
- b) Verificar, usando régua e cronômetro, se a velocidade de uma esfera é constante quando rola em uma superfície horizontal.
- c) Transformar de uma para outra, as unidades mais comuns de velocidade, ou seja, m/s, km/h, cm/s, etc.
- d) Dada a fotografia estroboscópica do movimento de um corpo com velocidade constante e a escala de medida, determinar a velocidade real do corpo.
- e) Dada a fotografia estroboscópica do movimento de um corpo com velocidade constante e a escala de medida, construir o gráfico que representa o espaço em função do tempo para o movimento do corpo.
- f) Dado o gráfico que representa o espaço em função do tempo para o movimento de um corpo com velocidade constante, analisar esse gráfico, calculando sua velocidade, o espaço percorrido em um dado intervalo de tempo e o intervalo de tempo decorrido para percorrer um dado espaço.
- g) Operar com a expressão $e = v \times t$.
- h) Discriminar, entre vários gráficos de espaço em função do tempo ($e \times t$), os que representam movimento uniforme e justificar.
- i) Dada uma tabela de resultados onde estão relacionadas duas grandezas, escolher uma escala conveniente e construir o gráfico respectivo.
- j) Discriminar, entre vários gráficos, aqueles que representam grandezas diretamente proporcionais.
- k) Dado o gráfico que relaciona duas grandezas diretamente proporcionais, calcular a constante de proporcionalidade entre essas grandezas.
- l) Discriminar, entre várias relações matemáticas, aquelas que representam grandezas diretamente proporcionais.

3. Pré-requisitos

- Transformar unidades de espaço e de tempo.
- Medir distâncias com uma régua milimetrada.
- Utilizar o cronômetro de areia e seu gráfico de calibração.
- Reconhecer que medidas que diferem apenas na casa decimal do algarismo duvidoso podem ser consideradas iguais.
- Efetuar operações algébricas com resultados de medidas, escrevendo corretamente os algarismos significativos.
- Colocar pontos em um gráfico.
- Interpolar uma curva entre os pontos colocados em um sistema de eixos ortogonais.

4. Número de aulas previstas

- a) Para o texto principal: 6
- b) Para a avaliação: 2
- c) Para o texto optativo: 2

5. Sugestões para avaliação

Objetivo **c**: E12

Objetivo **d**: itens "a" e "b" de E14

Objetivos **f**: E8, E9 e E10

Objetivo **g**: E16

Esses exercícios poderão servir como modelo para a organização de uma avaliação ao nível do capítulo.

6. Bibliografia

- 1 – GRUPO DE ESTUDOS EM TECNOLOGIA DE ENSINO DE FÍSICA. **Física auto-instrutivo – FAI**: texto programado para o 2.º grau. São Paulo, Saraiva, 1974. v. 1, cap. 3.
- 2 – PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE. **Física**. 6. ed. São Paulo, EDART, 1970. v.1, cap. 5; v. 3, cap. 20.
- 3 – RESNICK, R. & HALLIDAY, D. **Física**. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1965. v. 1, cap. 3.

7. Comentários sobre o texto

Introdução

A parte introdutória do capítulo procura apresentar o conceito de velocidade, tentando levar o aluno, intuitivamente, ao conceito de velocidade como uma razão entre espaço e tempo. Todas as situações descritas procuram fazer com que o aluno calcule a velocidade sem usar qualquer fórmula, mas empregando seu próprio conhecimento.

No final da introdução o professor deve discutir, detalhadamente, com os alunos, para verificar se realmente as idéias colocadas ficaram claras, pois elas serão indispensáveis para a experiência que vem em seguida; explique também o objetivo dessa experiência.

1. Experiência – Medida de velocidade

2. A velocidade varia em AB ?

A experiência tem por objetivo fazer com que o aluno meça a velocidade da esfera na parte horizontal da calha.

Essa experiência poderá causar alguns problemas para o professor que não dispõe de sala ambiente (laboratório). Normalmente não é possível colocar a calha sobre a carteira, pois nessa situação é difícil que ela fique na horizontal. Assim, as calhas devem ser colocadas no chão, sobre os parapeitos de janelas, no beiral do quadro-negro, na mesa do professor, etc.

Antes de iniciar a experiência, faça os alunos observarem os quatro furos (**F, G, H, I**) que servem para mudar a inclinação da pista e, conseqüentemente, variar a velocidade da bolinha na parte horizontal. Com exceção da posição **I**, qualquer uma das outras posições serve para se realizar a experiência; entretanto, a mais conveniente é a **G** pois as respostas dadas correspondem a esta posição.

O professor deve salientar que o nivelamento da calha, sua limpeza, o cuidado nas medidas, a forma de soltar a esfera, são fundamentais para um bom resultado da experiência.

A bolinha deve ser solta sempre do mesmo ponto e não deve ser empurrada.

No final da experiência é interessante discutir com os alunos os resultados encontrados. A experiência é um pouco longa e os alunos podem perder-se nos detalhes e esquecer o objetivo principal.

Sugestão de tabela a ser colocada no quadro-negro para discussão da seção 2: "A velocidade varia em AB?"										
GRUPOS	Dist. AB	Tempo AB	VAB	Dist. AC	Tempo AC	VAC	Dist. CB	Tempo CB	VCB	A velocidade na parte horizontal da calha é constante?
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

Uma boa maneira de o professor ter uma visão geral dos resultados é colocar no quadro-negro uma tabela para que os grupos preencham, como está mostrado no Guia.

Com uma tabela desse tipo, o professor terá uma visão global de como os alunos estão escrevendo os resultados de medidas de tempo, distância e resultados de operação.

O texto não trata de resultados de operações com medidas, dessa forma, o professor poderá sugerir normas de procedimento para a obtenção de resultados de operações que envolvem medidas, cada vez que se fizer necessário. **No final deste capítulo do Guia existe um texto suplementar que trata desse assunto; seria conveniente, sempre que possível, o professor mostrar à classe como operar com resultados de medidas.** Achamos mais conveniente que esse assunto não fosse introduzido de uma maneira formal, logo de início, mas em pequenas doses, quando fosse necessário.

Na última coluna da tabela aparecerão conclusões, tais como: "sim", "não", "pode ser". O professor deve verificar se os grupos que disseram **não** fizeram-no pelo fato de os resultados não serem iguais, mas apenas próximos entre si, ou se erraram grosseiramente as medidas. Isto poderá levar a uma discussão das causas dessas discrepâncias, tais como: atrito, erros nas medidas de tempo e de distâncias, nivelamento, limpeza da calha, não soltar a bola do mesmo lugar, dar um empurrão inicial na bola, etc.

Em seguida, faça uma preparação para a próxima experiência (foto estroboscópica) explicando que os objetivos são os mesmos da anterior, mas que se eliminou a maior parte dos fatores que contribuem para erros nas medidas.

3. Uma fotografia estroboscópica

Esta experiência tem por objetivo determinar o valor da velocidade utilizando a régua e as informações contidas na foto estroboscópica. Para atingir esse objetivo, o aluno vai determinar a velocidade da esfera na parte horizontal da calha, verificando se ela é constante ou não. Outro objetivo é familiarizar o aluno com as fotografias estroboscópicas, que serão muito utilizadas durante o curso.

Seria conveniente que, no final da experiência, o professor colocasse no quadro-negro uma tabela para ser preenchida por um elemento de cada grupo (tabela na página seguinte).

Da mesma forma que na experiência anterior, na última coluna da tabela aparecem resultados tais como: "sim", "não", "talvez". O professor poderá verificar se as respostas são devidas a erros grosseiros nas medidas ou a diferenças que podem normalmente acontecer em resultados de medidas.

Uma possível forma de comparar os resultados dessa experiência com os da anterior seria colocar ambas as tabelas no quadro-negro, lado a lado. Assim, o professor poderia mostrar que as discrepâncias na segunda experiência são menores que na primeira e salientar os fatores que contribuem para essas discrepâncias e que foram eliminados, tais como: limpeza, inclinação da calha, erro na medida de tempo, etc. Poderia concluir afirmando que, se todos esses fatores fossem eliminados, a velocidade da bolinha seria constante na parte horizontal da calha. Esse fato será de muita importância para a compreensão do princípio da inércia, dado no capítulo 6.

4. O espaço em função do tempo

O aluno irá construir um gráfico do espaço em função do tempo, calcular velocidade a partir do gráfico e verificar que, se o gráfico $e \times t$ for uma reta, o movimento será uniforme.

O aluno deverá saber calcular a velocidade quando são dados o espaço e o tempo.

No final dessa seção cabe um debate com o objetivo de abordar as características do movimento uniforme.

5. Exercícios de aplicação

Se o professor não dispuser de tempo, ao menos os exercícios seguintes devem ser resolvidos em classe: E1, E2, E3, E8, E10, E13, E17 e E20.

E2 – Faça estimativas das seguintes velocidades:

a) velocidade de uma formiga.

b) velocidade de um homem andando.

Comentário: Estas estimativas têm por objetivo fazer com que o aluno pense sobre o que é velocidade e relacione espaço e tempo. Se os alunos tiverem dificuldades, o professor pode sugerir que eles observem quanto uma formiga caminha durante certo tempo medido pelo cronômetro de areia. Para estimar a velocidade de um homem andando, eles poderão observar quantos passos um colega dará durante 5 segundos e, estimando o tamanho do passo, avaliar a velocidade.

E17 – Um carro parte de **A**, dirigindo-se para **B**, mantendo velocidade constante de 80km/h. Meia hora mais tarde, um segundo carro parte de **A**. Se a distância entre **A** e **B** é de 240km/h, para que cheguem juntos em **B**, o segundo carro deve desenvolver uma velocidade constante de:

a) 80km/h b) 96km/h c) 120km/h d) 160km/h e) 240km/h

Comentário: Geralmente o caminho que os alunos seguem nesta solução é verificar primeiro quanto tempo o móvel **A** leva para percorrer os 200km que faltam quando **B** inicia o movimento e utilizar esse tempo para calcular a velocidade de **B**:

$$240\text{km} - 40\text{km} = 200\text{km}$$

$$200\text{km} \div 80\text{km/h} = 2,5\text{h}$$

$$240\text{km} \div 2,5\text{h} = 96\text{km/h}$$

Sugestão de tabela a ser colocada no quadro-negro para discussão da seção 3: "Uma fotografia estroboscópica".								
GRUPOS	Velocidade da bolinha nos trechos							A velocidade da bolinha é constante na parte horizontal da calha?
	AG	AB	BC	CD	DE	EF	FG	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Uma outra solução, que é interessante para debate, é a construção e análise do gráfico $e \times t$ que representa o movimento dos dois carros.

6. Grandezas diretamente proporcionais (texto optativo)

Este texto optativo não está completamente desligado do texto principal, apesar da aparência em contrário; na verdade, nos próximos capítulos o aluno vai trabalhar com gráficos e utilizar informações contidas nessa leitura. Portanto, se realmente o professor não tiver tempo para fazê-la em classe, pode pedir que os alunos leiam o texto em casa; de qualquer modo, deve dedicar parte de uma aula para discussão a respeito. Nessa leitura é dado, também, o conceito de densidade, que não mais aparece no curso.

8. Sugestões para discussão com os alunos

No final deste capítulo do Guia existe uma leitura suplementar sobre algarismos significativos da qual o professor pode retirar tópicos para discussão e orientar os alunos a respeito de como operar com medidas.

9. Sugestões para outras experiências

Analisar a seqüência fotográfica mostrada na página 4-10 e determinar o período de rotação do Sol em torno de seu eixo a partir da observação do movimento de manchas solares.

Leitura suplementar:

Algarismos significativos

O assunto desta leitura suplementar é importante para o trabalho do aluno durante todo o curso. No entanto, achamos que ele não deve ser introduzido de uma maneira formal, mas à medida que se fizer necessário, durante o trabalho. O texto foi escrito em linguagem própria ao aluno, podendo ser impresso e distribuído, se o professor achar conveniente.

No capítulo 2 você aprendeu que ao escrever o resultado de uma medida, deve fazê-lo até o algarismo duvidoso e apenas até ele. Em uma medida efetuada com uma régua milimetrada, o último algarismo que deve ser escrito é o que está na casa dos décimos de milímetros; é apenas até aí que a régua dá informação.

Se você escrever algarismos além do duvidoso, eles não terão nenhum significado, pois você não tem informações a respeito deles. Esses algarismos não serão **significativos** e, além disso, darão a quem os ler uma idéia falsa da precisão de sua medida.

Assim, **os algarismos significativos de uma medida são aqueles em relação aos quais se tem certeza e mais o algarismo duvidoso**; este último é significativo, pois, apesar de ser duvidoso, foi encontrado através de uma estimativa cuidadosa, e não foi simplesmente "chutado".

Quando se trata de uma medida direta, é uma tarefa simples determinar os algarismos significativos, ou seja, quando conhecermos a precisão do aparelho de medida utilizado, podemos determinar, de antemão, a casa decimal do algarismo duvidoso.

Os problemas começam a surgir quando efetuamos uma **medida indireta**, isto é, uma medida que se obtém através de operações matemáticas efetuadas com os resultados de outras medidas.

Dessa maneira, suponhamos que, para determinar a velocidade de um corpo, você tenha efetuado medidas de espaço e de tempo, obtendo valores de 98cm e 1,2s. Para calcular a velocidade é necessário dividir a distância pelo intervalo de tempo. Essa divisão dá:

$$\frac{98 \text{ cm}}{1,2 \text{ s}} = 81,6666\dots \text{ cm/s}$$

Aqui surge um problema. Como escrever corretamente esse resultado? Quantos algarismos devem aparecer no quociente? Qual é o algarismo duvidoso desse resultado?

Tentaremos, em seguida, responder a essas perguntas.

1. Adição e subtração de medidas

Quando adicionamos ou subtraímos duas medidas, quantos devem ser os algarismos significativos do resultado? Vejamos inicialmente o que acontece com a adição.

As arestas de dois cubos de madeira A e B foram medidas com instrumentos diferentes, obtendo-se os resultados $a = 10,354\text{cm}$ e $b = 8,52\text{cm}$, respectivamente. Para determinar a altura dos dois blocos quando eles estão empilhados, devemos efetuar a operação $10,354\text{cm} + 8,52\text{cm}$. Se adicionássemos simplesmente as duas medidas, teríamos:

$$\begin{array}{r} 10,354 \text{ cm} \\ 8,52 \text{ cm} \\ + \\ \hline 18,874 \text{ cm} \end{array}$$

Mas, será que o resultado $18,874\text{cm}$ é correto? Vejamos. O algarismo 2 do resultado $8,52\text{cm}$ é duvidoso, ou seja, ele poderia ser realmente um outro algarismo, como por exemplo 1 ou 3.

Nesses casos, teríamos:

$$\begin{array}{r} 10,354 \text{ cm} \\ 8,51 \text{ cm} \\ \hline 18,864 \text{ cm} \end{array} \quad + \quad \text{ou} \quad \begin{array}{r} 10,354 \text{ cm} \\ 8,53 \text{ cm} \\ \hline 18,884 \text{ cm} \end{array}$$

Nos resultados $18,874\text{cm}$, $18,864\text{cm}$ e $18,884\text{cm}$, as diferenças aparecem na 2ª casa decimal. Percebemos então que, apesar de uma das parcelas da adição ter o algarismo duvidoso na terceira casa decimal, a imprecisão (ou seja, o algarismo duvidoso) da soma aparece na segunda casa decimal. Pelo critério que adotamos, devemos escrever uma medida só até o primeiro algarismo duvidoso; portanto, não tem sentido escrever o algarismo que aparece na terceira casa decimal da soma.

Assim, o resultado da medida (indireta) da altura dos dois tubos empilhados é $18,87\text{cm}$, o valor obtido do arredondamento de $18,874\text{cm}$.

Verificamos então que **o algarismo duvidoso da soma de duas ou mais medidas está na mesma casa decimal do algarismo duvidoso da parcela menos precisa.**

No exemplo acima, utilizamos medidas de comprimento, mas as regras de determinação de algarismos significativos valem para quaisquer grandezas.

Q1 — João despejou uma lata de água de $20,3$ litros em um tanque; depois despejou $0,352$ litros de água contida em um frasco graduado. Qual é o volume total de água despejado?

R1 — $20,7$ litros.

O que se disse para a adição vale também para a subtração: o algarismo duvidoso da diferença de duas medidas deve estar na mesma casa decimal do algarismo duvidoso da parcela menos precisa.

Admitamos que dois segmentos de reta tenham por comprimentos $4,33\text{cm}$ e $2,0\text{cm}$. Qual é a diferença entre essas duas me-

didadas ? Devemos efetuar:

$$\begin{array}{r} 4,33 \text{ cm} \\ 2,0 \text{ cm} - \\ \hline 2,33 \text{ cm} \end{array}$$

Sabemos que o algarismo duvidoso da diferença deve estar na mesma casa decimal do algarismo duvidoso da parcela menos precisa. Assim, o resultado da subtração acima é 2,3cm.

Q2 — Efetue as seguintes subtrações de medidas:

- a) 6,39cm - 3cm
- b) 13,453km - 13,45135km
- c) 1580m - 136,429m
- d) 3323,728km - 1376km
- e) 7,75mm - 3,259mm

- R2** — a) 3cm
b) 0,002km
c) 1444m
d) 1948 km
e) 4,49mm

2. Multiplicação e divisão

Vamos supor que desejamos encontrar a área de uma sala retangular e que medimos seu comprimento e sua largura com instrumentos diferentes. Digamos que os valores encontrados foram, respectivamente, 4,242m e 1,3m. Há quatro algarismos significativos na medida de comprimento e apenas dois na da largura. Para obter a área da sala, devemos multiplicar a medida do comprimento pela medida da largura:

$$A = 4,242 \text{ m} \times 1,3 \text{ m} = 5,5146\text{m}^2$$

Vejam agora como interpretar esse resultado. Quando medimos a largura da sala e escrevemos 1,3m, não estamos seguros da exatidão do algarismo 3; isto é, o resultado da medida poderia ser por exemplo, 1,2m ou 1,4m. Verifiquemos o que aconteceria com a área se admitíssemos esses valores para a largura:

$$A = 4,242 \text{ m} \times 1,2 \text{ m} = 5,0904\text{m}^2 \quad \text{e}$$

$$A = 4,242 \text{ m} \times 1,4 \text{ m} = 5,9388\text{m}^2$$

Observe então que, admitindo uma variação para o algarismo duvidoso da medida menos precisa, a área apresenta variação na primeira casa decimal; dessa forma, não tem sentido escrever os algarismos que vêm depois dessa casa. Portanto, o modo correto de exprimir a área da sala é:

$$A = 5,5\text{m}^2 \quad (\text{arredondamento de } 5,5146\text{m}^2)$$

Uma regra conveniente para escrever o resultado da multiplicação de duas ou mais medidas é **dar a resposta com o mesmo número de algarismos significativos da medida que tem o menor número de significativos**. No exemplo acima, a largura da sala era a medida com menor número de algarismos significativos (dois).

Seguindo essa regra, se queremos multiplicar 2,85m por 2,7m, devemos proceder da seguinte forma: o produto dá 7,695m²; a medida que tem menor número de algarismos significativos é a segunda (2,7m), que tem dois significativos. Assim, devemos arredondar o resultado 7,695m² de modo a obter dois algarismos significativos, ou seja, devemos arredondar até a casa dos décimos. A resposta é, então, 7,7m²

Q3 – Quantos algarismos significativos deve ter o resultado da multiplicação das medidas 3,21245m e 2,13m ?

R3 – Três algarismos significativos.

Q4 – Qual é o resultado da multiplicação de 3,21245m por 2,13m ?

R4 – 6,84m².

Q5 – Efetue as seguintes multiplicações de medidas:

- a) 1,3124km x 2,30km
- b) 4,1365890cm x 2cm
- c) 5,27mm x 4,8mm

R5 – a) 3,02km²

b) 8cm²

c) 25mm²

O que se disse sobre a multiplicação aplica-se igualmente à divisão: não se deve exprimir o quociente, com um número de algarismos significativos maior que o da medida menos precisa que entra na operação. Se, por exemplo, vamos dividir 8,462m por 1,2m, o resultado deve ter apenas dois algarismos significativos:

$$\begin{array}{r} 8,462 \quad | \quad 1,2 \\ 0 \ 062 \quad 7,05 \\ \hline 02 \end{array}$$

O resultado deve ser então 7,1.

Q6 – Faça a divisão dos resultados das medidas abaixo:

a) 857m ÷ 2s

b) $3,47 \times 10^5 \text{ km} \div 2,4 \times 10^{-5} \text{ km}$

R6 – a) $4 \times 10^2 \text{ m/s}$

b) $1,4 \times 10^{10}$

Se você quiser multiplicar ou dividir o resultado de uma medida por um número **exato**, a resposta deverá ser dada com tantos algarismos significativos quantos forem os algarismos significativos da medida. Se, por exemplo, a área de uma sala foi medida e o resultado é 5,46m², então o dobro dessa área é $2 \times 5,46\text{m}^2 = 10,9\text{m}^2$ (arredondado de 10,92m²) e um vigésimo dessa área é:

$$\frac{1}{20} \times 5,46\text{m}^2 = 0,273\text{m}^2 = 273 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Q7 – Se o comprimento de um segmento de reta é 3,382cm, qual é o comprimento de um segmento 5 vezes maior ?

R7 – 16,91cm.



**Velocidade média e
velocidade instantânea**

1. Conteúdo

Introdução — 5-1

1. Velocidade média — 5-1
2. Velocidade instantânea — 5-4
3. Exercícios de aplicação - 5-10

Leitura complementar:

Relatividade das medidas de espaço e de tempo — 5-17

2. Objetivos do capítulo

Ao final do capítulo, o aluno deverá ser capaz de:

- a) Dado o espaço percorrido por um corpo e o intervalo de tempo correspondente a esse percurso, calcular a velocidade média do corpo.
- b) Dada a fotografia estroboscópica do movimento de um corpo, a escala da foto e o intervalo de tempo entre duas posições sucessivas, calcular a velocidade média do corpo entre duas posições registradas na fotografia.
- c) Dado o gráfico que representa a distância em função do tempo para o movimento de um corpo, calcular a velocidade média do corpo em um intervalo de tempo indicado nesse gráfico.
- d) Dados, em vários trechos de um percurso, os espaços percorridos por um corpo e os intervalos de tempo correspondentes, calcular as velocidades médias do corpo em cada trecho.
- e) Dada a fotografia estroboscópica do movimento de um corpo, a escala da foto e o intervalo de tempo entre duas posições sucessivas, estimar a velocidade instantânea do corpo em um instante qualquer.
- f) Dada uma tabela em que constam as posições de um corpo em movimento em função do tempo, estimar a velocidade instantânea do corpo em um instante qualquer.
- g) Dado o gráfico que representa a distância em função do tempo para o movimento de um corpo, calcular a velocidade instantânea do corpo em um instante qualquer.
- h) Dada a fotografia estroboscópica do movimento de um corpo, a escala da foto e o intervalo de tempo entre duas posições sucessivas, obter a tabela da velocidade desse corpo em função do tempo.
- i) Dada a fotografia estroboscópica do movimento de um corpo, a escala da foto e o intervalo de tempo entre duas posições sucessivas, construir, em uma escala conveniente, o gráfico que representa a velocidade, em função do tempo, para esse movimento.

3. Pré-requisitos

- Medir distâncias com uma régua milimetrada.
- Transformar medidas em escala no seu valor real.
- Calcular a velocidade média de um corpo.
- Analisar uma foto estroboscópica, conhecidos os intervalos de tempo entre as exposições e a escala da foto.
- Representar um valor através de potência de dez.
- Transformar unidades de tempo.

4. Número de aulas previstas

- a) Para o texto principal: 4
- b) Para os exercícios de aplicação: 1
- c) Para a avaliação: 1
- d) Para a leitura complementar: 2

5. Sugestões para avaliação

Dentre os exercícios propostos, aqueles que servem como modelo para avaliação são:

- | | |
|---------------------------|------------------------------------|
| Objetivo a: E14 | Objetivo e: E7 — item (b), E8 e E9 |
| Objetivo b: E7 — item (a) | Objetivo f: E2 |
| Objetivo c: E3 | Objetivo g: E4 |
| Objetivo d: E5 e E6 | |

Objetivos **h** e **i**: Construa uma tabela da velocidade, em função do tempo, para o movimento representado pela figura 10 (página 5 - 12). A partir dessa tabela, construa o gráfico $v \times t$ para o movimento.

6. Bibliografia

- 1 – ALVARENGA, B.G. de & LUZ, A.M.R. da. **Física**. 2. ed. Belo Horizonte, B. Alvares, 1969, v. 1, cap. 4.
- 2 – GRUPO DE ESTUDOS EM TECNOLOGIA DE ENSINO DE FÍSICA. **Física auto-instrutivo – FAI**: texto programado para o 2º grau. São Paulo, Saraiva, 1974. v. 1, cap. 3.
- 3 – LANDAU, L. & ROMER, Y. **Aprenda a teoria da relatividade brincando**. Trad. Giorgio Moscati. São Paulo, Hemus 1970.
- 4 – PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE. **Física**. 6. ed. São Paulo, EDART, 1970. v. 1, cap. 5.
A seção 5-5 (pág. 80) é uma boa apresentação do conceito de velocidade instantânea.
- 5 – RESNICK, R. **Introdução à relatividade especial**. Trad. Shigeo Watanabe. São Paulo, Polígono, EDUSP, 1971.
Esse livro é avançado e destinado a estudantes universitários.
- 6 – RESNICK, R. & HALLIDAY, D. **Física**. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1965. v. 1, cap. 3.
- 7 – RUSSEL, B. **ABC da relatividade**. Rio de Janeiro, Zahar, 1966.

7. Comentários sobre o texto

Introdução

Justifica o estudo de outros movimentos além do movimento retilíneo uniforme.

Uma questão que pode ser discutida antes de iniciar o capítulo é: que conceitos devem ser introduzidos (ou ampliados) para o estudo de movimentos reais?

1. Velocidade média

O aluno deve trabalhar normalmente com o texto. O professor deve observar se os alunos estão seguindo as normas estabelecidas no capítulo 2 para escrever os resultados das medidas.

2. Velocidade instantânea

O texto mostra ao aluno o processo de calcular velocidade instantânea pelo cálculo da velocidade média em um intervalo de tempo pequeno que contenha o instante desejado.

Com esse fim, é utilizada a órbita do satélite. Para se fazer uma idéia mais clara desse movimento, não é suficiente conhecer a velocidade média para a órbita inteira, mas calcular as velocidades médias em pequenos trechos da órbita. Nesse caso, a velocidade instantânea pode ser determinada, aproximadamente, calculando-se a velocidade média em um pequeno intervalo de tempo que contenha o instante considerado.

Em seguida, para reforçar a idéia de que o intervalo de tempo "pequeno", que se considera para calcular a velocidade instantânea é relativo ao tipo de movimento e à distância percorrida, é analisada uma foto estroboscópica de um pêndulo oscilando.

3. Exercícios de aplicação

Antes de iniciar a resolução dos exercícios, o professor deve promover uma discussão para verificar a compreensão do conceito de velocidade instantânea.

Pelo menos os exercícios seguintes devem ser feitos em classe. E3, E4, E6, E7, E8, E9, E10, E11, E16, E17, E18, E19, E20, E21.

E8 — A velocidade do móvel no instante $t = 1,5s$ é melhor representada em mm/s por (veja figura 10, pág. 5-12):

a) 12,5; b) 11,5; c) 7,7; d) 6,3; e) 5,8.

Comentário: Essa questão tem por objetivo a determinação da velocidade instantânea em um instante cuja posição não é especificada na figura. Dessa maneira, reforça a idéia de se representar uma velocidade instantânea pela velocidade média em um **intervalo de tempo que contenha o instante considerado**. Observe que, segundo o critério estabelecido, a velocidade média entre os pontos 1 e 2 serve para representar um valor aproximado da velocidade instantânea em qualquer instante desse intervalo. A distância entre os pontos 1 e 2 medida com a régua flexível é 11,5mm e o intervalo de tempo entre duas posições sucessivas é 1 segundo: a velocidade média é de 11,5mm/s que, dentre os resultados apresentados, melhor representa a velocidade.

Leitura suplementar:

Relatividade das medidas de espaço e de tempo

É um assunto interessante cuja leitura deve ser incentivada. Se houver tempo, poderá ser discutido em classe; caso contrário, os alunos mais interessados podem recorrer aos livros referentes à Relatividade, indicados na bibliografia.

8. Sugestões para discussão com os alunos

“Como proceder para medir a velocidade de uma bicicleta ao passar por determinado ponto?”

Essa questão tem a vantagem de levar o aluno a analisar uma situação real. Para isso, ele deve medir o comprimento de um trecho da estrada que contenha o ponto considerado (qual deve ser esse comprimento?); medir o intervalo de tempo de passagem por esse trecho e calcular a **velocidade média** do ciclista.

“Quando um guarda rodoviário multa alguém por excesso de velocidade, ele mediu a velocidade média do carro ou sua velocidade instantânea em um determinado ponto da estrada?”

O problema é idêntico ao anterior. Em geral, os guardas medem o intervalo de tempo que o automóvel demora para percorrer determinado trecho de comprimento conhecido. Se esse intervalo de tempo for menor que um dado valor, que corresponde ao tempo de percurso com a velocidade máxima permitida, o carro é multado.

9. Sugestões para outras experiências

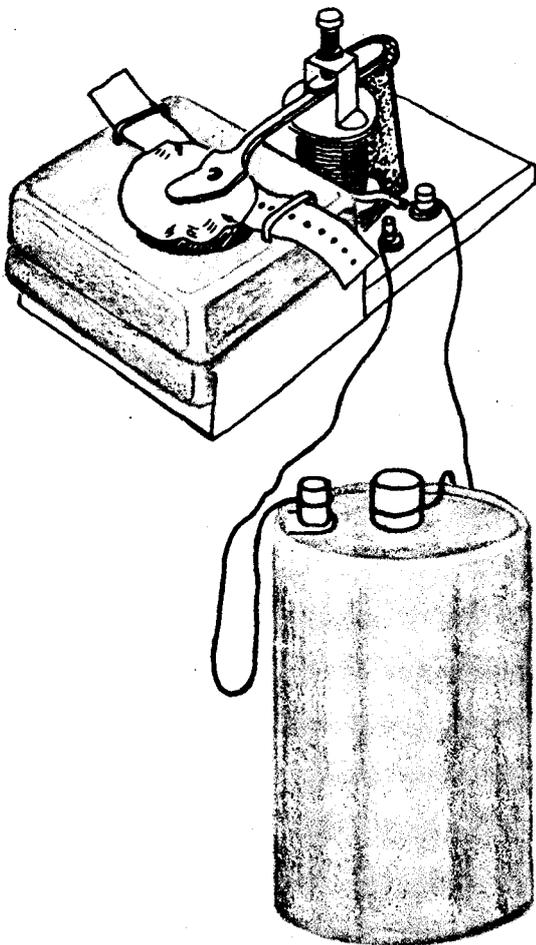
Caso disponha de um marcador de tempo do tipo P.S.S.C. ou um faiscador, pode ser estudado um movimento completamente irregular, por exemplo, o movimento da mão de uma pessoa que caminha.

Monte o marcador de tempo (ou faiscador) conforme mostra a figura C e peça a um aluno que caminhe alguns passos balançando os braços normalmente, puxando a fita.

Através da análise dos pontos registrados na fita, o aluno deve responder às seguintes perguntas:

- 1) Em que parte da fita a velocidade foi maior? Onde foi menor?
- 2) Se você escolher como unidade de tempo um “tique”, isto é, o intervalo de tempo entre duas batidas do marcador, o que representa a distância entre duas marcas próximas? (R: a velocidade média em cm/tiques, por exemplo.)
- 3) Escolha agora como unidade de tempo cinco tiques e calcule a velocidade em um trecho da fita, em intervalos de cinco tiques.
- 4) A partir dos dados obtidos na questão anterior, construa o gráfico $v \times t$ do movimento de sua mão.
- 5) Como você poderia calibrar o marcador de tempo, isto é, determinar o intervalo entre duas batidas?

figura C





**Força, inércia
e aceleração**

6

1. Conteúdo

Introdução – 6-1

1. Princípio da inércia – 6-2
2. Experiência – Como comparar forças – 6-6
3. Força e variação de velocidade – 6-10
4. Exercícios de aplicação I – 6-12
5. Força e aceleração – 6-15
6. Aceleração média e aceleração instantânea – 6-17
7. Aceleração na calha – 6-17
8. Experiência – Medida de aceleração – 6-18
9. Exercícios de aplicação II – 6-20
10. Movimento com aceleração constante (texto optativo) – 6-23
11. Movimento com desaceleração constante (texto optativo) – 6-25
12. Como calcular distâncias quando a aceleração é constante (texto optativo) – 6-26
13. Equações da velocidade e da distância para movimentos com aceleração constante (texto optativo) – 6-28
14. Movimento com aceleração variável (texto optativo) – 6-30
15. Exercícios de aplicação III – 6-33

2. Objetivos do capítulo

- a) Dada a fotografia estroboscópica do movimento de um corpo, dizer se esse corpo está sujeito a forças não contrabalançadas e justificar.
- b) Dada a trajetória do movimento de um corpo, determinar a direção do movimento em uma posição dessa trajetória.
- c) Enunciar e explicar o princípio da inércia.
- d) Utilizar o princípio da inércia para analisar o movimento de um corpo e verificar se está sujeito a forças não contrabalançadas.
- e) Construir um dinamômetro com uma mola e calibrá-lo para medir forças.
- f) Calcular a aceleração média do corpo, dada a variação de velocidade de um corpo em certo intervalo de tempo.
- g) Transformar, de uma para outra, as unidades mais comuns de aceleração.
- h) Caracterizar o tipo de movimento de um corpo quando está livre da ação de forças ou sujeito a forças que se contrabalançam, e quando está sujeito a uma força constante não contrabalançada.
- i) Estabelecer as condições relativas às forças para que um corpo não tenha aceleração e para que tenha aceleração constante.
- j) Identificar e justificar, através de fotografias estroboscópicas, situações em que um corpo em movimento (curvilíneo ou retilíneo) está acelerado ou não.
- k) Comparar as acelerações adquiridas por um corpo com as forças aplicadas a esse corpo.
- l) Dada a fotografia estroboscópica do movimento de um corpo, a escala da foto e o intervalo de tempo entre duas posições sucessivas, calcular a aceleração média do corpo em intervalos de tempo indicados na fotografia e verificar se a força que age sobre o corpo é constante ou não.
- m) Determinar, experimentalmente, utilizando régua e cronômetros a aceleração média de uma esfera quando rola em uma calha inclinada.
- n) Dado o gráfico da velocidade em função do tempo do movimento de um corpo com aceleração constante, calcular a aceleração do corpo e o espaço percorrido, em um intervalo de tempo indicado no gráfico, determinando a área limitada pelo gráfico e o eixo dos tempos (texto optativo).

- o) Reconhecer, entre gráficos de velocidade em função do tempo, aqueles que correspondem a movimentos com aceleração constante e justificar (texto optativo).
- p) Dado o gráfico da velocidade em função do tempo de um movimento com aceleração variável, calcular a aceleração instantânea em um instante contido no intervalo total de tempo expresso no gráfico (texto optativo).
- q) Dado o gráfico da velocidade em função do tempo de um movimento com aceleração variável, calcular o espaço percorrido em um intervalo de tempo indicado no gráfico, determinando a área limitada pelo gráfico e o eixo dos tempos (texto optativo).
- r) Resolver problemas utilizando as expressões

$$v = v_0 + at \text{ e } e = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \text{ (texto optativo).}$$

3. Pré-requisitos

- Analisar uma foto estroboscópica.
- Construir, ler e interpretar gráficos.
- Calcular velocidades médias, dada a foto estroboscópica de um corpo em movimento.
- Fazer operações com resultados de medidas, escrevendo corretamente o número de algarismos significativos.
- Calcular a velocidade de um corpo, fazendo medidas diretas de distância e tempo.

4. Número de aulas previstas

- a) Para o texto principal: 8
- b) Para a avaliação do texto principal: 1
- c) Para o texto optativo: 4
- d) Para a avaliação do texto optativo: 1

5. Sugestões para avaliação

Objetivo e: E3 e E4

Objetivo f: E1 e E7

Objetivo j: E11

Objetivo k: E2 e E10

Objetivo l: E16

Objetivo m: E15

Objetivo p: E19

Objetivo q: E20

Objetivo r: E23

P1 – Um corpo, quando sujeito a uma única força **F**, tem aceleração de 4m/s^2 . Se a força aplicada sobre esse corpo fosse **3F**, qual seria a aceleração do corpo?

R1 – $a = 3 \times 4 = 12\text{m/s}^2$

P2 – Um corpo é puxado por uma força constante **F**. Em um intervalo de tempo de 0,2 segundos, a velocidade variou de 0,5m/s para 0,9m/s. Qual seria a variação da velocidade desse corpo, se estivesse sujeito a uma força **3F**, em um intervalo de tempo de 0,4 segundos?

$$\text{R2} - F \rightarrow a_1 = \frac{0,9 - 0,5}{0,2} = 2\text{m/s}^2$$

$$3F \rightarrow 3a_1 = 6\text{m/s}^2 \rightarrow \Delta v = 6 \times 0,4 = 2,4\text{m/s}$$

6. Bibliografia

- 1 – ALVARENGA, B. G. de & LUZ, A. M. R. da. **Física**. 2. ed. Belo Horizonte, B. Alvares, 1969. v. 1, cap. 4 e 5.
- 2 – PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE. **Física**. 6. ed. São Paulo, EDART, 1970. v. 1, cap. 5; v. 3, cap. 20.
- 3 – RESNICK, R. & HALLIDAY, D. **Física**. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1965. v. 1, cap. 5.

7. Comentários sobre o texto

Introdução

A introdução procura motivar o aluno para o estudo dos movimentos, salientando sua importância sob o ponto de vista histórico.

1. O princípio de inércia

O motivo de se introduzir o princípio da inércia, ainda durante o estudo de Cinemática, é a tentativa de relacionar, desde o início, força e aceleração.

Terminada esta seção, deve ser promovida uma discussão sobre as respostas dadas às questões e sobre o princípio da inércia.

2. Experiência – Como comparar forças

Para essa experiência, são necessários a régua de vinil, uma mola e ganchos de ferro.

Caso a mola ainda não tenha sido usada, estique-a de aproximadamente 60cm. Este procedimento evitará a histerese mecânica da mola, quando for utilizada.

Os alunos não devem usar a mola para levantar objetos pesados; este procedimento pode fazer com que ultrapasse o limite de elasticidade prejudicando suas características.

O caderno referido no texto é um caderno espiral comum de 100 folhas; ele poderá ser puxado no chão ou sobre uma mesa.

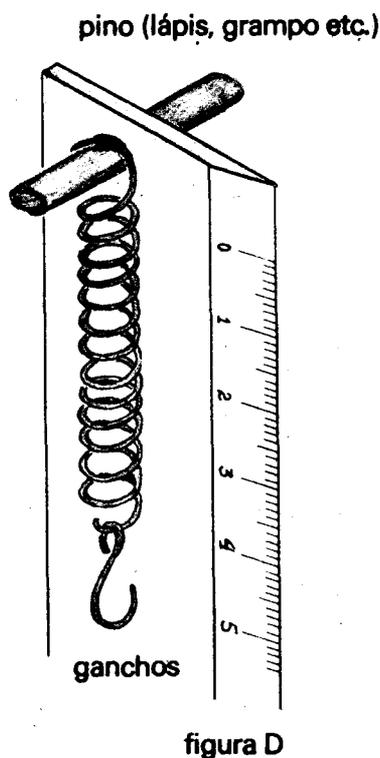
Feita a leitura da posição de referência, os alunos devem marcar na tabela 1 a **variação do comprimento** da mola.

Na falta da régua de vinil, poderá ser usada uma régua comum como está ilustrado na figura D. Como pesos, poderão ser utilizados quaisquer corpos que tenham aproximadamente a mesma massa: moedas, arruelas, porcas, etc. Se forem usadas moedas, será necessário um suporte especial.

Após a Q15 deve ser promovida uma discussão a respeito das respostas já dadas.

3. Força e variação de velocidade

Esta é uma seção difícil pois apresenta simultaneamente



dois conceitos:

- 1) uma força constante provoca uma variação uniforme da velocidade em relação ao tempo;
- 2) a razão entre a variação da velocidade e o intervalo de tempo em que ocorreu a variação é a aceleração.

No estágio atual, é mais importante entender bem o primeiro conceito; o conceito de aceleração será ainda tratado nas seções seguintes.

O fato de serem usadas fotos estroboscópicas deve ser justificado pela dificuldade de aplicar-se uma força constante a um corpo em movimento, como deve ter ficado claro ao se puxar o caderno por meio da mola.

Os alunos talvez tenham dificuldade em analisar a foto estroboscópica; não hesite em auxiliá-los, caso seja necessário.

4. Exercícios de aplicação I

Esta série tem apenas quatro exercícios envolvendo conceitos novos, de modo que todos devem ser feitos em classe.

E2 – Um corpo desliza sobre uma superfície horizontal com atrito desprezível. O corpo é puxado por uma força constante F_1 . Num intervalo de tempo de 0,3s, a velocidade varia de 0,2m/s a 0,4m/s. Em uma segunda experiência o mesmo objeto é puxado **com outra força F_2** durante 0,3s e sua velocidade varia de 0,5m/s a 0,8m/s.

- a) A aceleração do corpo varia durante a primeira experiência? E durante a segunda experiência?
- b) Qual das duas forças aplicadas foi maior? Quantas vezes?
- c) Se o corpo fosse puxado pela segunda força durante 0,9s, qual seria sua variação de velocidade?
- d) Ainda neste caso, se o corpo partisse do repouso, qual seria sua velocidade 1,0s após a partida?

R2 – a) Nesse item queremos somente que o aluno fixe a idéia de que uma força constante provoca uma aceleração constante. Não foi pedido explicitamente que se calcule as acelerações, mas pode ser pedido aos alunos para calculá-las.

$$\text{Temos } \Delta v_1 = 0,4\text{m/s} - 0,2\text{ m/s} = 0,2\text{ m/s}$$

$$\text{e } \Delta t_1 = 0,3\text{s}$$

$$a_1 = \frac{\Delta v_1}{\Delta t_1} = \frac{0,2\text{m/s}}{0,3\text{s}} = \frac{2}{3}\text{ m/s}^2$$

$$\Delta v_2 = 0,8\text{m/s} - 0,5\text{m/s} = 0,3\text{m/s}$$

$$\Delta t_2 = 0,3\text{s}$$

$$a_2 = \frac{0,3\text{m/s}}{0,3\text{s}} = 1\text{m/s}^2$$

- b) Este item é mais bem resolvido após o aluno terminar a seção seguinte, pois até esse instante o texto **não** forneceu elementos para solucioná-lo. Entretanto, intuitivamente, pode considerar-se que forças maiores provocam acelerações maiores.

- c) O aluno deve utilizar a expressão $\Delta v = a\Delta t$. Para isso, necessita calcular antes as acelerações. No caso,

$$\Delta v = 1\text{m/s} \times 0,9\text{m}/\Delta^2 = 0,9\text{m/s}$$

- d) Quando um móvel parte do repouso, a velocidade ao fim do intervalo de tempo Δt coincide com a variação de velocidade nesse intervalo.

$$v_0 = 0 \rightarrow \Delta v = v - v_0 = a\Delta t$$

Para fixar o conceito de aceleração, pode ser ainda apresentada a seguinte questão:

Se, num determinado instante, a velocidade v_0 é de 3m/s, qual será sua velocidade após um intervalo de tempo Δt de 0,5s?

$$\Delta v = v - v_0 = a\Delta t$$

$$v - v_0 = a\Delta t \quad v - 3\text{m/s} = 1\text{m/s} \times 0,5\text{s}$$

$$v = 3\text{m/s} + 0,5\text{m/s} = 3,5\text{m/s}$$

E4 – A fotografia estroboscópica da figura 13 mostra parte do movimento de uma bola que foi lançada para cima. A escala é de 1:10 e o intervalo de tempo entre dois instantâneos sucessivos é de 0,1s. No instante correspondente à posição 5, a bola estava no ponto mais alto de sua trajetória, e apresentava, assim, velocidade nula.

- a) Observando a figura 13, pode-se concluir que existe uma força agindo sobre a bola? Por quê?
b) Em caso afirmativo, verifique se a força é constante.

R4 – a) Pelo princípio da inércia, se nenhuma força agir sobre a bola, ela permanece parada ou em movimento uniforme. Um simples exame da figura mostra que o movimento não é uniforme; portanto, existe uma força agindo sobre a bola.

- b) Uma força constante provoca uma aceleração constante. Para determinar a aceleração, o aluno deve medir a velocidade instantânea nos pontos 2, 3 e 4 e verificar se a variação da velocidade em intervalos iguais de tempo é constante ou não.

Para determinar a velocidade no ponto 2, deve-se medir a distância entre os pontos 1 e 3; o resultado encontrado é 5,9cm. A distância real correspondente é 59cm, pois a escala da figura é 1:10.

A velocidade média nesse trecho é:

$$v_1 = \frac{59\text{cm}}{0,2\text{s}} = 29,5\text{cm/s}$$

que corresponde à velocidade no ponto 1.

Para determinar a velocidade no ponto 3, deve-se determinar a velocidade média no trecho de 2 a 4. Essa distância é 4,0cm X 10 = 40cm, o que permite calcular a velocidade

$$v_3 = \frac{40\text{cm}}{0,2\text{s}} = 200\text{cm/s}$$

A velocidade média entre os pontos 3 e 5 é calculada de maneira similar e encontra-se

$$v_4 = \frac{20\text{cm}}{0,2\text{s}} = 100\text{cm/s}$$

Portanto, a velocidade sofre uma variação constante entre os

pontos sucessivos 2, 3 e 4:

$$v_3 - v_2 = 200 - 295 = -95 \text{ cm/s,}$$

$v_4 - v_3 = 100 - 200 = -100 \text{ cm/s}$, o que permite concluir que a força é constante.

5. Força e aceleração

O objetivo principal da análise das fotos é levar à conclusão de que a força aplicada ao movimento é diretamente proporcional à aceleração adquirida pelo corpo.

6. Aceleração média e aceleração instantânea

No tratamento deste assunto fez-se uma analogia com a velocidade média e instantânea, como foi exposto no capítulo 5.

7. Aceleração na calha

O objetivo da análise desta foto estroboscópica, além de fazer com que o aluno calcule a aceleração, é conduzi-lo à conclusão de que, para diferentes inclinações da calha, a aceleração terá diferentes valores, e que quanto maior a inclinação, maior será o valor da aceleração.

É uma experiência um pouco demorada, porque é a primeira vez que se pede para que o aluno realize uma tarefa sem fornecer as etapas. É bom observar se ele faz corretamente as medidas sobre a foto.

Esta seção deve ser encarada como um exercício de aplicação.

8. Experiência – Medida de aceleração

Neste ponto os alunos utilizarão a calha e o cronômetro de areia para calcular a aceleração; no item anterior utilizaram a foto estroboscópica e a régua.

É preciso lembrar aos alunos que a calha e a bolinha devem estar limpas, e que a maneira pela qual a bolinha é solta pode influir nas medidas feitas com o cronômetro.

Para os cálculos faça-os observarem as regras estipuladas a respeito dos algarismos significativos; seria interessante que, durante a discussão sobre o capítulo, fosse feita uma comparação com os resultados obtidos pelos diversos grupos.

9. Exercícios de aplicação II

Esta série consta de 12 exercícios, dos quais devem ser feitos em classe E7, E8, E10, E13 e E14, pelo menos.

10. Movimento com aceleração constante (texto optativo)

As seções finais (10 a 14) deste capítulo são optativas, ficando a critério do professor a decisão de trabalhar com elas. Escritas no mesmo estilo das seções anteriores, tratam mais profundamente dos movimentos com aceleração constante e variável.

Nesta seção é mostrado que o gráfico $v \times t$, para um movimento com aceleração constante, é uma reta. Uma confusão que os alunos podem fazer é relacionar a aceleração constante apenas para retas que contenham a origem do sistema de eixos. Como mostra a figura 21 (página 6-24), apesar de a aceleração ser constante, a velocidade não é diretamente proporcional ao tempo; no caso, apenas Δv é proporcional a Δt .

11. Movimento com desaceleração constante (texto optativo)

Nesta seção surge pela primeira vez o conceito de aceleração negativa. Este conceito é útil na resolução de problemas e pode servir como assunto para uma discussão em classe.

Os exercícios E22 (parte c) e E25 (partes b e c) podem ser resolvidos em seguida à discussão ou leitura da seção.

12. Como calcular distâncias quando a aceleração é constante (texto optativo)

O título diz tudo. Assunto útil que merece ser discutido, se houver tempo.

Os exercícios E20, E21, E22 e E25 são relacionados a essa seção.

13. Equações da velocidade e da distância para movimentos com aceleração constante (texto optativo)

Nessa altura do curso, os alunos resolvem perfeitamente os problemas comuns da Cinemática sem auxílio de fórmulas. O objetivo dessa seção é apenas fornecer as deduções das conhecidas fórmulas dos movimentos com aceleração constante.

14. Movimento com aceleração variável (texto optativo)

A partir de gráficos $v \times t$ é calculada a aceleração instantânea do corpo em movimento.

Como pré-requisito para essa seção, os alunos devem saber traçar retas tangentes a curvas.

É importante o aluno perceber que, no ponto de tangência, a reta e a curva são coincidentes. Isso permite considerar que ambas possuem, naquele ponto, a mesma inclinação $\Delta v/\Delta t$.

15. Exercícios de aplicação III

Essa última série de exercícios refere-se diretamente aos textos optativos anteriores; entretanto, podem ser resolvidos e, principalmente, discutidos por alunos que não tenham trabalhado com esses textos.

8. Sugestões para discussão com os alunos

As seções optativas 10, 11 e 12 podem servir para discussão com os alunos, baseadas, por exemplo, nas seguintes questões:

Qual é a forma do gráfico $v \times t$ para um movimento com aceleração constante?

A aceleração de um corpo pode ser negativa?

Como calcular a distância percorrida por um corpo com aceleração constante?

Também as figuras 11, 12 e 14 do capítulo podem servir como assunto para discussão. A maior parte dos alunos não percebe que as molas foram esticadas de um comprimento constante.

Qual é o tamanho da mola mostrada na figura 11? E na figura 12?

Muitos alunos não percebem ainda, claramente, o conceito de força. As perguntas seguintes podem ajudar:

O que ocorreria com o tamanho da mola mostrada na figura 12 se o carrinho fosse puxado por uma força maior? Nesse caso, o que ocorreria com a variação de velocidade do carrinho, em intervalos de 0,10s?

Como você pode afirmar (ou confirmar) que, nas situações mostradas na figura 14, as forças aplicadas foram F , $2F$ e $3F$?

9. Sugestões para outras experiências

Não há sugestões para esse capítulo.



Segunda lei de Newton

1. Conteúdo

Introdução – 7-1

1. Unidades de massa – 7-2
2. A segunda lei de Newton – 7-3
3. Massa e inércia – 7-6
4. Massa e peso – 7-7
5. Exercícios de aplicação – 7-10
6. Aplicação da 2ª lei de Newton ao movimento circular 7-14
7. Peso na Terra e na Lua (texto optativo)– 7-17
8. Massa inercial e massa gravitacional (texto optativo) – 7-18

Leitura suplementar:

Newton e o *Principia* – 7-20

2. Objetivos do capítulo

- a) Definir a unidade padrão internacional de massa.
- b) Descrever a utilização da balança para medir massa.
- c) Enunciar a 2ª lei de Newton.
- d) Definir as unidades de força Newton (N) e quilograma-força (Kgf).
- e) Definir peso de um corpo.
- f) Distinguir peso e massa.
- g) Calcular o peso de um corpo, conhecida sua massa e o valor local da aceleração da gravidade.
- h) Descrever como varia a massa e o peso de um corpo em diferentes locais, inclusive fora da Terra.
- i) Aplicar a 2ª lei de Newton para a solução de problemas simples.
- j) Explicar que o peso de um corpo na superfície de um astro é proporcional à massa do corpo, à massa do astro e inversamente proporcional ao raio do astro (texto optativo).

3. Pré-requisitos

- Analisar uma foto estroboscópica.
- Medir corretamente com uma régua milimetrada.
- Proporções.
- Trabalhar com potências de dez.
- Calcular velocidade instantânea e aceleração utilizando uma foto estroboscópica.
- Representar a direção de um movimento.

4. Número de aulas previstas

- | | |
|---------------------------------------|-----------------------------|
| a) Para o texto principal: 4 | c) Para a avaliação: 1 |
| b) Para os exercícios de aplicação: 4 | d) Para o texto optativo: 2 |

5. Sugestões para avaliação

Objetivo a: E14

Objetivo b: E9

Objetivo c: E12

Objetivo f: E18 e E19

Objetivo g: E16

Objetivo h: E15, E20 e E21

Objetivo i: E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E10, E11 e E13

P1 – Uma força de 5N imprime à massa m_1 a aceleração de 8m/s^2 e à massa m_2 a aceleração de 24m/s^2 ? Que aceleração ela imprimiria aos dois corpos reunidos?

R1 – 6m/s^2 .

P2 – Sabendo-se que a distância percorrida por um móvel está variando diretamente com o tempo, que conclusão você poderá tirar em relação às forças aplicadas ao móvel?

- R2** – Se a distância percorrida varia diretamente com o tempo, significa que a velocidade do corpo é constante e portanto não existe força, não contrabalançada, agindo.
- P3** – Um corpo lançado verticalmente para cima sobe até a uma altura h e retorna ao ponto de lançamento. Se a resistência do ar for desprezível, o tempo de subida será maior, menor ou igual ao de descida?
- R3** – Igual.

6. Bibliografia

- 1 – ALVARENGA, B. G. de & LUZ, A.M.R. da. **Física**. 2. ed. Belo Horizonte, B. Alvares, 1969. v. 1. cap. 4.
- 2 – GAMOW, G. **Gravidade**. São Paulo, Ed. Universidade de Brasília, 1965.
- 3 – PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE. **Física**. 6. ed. São Paulo, EDART, 1970. v. 3, cap. 20.

7. Comentários sobre o texto

Introdução

Dá a noção de massa como medida da quantidade de matéria que um corpo possui, comparando-a a outras possíveis medidas.

1. Unidades de massa

As unidades utilizadas no PEF estão de acordo com o Sistema Internacional de Unidades (SI); o padrão de massa é o quilograma.

2. A 2ª lei de Newton

No capítulo 6 o aluno comprovou, através de fotos estroboscópicas, que $F = ka$. Neste capítulo, analisa outras fotos em que uma mesma força é aplicada a três corpos de massas diferentes, determina a aceleração em cada caso, e conclui que k é proporcional a m e que, se adotar unidades convenientes, $k = m$ e portanto $F = ma$.

Para facilitar as medidas na figura 1 (fotos estroboscópicas), foi colocado sobre o caminho um pino branco para servir de referência. Como, infelizmente, ele não é muito notado à primeira vista, avise os alunos de sua existência.

Observe que, de acordo com o Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de força utilizada é o **Newton (N)**.

3. Massa e inércia

Apresenta massa como medida da inércia de um corpo.

4. Massa e peso

Estes conceitos são difíceis para o aluno, pois sua tendência é considerar que massa e peso são a mesma coisa. Esta seção e os exercícios que seguem merecem especial atenção na discussão do capítulo.

Observe que ainda não se falou em vetor.

5. Exercícios de aplicação

São 21 exercícios de aplicação, sendo os 5 últimos baseados em um texto retirado do livro **2001, Uma Odisséia no Espaço**. Este texto desperta grande interesse nos alunos e fornece ao professor excelente oportunidade para debater com a classe todo o capítulo até esse ponto.

Seria interessante que se exigisse do aluno, a cada passo da solução de um problema, os fundamentos teóricos do passo feito; um bom problema para isto é o **E11** cuja solução é dada a seguir:

- E11** – Um bloco de massa 4,0kg é puxado sobre uma mesa horizontal, sem atrito, pela força constante de 12,0N, a partir do repouso.

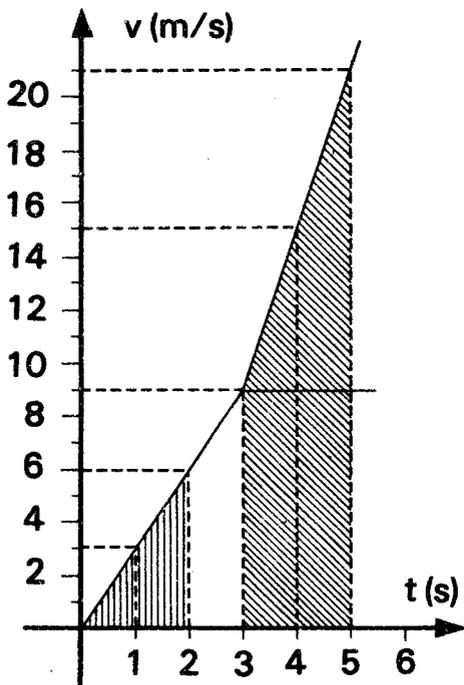


figura E

- a) Qual a aceleração do bloco?
 b) Que distância percorre o bloco em 2,0s?
 c) Se, ao fim de 3,0s, o bloco se divide em duas partes iguais, uma ainda puxada pela força de 12,0N e a outra livre, qual a distância entre elas 2,0s após se terem separado?

Comentário:

- a) Pela 2ª lei de Newton, a aceleração é diretamente proporcional à força aplicada a um corpo, através da relação $F = ma$ portanto: $12,0N = 4,0kg \cdot a \rightarrow a = 3,0m/s^2$
- b) A força constante aplicada ao bloco produz uma aceleração constante de $3m/s^2$. Após 2,0 segundos, desde que a velocidade inicial seja nula, a velocidade é $6,0m/s$. Nesse caso, a distância percorrida pelo bloco, nos primeiros 2,0 segundos, corresponde numericamente à área da região com hachuras verticais, no gráfico da figura E, e vale $6,0m$.
- c) Ao fim de 3,0 segundos, instante em que o bloco se divide em duas partes iguais, a velocidade é de $9,0m/s$. A metade do bloco livre de ação de força, pelo princípio da inércia, permanecerá com a velocidade de $9,0m/s$ e percorrerá $2 \times 9,0 = 18,0m$ após 2,0 segundos. A outra metade do bloco continua sendo puxada pela força de 12,0N e adquire a aceleração de $6,0m/s^2$:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{12,0}{2,0} = 6,0m/s^2$$

Como sua velocidade inicial é $9,0m/s$, após 2,0 segundos sua velocidade é de $9,0 + 12,0 = 21,0m/s$. A distância percorrida nesses 2,0 segundos é de $30,0m$, que pode ser calculada pela área da região com hachuras inclinadas do gráfico da figura E.

Portanto, a distância entre as metades do bloco após 2,0s é:

$$d = 30,0m - 18,0m = 12,0m$$

- E2** – Diante de um imprevisto, um automóvel de massa 2000kg é freado, passando sua velocidade de 72km/h para 36km/h em 5s. Qual o valor da força que foi aplicada pelos freios?

Comentário:

Pela 2ª lei de Newton, $F = ma$. A massa do carro é 2000kg e sua aceleração pode ser calculada, pois é conhecida a variação de velocidade que o carro sofreu e o intervalo de tempo em que ocorreu essa variação: $a = \Delta v / \Delta t$. Para a força ser dada em newtons, a aceleração deve ser calculada em m/s^2 . Assim, é necessário calcular a variação de velocidade em m/s :

$$\Delta v = (72 - 36) \text{ km/h} = 36\text{km/h} = 10\text{m/s}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{10\text{m/s}}{5\text{s}} = 2\text{m/s}^2$$

$$F = ma = 2000\text{kg} \times 2\text{m/s}^2 = 4000\text{N}$$

- E4** – Um foguete que leva em sua ogiva um satélite meteorológico é acelerado durante 10s; os gases expelidos pelo seu reator exercem sobre ele uma força inicial de $2 \times 10^5 \text{ N}$. Sendo a massa do foguete 10^4 kg , qual é a aceleração inicial produzida?

Comentário:

Os dados apresentados pelo problema só permitem calcular a aceleração inicial do foguete, pois, à medida que os gases são expelidos, a massa total do foguete diminui. Os 10 segundos aparecem no enunciado apenas como informação do tempo de ação dos foguetes.

E6 – Uma força constante é aplicada durante 1,0s num disco A, que desliza sem atrito sobre uma mesa. A velocidade do disco varia de 2,0m/s nesse intervalo de tempo. A mesma força aplicada em outro disco B, durante 3,0s, acarreta uma variação de velocidade de 5,0m/s.

- Qual dos discos possui maior massa?
- Quais as massas dos discos A e B, sabendo-se que a força é de 10,0N?

Comentário:

A aceleração adquirida por um corpo é diretamente proporcional à força aplicada e inversamente proporcional à sua massa. Como foram aplicadas forças de mesma intensidade nos discos A e B, as acelerações que eles adquiriram são inversamente proporcionais a suas massas.

$$\left. \begin{array}{l} \text{a) } a_A = 2,0/1,0 = 2,0\text{m/s}^2 \\ a_B = 5,0/3,0 = 1,7\text{m/s}^2 \end{array} \right\} m_B > m_A$$

$$\text{b) } m_A = F/a_A = 10,0/2,0 = 5,0\text{kg}$$

$$m_B = F/a_B = 10,0/1,7 = 6,0\text{kg}$$

E13 – A figura 2 mostra o movimento de dois corpos. O primeiro corpo é composto de dois discos, cada um deles igual ao disco que constitui o segundo corpo. Os dois discos juntos possuem o dobro da massa de um só. O disco composto e o disco simples estão sujeitos à mesma força, como se pode notar pela deformação das molas. A massa do disco é 0,5kg. Usando as informações da figura:

- Determine as acelerações para os dois discos.
- Calcule a força que está sendo exercida pela mola sobre o disco composto.
- Calcule a força que age sobre o disco simples.
- Qual a relação entre a aceleração do disco composto e do simples?

Comentário:

A figura 2 representa uma foto estroboscópica e como tal deve ser analisada. A escala da foto e o intervalo de tempo entre as exposições estão indicados na foto.

- Para calcular a aceleração é necessário conhecer os valores das velocidades em dois pontos diferentes da trajetória, por exemplo, na 4ª e na 5ª posições. Conforme o que foi dito no capítulo 5, a velocidade na 4ª posição pode ser considerada igual à velocidade média entre a 3ª e a 5ª posições, assim como a velocidade na 5ª posição pode ser considerada igual à velocidade média entre a 4ª e a 6ª posições.

Disco composto:

$$v_4 = \text{velocidade média entre a 3ª e 5ª posições:}$$

$$v_4 = v_m = 15,0\text{cm}/0,50\text{s} = 30,0\text{cm/s}$$

$$v_5 = \text{velocidade média entre 4ª e 6ª posições:}$$

$$v_5 = v_m = 20,0\text{cm}/0,50\text{s} = 40,0\text{cm/s}$$

$$a = \frac{v_5 - v_4}{\Delta t} = \frac{(40,0 - 30,0)\text{cm/s}}{0,25\text{s}} = 40,0\text{cm/s}^2$$

Disco simples:

$$v_4 = 30,0\text{cm}/0,50\text{s} = 60,0\text{cm/s}$$

$$v_5 = 40,0\text{cm}/0,50\text{s} = 80,0\text{cm/s}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{(80,0 - 60,0)\text{cm/s}}{0,25\text{s}} = 80,0\text{cm/s}^2$$

- Pela 2ª lei de Newton, $F = ma$

Disco composto:

$$m = 1,0\text{kg} \rightarrow F = 1,0\text{kg} \times 0,40\text{m/s}^2 = 0,40\text{N}$$

c) Disco simples:

$$m = 0,50\text{kg} \rightarrow F = 0,50\text{kg} \times 0,80\text{m/s}^2 = 0,40\text{N}$$

d) $a_c/a_s = 0,40/0,80 = 1/2$

6. Aplicação da 2ª lei de Newton ao movimento circular

Até aqui as grandezas físicas foram tratadas escalarmente. Nesta seção, surge a necessidade da introdução de um novo tipo de grandeza, ao se analisar o movimento circular uniforme.

Esta seção serve como motivação e introdução para o capítulo 8 (Grandezas vetoriais). Dependendo do número de aulas semanais e dos objetivos do curso, esta seção e os capítulos 8, 9 e 12 (Grandezas vetoriais, Quantidade de movimento e Gravitação) podem ser omitidos, passando-se diretamente aos capítulos 10 e 11 (Energia e Conservação de Energia). Nesse caso, o curso fica inteiramente escalar. Se houver disponibilidade de tempo, naturalmente deverá ser seguida a seqüência dos capítulos.

7. Peso na Terra e na Lua (texto optativo)

Uma leitura interessante que pode ser recomendada logo após a discussão dos exercícios da seção 5, uma vez que o assunto é o mesmo.

8. Massa inercial e massa gravitacional (texto optativo)

Complementa as seções 4 e 7. A leitura pode ser feita em casa.

Leitura suplementar:

Newton e o "Principia"

Um pouco de história sobre Newton e a Mecânica. Pode servir de base para uma discussão com os alunos.

8. Sugestões para discussão com os alunos

P1 – Quais devem ser as forças para imprimir acelerações iguais a um mesmo corpo, na Terra e na Lua?

R1 – A mesma força, pois $F = ma$; como m e a são as mesmas, F será a mesma.

P2 – Como medir massas fracionárias com a balança?

R2 – Duas massas iguais que juntas dão 1kg, são de 0,5kg cada uma, etc.

P3 – Tem sentido a afirmação de que um pára-quedista, em queda livre, antes de abrir o pára-quedas, não tem peso, quando se considera a definição de peso como a força gravitacional sobre o objeto?

R3 – Considerando o peso como a força da gravidade sobre o objeto, a afirmação não terá sentido. O peso de um objeto depende de sua posição (com referência à variação do campo gravitacional) mas não depende do movimento.

P4 – Uma bola é lançada verticalmente para cima, com a velocidade de 20m/s. Considere a aceleração da gravidade de 10m/s².

a) Que velocidade terá depois de 1,2s?

b) A que distância acima do solo está nesse instante?

c) Que velocidade terá depois de 2,3s?

d) A que distância acima do solo estará nesse instante?

e) Qual a aceleração da bola no ponto mais alto da trajetória?

R4 – **a)** 8,0m/s

b) 7,4m

c) 3,0m/s

d) 3,0m/s

e) 10m/s²

9. Sugestões para outras experiências

Não há sugestões para esse capítulo.



Grande...tais

1. Conteúdo

Introdução – 8-1

1. Representação de grandezas vetoriais – 8-4
2. Operações com grandezas vetoriais – 8-6
3. Multiplicação e divisão de uma grandeza vetorial por um número – 8-11
4. Subtração de grandezas vetoriais – 8-12
5. Exercícios de aplicação I – 8-15
6. Aceleração vetorial – 8-18
7. Forma vetorial da lei de Newton – 8-21
8. Aplicação da lei de Newton ao movimento circular uniforme – 8-22
9. Exercícios de aplicação II – 8-25

Leitura suplementar:

Grande Prêmio – 8-28

2. Objetivos do capítulo

- a) Descrever as características de grandezas escalares e vetoriais.
- b) Identificar grandezas escalares e grandezas vetoriais.
- c) Representar graficamente um vetor por um segmento orientado; dados: módulo, direção, sentido e escala de representação.
- d) Discriminar, entre uma série de segmentos orientados, quais representam o mesmo vetor.
- e) Dada a representação gráfica de dois ou mais vetores, realizar a operação de adição dos vetores e dar módulo, direção e sentido do vetor soma.
- f) Obter o vetor simétrico de um vetor dado.
- g) Dada a representação gráfica de dois vetores, realizar a operação de subtração dos vetores e dar módulo, direção e sentido do vetor diferença.
- h) Descrever e representar graficamente o produto de um vetor por um número real.
- i) Definir velocidade vetorial média e instantânea de um corpo em movimento.
- j) Definir aceleração vetorial média e instantânea de um corpo em movimento.
- k) A partir da fotografia estroboscópica do movimento de um corpo, representar graficamente os vetores velocidade e aceleração, média e instantânea, e determinar seus módulos, direções e sentidos.
- l) Enunciar a 2ª lei de Newton vetorialmente.
- m) Analisar uma fotografia estroboscópica de um corpo em movimento e obter a força vetorial resultante que age sobre o corpo, conhecida sua massa.
- n) Explicar por que o movimento circular uniforme tem aceleração e o que é aceleração centrípeta.

3. Pré-requisitos

Como este capítulo é feito através de construções gráficas, é necessário que os alunos tenham conhecimento prévio de como trabalhar com régua e esquadro para tirar paralelas.

4. Número de aulas previstas

- a) Para o texto principal: 4
- b) Para os exercícios de aplicação: 4
- c) Para a avaliação: 1
- d) Para a leitura suplementar: 1

5. Sugestões para avaliação

Neste capítulo, além de exercícios, sugerimos algumas questões.

Objetivo **a**: Q14 e Q15

Objetivo **b**: Dê exemplo de grandezas escalares.

Objetivo **c**: E5 e E9

Objetivo **d**: Q10, Q11 e E11

Objetivo **e**: E1, E2 (item **a**), E3 (item **a**), E6, E7

Objetivo **g**: E2 (item **b**), E3 (item **b**), E13 e E14

Objetivo **h**: E4 (itens **a** e **b**)

Objetivo **i**: E10 e E12

Objetivo **j**: E19 e E20

Objetivo **m**: E19 e E20 (supondo conhecida a massa do pêndulo)

Objetivo **n**: Explicar por que o movimento circular tem aceleração e o que é aceleração centrípeta.

6. Bibliografia

- 1 – ALVARENGA, B.G. de & LUZ, A.M.R. da. **Física**. 2. ed. Belo Horizonte, B. Alvares, 1969. v. 1, cap. 3.
- 2 – PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE. **Física**. 6. ed. São Paulo, EDART, 1970. v. 1, cap. 6.
- 3 – RESNICK, R. & HALLIDAY, D. **Física**. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1965. v. 1, cap. 2.

7. Comentários sobre o texto

Introdução

É fundamental para a motivação do aluno ao estudo das grandezas vetoriais e para a compreensão dos conceitos de direção e sentido.

Verifique as respostas que os alunos dão às questões e discuta-as com eles para evitar que fiquem com idéias erradas. Uma boa pergunta para iniciar a discussão com a classe, logo em seguida à introdução, é: que outras grandezas físicas são vetoriais ?

1. Representação de grandezas vetoriais

A ênfase do capítulo é a prática: os alunos devem saber representar vetores e como operar com eles. Devem ser feitos muitos exercícios, podendo ser vantajoso antecipar a solução de alguns da seção 5.

2. Operações com grandezas vetoriais

Nesta seção há poucas questões; o principal trabalho do aluno é entender as figuras e as explicações do texto.

3. Multiplicação e divisão de uma grandeza vetorial por um número

Os alunos não devem ter dificuldade em aprender essas operações, que são quase intuitivas.

4. Subtração de grandezas vetoriais

Uma seção puramente operacional.

5. Exercícios de aplicação I

Os exercícios podem ser feitos todos juntos, como revisão geral, ou então parceladamente, à medida que as seções são terminadas, para reforçar o aprendizado. As construções gráficas devem ser feitas com muito cuidado; os exercícios não apresentam maiores dificuldades.

E17 – Um bloco de massa 8,0kg parte do repouso, sendo puxado sobre uma mesa horizontal por uma força **F** constante de módulo 2,0N. Verifica-se que o bloco atinge a velocidade de 1,0m/s em 6,0s.

- a) Qual é a aceleração do bloco, calculada pela fórmula $a = |\Delta \mathbf{v} / \Delta t|$?

- b) Qual a razão (\vec{F}/m) entre a força aplicada e a massa do bloco?
- c) A diferença encontrada entre as acelerações calculadas nos itens **a** e **b** pode ser devida a alguma outra força que não foi mencionada?
- d) Qual é a direção, o sentido e o módulo dessa força?

Comentário:

$$\text{a) } a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \rightarrow a = \frac{1,0\text{m/s}}{6\text{s}} \therefore a = \frac{1}{6} \text{ m/s}^2 = 0,17\text{m/s}^2$$

$$\text{b) } a = \vec{F}/m \rightarrow a = \frac{2,0\text{N}}{8,0\text{kg}} \therefore a = \frac{1}{4} \text{ m/s}^2 = 0,25\text{m/s}^2$$

- c) Sim. A aceleração calculada, supondo que a força \vec{F} seja a única envolvida, resultou maior que a aceleração calculada através da variação da velocidade, indicando que a força responsável pelo movimento do corpo é menor que 2N, uma vez que força e aceleração são diretamente proporcionais.

Observe que o enunciado não afirma que o bloco está sendo puxado sem atrito; a conclusão cabível é que existe atrito entre a mesa e o bloco, o que faz a resultante das forças aplicadas sobre o disco ser menor que 2,0N.

- d) A direção da força de atrito é horizontal (a mesma do movimento); seu sentido é contrário ao do movimento (e de \vec{F}). O módulo pode ser calculado da seguinte maneira: $a = 0,17\text{m/s}^2$ é a aceleração com que realmente o bloco está se movimentando, uma vez que $0,25\text{m/s}^2$ seria a aceleração do bloco se 2,0N fosse a única força aplicada.

Assim $F_R = 8,0\text{kg} \times 0,17\text{m/s}^2 = 1,3\text{N}$ é a força resultante sobre o bloco. A força de atrito pode ser calculada da seguinte maneira:

$$\vec{F}_R = \vec{F} + \vec{F}_{at}$$

Mas como \vec{F}_{at} tem sentido oposto a \vec{F} ,

$$F_R = F - F_{at} \rightarrow F_{at} = F - F_R = 2,0 - 1,3 = 0,70\text{N}.$$

6. Aceleração vetorial

No capítulo anterior ficou pendente a questão da aceleração no movimento circular uniforme. Nesta seção é apresentado o conceito de aceleração vetorial e o método de sua determinação.

7. Forma vetorial da lei de Newton

Uma pequena seção para a generalização da 2ª lei de Newton apenas para retomar o problema do M.C.U:

8. Aplicação da lei de Newton no movimento circular uniforme

Para o desenvolvimento desta seção, o aluno terá de recorrer a conceitos vistos em capítulos anteriores (velocidade instantânea e aceleração instantânea), e por isso talvez encontre um pouco de dificuldade. Apesar de parte das construções gráficas já estarem prontas, é necessário que o aluno realmente entenda as construções já feitas e faça as suas construções com bastante cuidado para poder concluir que a direção da aceleração é centrípeta no movimento circular uniforme.

9. Exercícios de aplicação II

São 4 exercícios que dependem de construção gráfica demorada e podem ser feitos em casa.

Leitura suplementar: Grande Prêmio

É um jogo que utiliza o princípio de composição de vetores, além dos conceitos de aceleração e velocidade.

Se for jogado em classe, logo após o seu término, as questões seguintes devem ser discutidas:

- O que esse jogo tem a ver com esse capítulo?
- Qual é a unidade de "tempo" utilizado?
- O que representa o segmento que une duas posições consecutivas de um carro?
- Como pode ser medida a "velocidade"? E a "aceleração"?
- No exemplo dado, qual foi a máxima velocidade do carro?
- Qual foi a máxima aceleração?
- O piloto pode imprimir a seu carro qualquer aceleração, neste tipo de corrida?

8. Sugestões para discussão com os alunos

O conceito de **variação de velocidade vetorial**, em geral, é de difícil entendimento pelos alunos. A figura 24 do texto pode ser utilizada para uma discussão desse assunto. Peça, inicialmente, aos alunos para preencherem, no quadro-negro, a tabela mostrada na figura F, onde, por exemplo, Δv_{12} representa o módulo da diferença $\vec{v}_2 - \vec{v}_1$.

A construção da tabela em classe apresenta a vantagem de mostrar se os alunos estão determinando corretamente as variações de velocidade.

Também pode ser discutido qual o sentido da força que agiu sobre o corpo naquela trajetória; essa é uma boa ocasião para mostrar que a aceleração e, por conseguinte, a força estão sempre dirigidas para a concavidade da curva.

9. Sugestões para outras experiências

Dentro do espírito do jogo **Grande Prêmio**, apresentado no capítulo 8, pode ser proposto o jogo **Lançamento de Projéteis**, em que duas ou mais pessoas simulam o lançamento de projéteis, com o objetivo de acertar um alvo previamente determinado.

Para jogá-lo, desenha-se, em uma folha de papel quadriculado, um sistema de eixos ortogonais, onde a abscissa representa as distâncias horizontais, a ordenada, as distâncias verticais, e a origem, a posição de lançamento dos "projéteis".

O alvo é indicado por um ou mais quadrados em uma determinada posição. Na figura G (página seguinte), estão apresentados alguns tipos de alvos; ao nível do "solo", a uma determinada altura, pequenos, grandes, etc., bem como as trajetórias de alguns "projéteis".

Cada jogador utiliza um lápis ou caneta de cor diferente. Em cada jogada, deve ser feita uma marcação no cruzamento das linhas do papel correspondente à posição do "projétil". A ordem de jogada pode ser determinada tirando-se a sorte. Os movimentos de uma posição para outra são efetuados segundo regras que simulam, aproximadamente, o que ocorre em um lançamento real:

- A velocidade inicial e o ângulo de inclinação do lançamento são escolhidos pelo jogador. A velocidade inicial pode ter um valor máximo, dependendo de acordo entre os jogadores.
- Lançado o projétil, isto é, a partir da segunda jogada, o movimento do projétil é regido pela seguinte lei: suponha que seu movimento anterior tenha sido x unidades horizontais e y unidades verticais e seu movimento atual seja de x' horizontais e y' verticais, então, x' só pode ser igual a x , e y' só pode ser igual a $y-1$.

	Δv_{12}	Δv_{23}	Δv_{34}
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

figura F

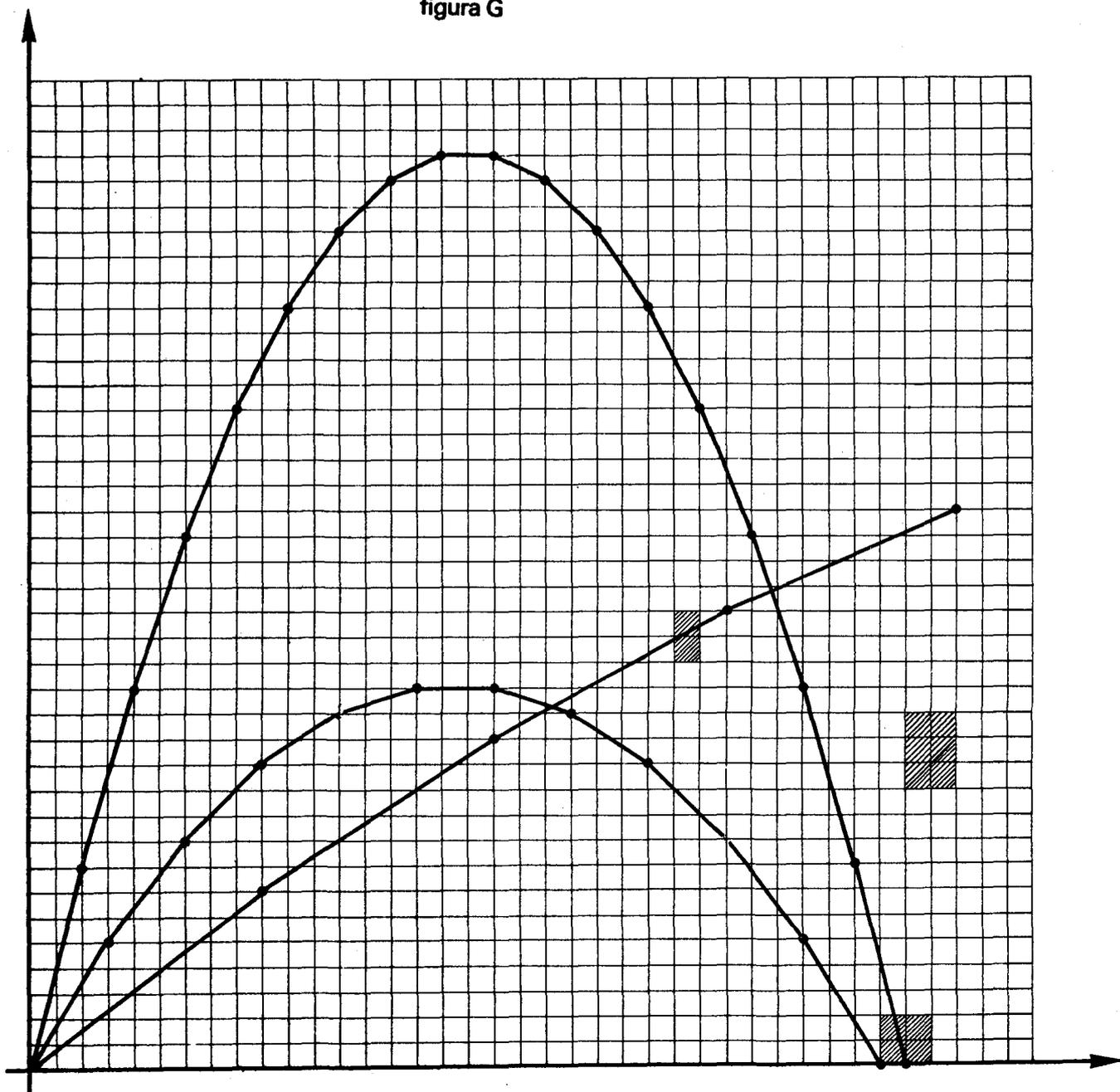
3) É considerado vencedor o jogador cujo projétil acerta o alvo ou, pelo menos, passa mais próximo.

Lançamento de Projéteis também pode ser jogado por uma só pessoa. Nesse caso, seu objetivo é melhorar a pontaria.

Depois de os alunos jogarem algumas vezes, as seguintes perguntas podem ser propostas:

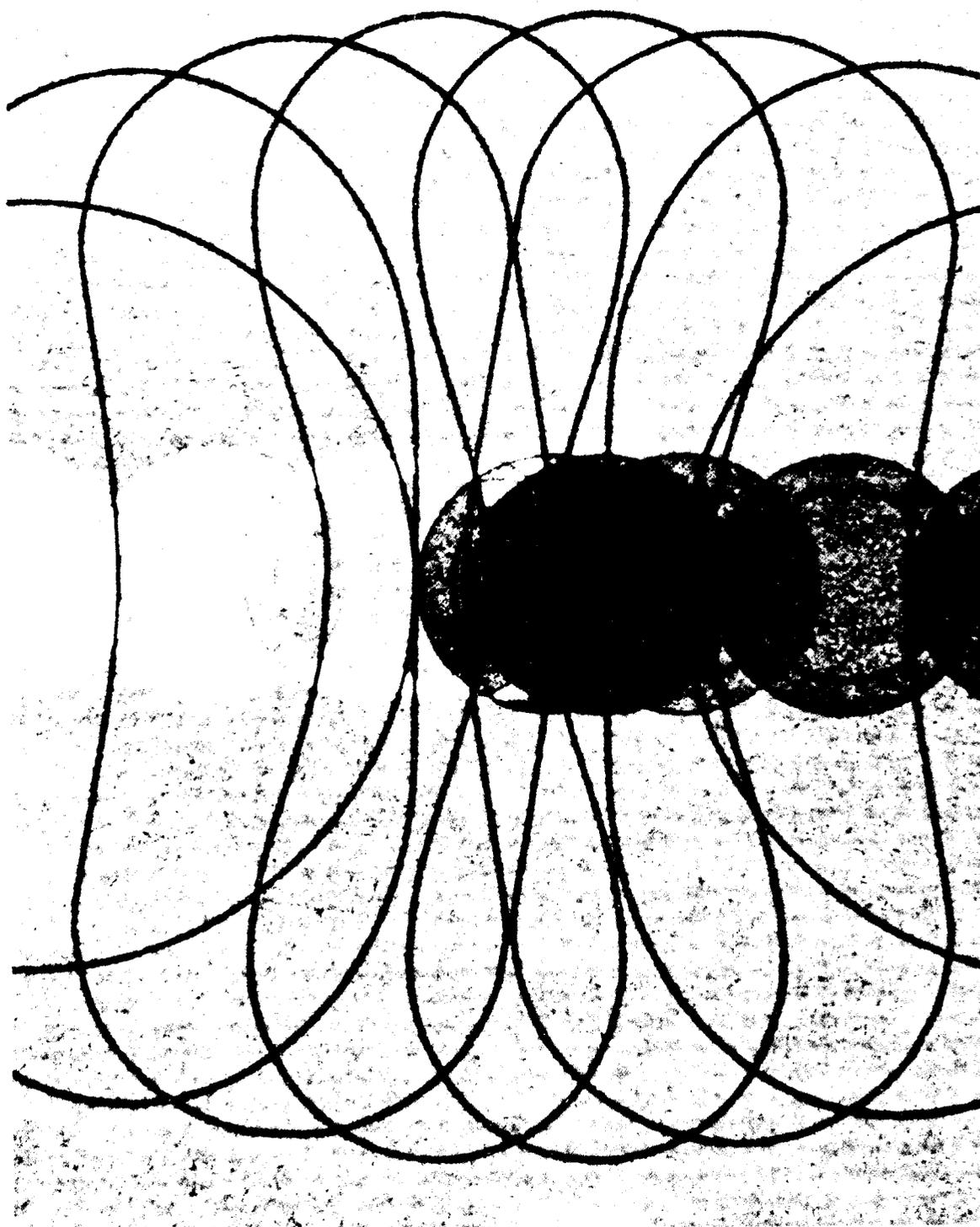
- O que esse jogo tem a ver com esse capítulo ?
- Por que esse jogo simula o lançamento de um projétil ?
- Por que o movimento horizontal dos projéteis é constante ?
- Por que o movimento vertical é acelerado ?
- Você seria capaz de efetuar cálculos, antes de iniciar o jogo, de forma a ter certeza de que não errará o alvo ? Como seriam esses cálculos ?
- Qual a forma da trajetória de um projétil ?
- A figura desenhada corresponde realmente a uma parábola ?

figura G



Quantidade de movimento

9



1. Conteúdo

Introdução – 9-1

1. A medida da quantidade de movimento – 9-2
2. Exercícios de aplicação I – 9-9
3. A lei da conservação da quantidade de movimento – 9-11
4. Exercícios de aplicação II – 9-14
5. Ação e reação – 9-17
6. Exercícios de aplicação III – 9-19

2. Objetivos do capítulo

- a) Definir quantidade de movimento de um corpo e de um sistema de dois corpos.
- b) Dadas a massa e a velocidade de um corpo, calcular e representar graficamente a sua quantidade de movimento.
- c) Dadas a fotografia estroboscópica do movimento de um corpo, a escala da fotografia, a massa do corpo e o intervalo de tempo entre duas posições sucessivas, calcular e representar graficamente a quantidade de movimento desse corpo.
- d) Dadas a fotografia estroboscópica da colisão de dois corpos, a massa de cada corpo, a escala da fotografia e o intervalo de tempo entre duas posições sucessivas, verificar se a quantidade de movimento do sistema se conserva.
- e) Enunciar a lei de conservação da quantidade de movimento.
- f) Aplicar a lei de conservação da quantidade de movimento para resolver situações semelhantes às apresentadas nos exercícios de aplicação II.
- g) Enunciar a lei da ação e reação.
- h) Verificar a lei da ação e reação, dadas a fotografia estroboscópica da interação entre dois corpos, a massa dos corpos, a escala da fotografia e o intervalo de tempo entre duas posições sucessivas.
- i) Aplicar a lei da ação e reação para resolver situações semelhantes às apresentadas nos exercícios de aplicação III.

3. Pré-requisitos

- Medir corretamente com uma régua milimetrada.
- Somar vetores.
- Multiplicar uma grandeza vetorial por uma grandeza escalar.
- Analisar fotografias estroboscópicas.
- Calcular a variação de velocidade vetorial de um corpo em movimento.
- Calcular a aceleração vetorial de um corpo em movimento.

4. Número de aulas previstas

- a) Para o texto principal: 4
- b) Para os exercícios de aplicação: 4
- c) Para a avaliação: 1

5. Sugestões para avaliação

Objetivo b: E1 e E2

Objetivo d: E3

Objetivo f: E8, E9, E11, E12, E13, E14 e E15

Objetivo i: E17, E19 e E20

6. Bibliografia

- 1 – ALVARENGA, B. G. de & LUZ, A. M. R. da. **Física**. 2. ed. Belo Horizonte, B. Alvares, 1969. v. 1, cap. 9.
- 2 – PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE. **Física**. 6. ed. São Paulo, EDART, 1970. v. 3, cap. 23.

7. Comentários sobre o texto

Introdução

Procura motivar o aluno para o estudo da quantidade de movimento.

1. A medida da quantidade de movimento

Essa seção mostra os passos seguidos para se chegar à medida da quantidade de movimento. Primeiramente é sugerida, e logo abandonada, a idéia de considerar a velocidade como medida da quantidade de movimento. Em seguida, é considerada a proposta de Descartes (a quantidade de movimento é o produto $m\vec{v}$) e verificado que esse produto se conserva apenas em casos particulares. Finalmente, a proposta de Newton (a quantidade de movimento é o produto $m\vec{v}$) é aceita através de vários exemplos em que o produto $m\vec{v}$ se conserva.

2. Exercícios de aplicação I

O aluno deve resolver os sete exercícios propostos em classe ou em casa, dependendo da disponibilidade de tempo. Se o professor optar pela segunda hipótese, deve verificar se os alunos conseguiram fazer os exercícios e discutir eventuais dúvidas, pois o assunto é fundamental para o prosseguimento do curso.

E3 – Verifique se a quantidade de movimento do sistema se conserva quando: Uma granada de 1 kg é lançada e explode no ar, dividindo-se em duas partes iguais, no momento em que sua velocidade era de 15 m/s e horizontal. Imediatamente após a explosão, uma das metades estava com velocidade de 30 m/s, vertical para baixo, e a outra com velocidade de $30\sqrt{2}$ m/s para cima, formando um ângulo de 45° com a horizontal.

Comentário:

Calculando a quantidade de movimento de cada um dos pedaços, teremos:

$$1^\circ \text{ pedaço: } \vec{q}_1 = m\vec{v}_1 = 0,5 \text{ kg} \times 30 \text{ m/s} = 15 \text{ kg m/s}$$

$$2^\circ \text{ pedaço: } \vec{q}_2 = m\vec{v}_2 = 0,5 \text{ kg} \times 30\sqrt{2} \text{ m/s} = 15\sqrt{2} \text{ kg m/s} = 21 \text{ kg m/s}$$

A quantidade de movimento após a explosão, calculada pela adição $\vec{q}_1 + \vec{q}_2$ tem o mesmo módulo, direção e sentido da quantidade de movimento antes da explosão, como é mostrado na figura H. Logo, a quantidade de movimento foi conservada.

E7 – Dois automóveis com aproximadamente, a mesma massa (1000 kg), deslocando-se em direções perpendiculares, colidem em uma esquina; a velocidade de um era 50 km/h e a do outro 80 km/h. Supondo que eles tenham ficado presos um ao outro, após a colisão, qual o valor da velocidade que adquiriram imediatamente após o choque?

Comentário:

Para aplicar a lei de conservação da quantidade de movimento, é necessário descobrir qual a quantidade de movimento total antes do choque.

Como a quantidade de movimento é uma grandeza vetorial, é necessário representar em escala a quantidade de movimento de cada um dos carros e somá-las vetorialmente, como indica a figura I.

Calculada a quantidade de movimento total antes da colisão, a velocidade que os carros adquiriram logo após pode ser calculada, aplicando-se a lei de conservação da quantidade de movimento:

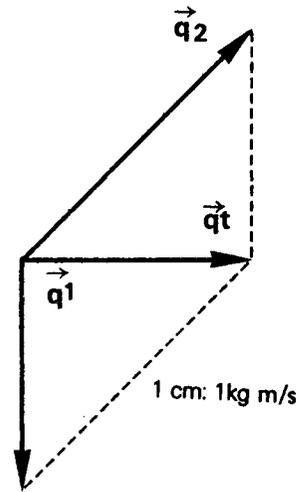
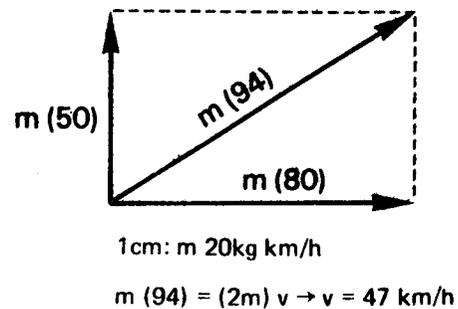


figura H



$$m(94) = (2m)v \rightarrow v = 47 \text{ km/h}$$

figura I

$$q_t = (m + m) v$$

$$96 \times 10^3 \text{ kg} \times \frac{\text{km}}{\text{h}} = (10^3 + 10^3) \text{ kg} \times v \therefore v = 48 \text{ km/h}$$

3. A lei da conservação da quantidade de movimento

No final desta seção o professor deve discutir com a classe a lei de conservação da quantidade de movimento, e em que condições é aplicada. Os dois primeiros problemas da seção seguinte são bons temas para essa discussão. Discuta também os significados de **sistema**, **sistema isolado**, **interno** e **externo ao sistema**.

4. Exercícios de aplicação II

Os problemas E8, E9 e E12 devem ser discutidos em classe. Se não houver disponibilidade de tempo, os demais problemas devem ser feitos em casa.

E9 – Verificou-se que, após a colisão de um próton com velocidade de $1,0 \times 10^7 \text{ m/s}$ com um núcleo de **He** que está em repouso, o próton recuou com velocidade de $6,0 \times 10^6 \text{ m/s}$ e o núcleo de **He** moveu-se para frente com velocidade de $4,0 \times 10^6 \text{ m/s}$. Sendo a massa do próton de $1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$, calcule a massa do núcleo de hélio.

Comentário:

Antes da colisão, só o próton possuía quantidade de movimento e, portanto, a quantidade de movimento total correspondia à do próton.

$$q_t = q_{\text{próton}} = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg} \times 1,0 \times 10^7 \text{ m/s} = 1,7 \times 10^{-20} \text{ kg} \times \text{m/s}$$

Após a colisão, o próton recuou e o **He** passou a se movimentar na mesma direção e sentido do movimento inicial do próton; portanto, após a colisão, o módulo da quantidade de movimento total é dado pela diferença dos módulos das quantidades de movimento do próton e do **He**.

Como o próton recua, sua velocidade fica com o sentido oposto a todas as outras do sistema, e portanto negativa, assim:

$$q_t = q_{\text{He}} - q_p', \text{ sendo } -q_p' \text{ a quantidade de movimento do próton após a colisão.}$$

$$\begin{aligned} 1,7 \times 10^{-20} \text{ kg} \times \text{m/s} &= m_{\text{He}} \times 4,0 \times 10^6 \text{ m/s} - 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg} \times \\ &\times 6,0 \times 10^6 \text{ m/s} = \\ &= m_{\text{He}} \times 4,0 \times 10^6 \text{ m/s} - 1,0 \times 10^{-20} \text{ kg} \times \text{m/s} \therefore 1,7 \times 10^{-20} + 1,0 \times 10^{-20} = \\ &= m_{\text{He}} \times 4,0 \times 10^6 \end{aligned}$$

$$10^{-20} (1,7 + 1,0) = m_{\text{He}} \times 4,0 \times 10^6$$

$$\frac{2,7 \times 10^{-20}}{4,0 \times 10^6} = m_{\text{He}} \therefore m_{\text{He}} = 6,7 \times 10^{-27} \text{ kg.}$$

E12 – A figura 10 da página 9-14 representa as trajetórias de dois prótons que colidem em uma câmara de Wilson. Sabendo que o próton incidente tinha uma velocidade de $5 \times 10^7 \text{ m/s}$ antes do choque e que o outro próton estava praticamente em repouso, determinar as velocidades dos prótons após o choque.

Comentário:

A massa do próton é conhecida de exercícios anteriores e a quantidade de movimento total antes do choque é dada pela quantidade de movimento do próton que se move, portanto:

$$q_t = q_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg} \times 5,0 \times 10^7 \text{ m/s}$$

$$q_t = 1,67 \times 5,0 \times 10^{-20} \text{ kg} \times \text{m/s}$$

Adotando a escala em que 1cm corresponde a

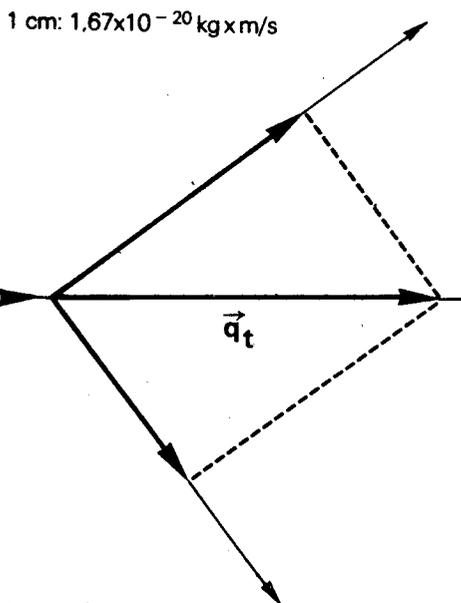


figura J

$1,67 \times 10^{-20} \text{ kg} \times \text{m/s}$, para representar graficamente a quantidade de movimento, são necessários 5,0cm para representar \vec{q}_t (figura J).

Como a quantidade de movimento se conserva, a \vec{q}_t após a colisão também será representada por um vetor de 5,0cm de comprimento; como são conhecidas as direções das quantidades de movimento de cada um dos prótons após a colisão, basta decompor a \vec{q}_t , após o choque nessas direções, para se obter cada uma das quantidades de movimento.

Os valores assim obtidos devem ser $1,67 \times 4,0 \times 10^{-20} \text{ kg} \times \text{m/s}$ e $1,67 \times 3,0 \times 10^{-20} \text{ kg} \times \text{m/s}$. As velocidades são determinadas a partir de $\mathbf{q} = \mathbf{mv}$:

$$1,67 \times 4,0 \times 10^{-20} = 1,67 \times 10^{-27} \mathbf{v} \rightarrow \mathbf{v} = 4,0 \times 10^7 \text{ m/s}$$

$$1,67 \times 3,0 \times 10^{-20} = 1,67 \times 10^{-27} \mathbf{v} \rightarrow \mathbf{v} = 3,0 \times 10^7 \text{ m/s}$$

5. Ação e reação

O princípio da ação e reação é introduzido através do estudo de uma interação lenta. O aluno deve perceber que, em uma interação, as forças que agem sobre cada um dos corpos são iguais em módulo e têm sentidos contrários. Portanto, é fundamental que os alunos trabalhem cuidadosamente sobre o texto, analisando, em detalhes, cada uma das fotografias.

6. Exercícios de aplicação III

Essa série consta de 5 exercícios que o aluno deve resolver. Se não houver condições de discutir todos, pelo menos o E18 deve ser discutido.

8. Sugestões para discussão com os alunos

- P1** — Um satélite artificial descreve movimento circular uniforme em torno da Terra.
- a) Sua quantidade de movimento é constante?
 - b) O satélite é um sistema isolado?
- R1** — a) Não.
- b) Não, justamente porque sua quantidade de movimento não é constante.
- P2** — Um carrinho de 20kg move-se com a velocidade de 2,0m/s. Uma pessoa cuja massa é de 60kg salta do carrinho, de três maneiras diferentes; quando ela atinge o solo:
- a) está-se movendo com a mesma velocidade do carrinho, no primeiro caso;
 - b) não se move relativamente ao solo, no segundo caso;
 - c) move-se com o dobro da velocidade inicial do carrinho, no último caso.
- Em cada caso, calcule a variação de velocidade do carrinho.

Comentário:

Em cada caso, é aplicada a lei de conservação da quantidade de movimento. A quantidade de movimento inicial do sistema carrinho-pessoa é dada por:

$$Q_i = 80 \times 20 = 160 \text{ kg m/s}$$

- a) Como a velocidade da pessoa continua igual a do carrinho, essa velocidade deve ser ainda de 2,0m/s, pois $20\mathbf{v} + 60\mathbf{v} = 160$.

Assim, $\Delta v = 0$, para o carrinho.

- b) Como nesse caso a velocidade da pessoa em relação ao solo é nula, sua quantidade de movimento também é nula, e o carrinho possui a quantidade de movimento inicial:

$$20v = 160 \rightarrow v = 8,0\text{m/s}$$

Assim, $\Delta v = 6,0\text{m/s}$, para o carrinho.

- c) A pessoa move-se com o dobro da velocidade inicial do carrinho, portanto $4,0\text{m/s}$, e sua quantidade de movimento vale $60 \times 4,0 = 240\text{kg m/s}$. Esse valor é maior que a quantidade de movimento inicial do sistema; isto significa que o carrinho agora se movimenta no sentido oposto:

$$20v + 240 = 160$$

$$\therefore v = -4,0\text{m/s}$$

Assim, $\Delta v = -6,0\text{m/s}$, para o carrinho.

- P3** – Dois carrinhos estão parados em cima de uma mesa e ligados por um barbante. Entre eles há uma mola comprimida. Quando o barbante é queimado, a mola se expande e os carrinhos se separam, colidindo com anteparos colocados sobre a mesa, no mesmo instante de tempo. O carro **A** moveu-se $0,45\text{m}$ e o carro **B**, $0,87\text{m}$. Qual é a razão entre:

a) As velocidades de **A** e **B** após a interação?

b) As massas de **A** e **B**?

Comentário:

É aplicado o princípio de conservação da quantidade de movimento.

$$\text{a) } \frac{v_A}{v_B} = \frac{0,45}{0,87} = 0,517$$

$$\text{b) } m_A v_A = m_B v_B \rightarrow \frac{m_A}{m_B} = \frac{v_B}{v_A} = \frac{0,87}{0,45} = 1,93$$

9. Sugestões para outras experiências

O carrinho e o tijolo

Se o professor dispuser de material experimental do P.S.S.C. (carro de dinâmica e marcador de tempo), poderá realizar essa experiência, cuja descrição completa se encontra na página 177 da parte III do P.S.S.C.

A experiência consta do seguinte:

Faz-se um carrinho correr livremente sobre uma mesa horizontal e, em um certo instante, deixa-se cair, verticalmente, um tijolo sobre ele. A massa do tijolo e do carrinho são conhecidas.

A velocidade do carrinho pode ser determinada, antes e depois da queda do tijolo, através da fita marcada pelo marcador de tempo ou por um cronômetro (nesse caso, uma pessoa deve medir o tempo antes da queda, e outra, depois).

Determinadas as velocidades, pode-se verificar se houve conservação da quantidade de movimento do sistema, antes e depois da queda.

Em geral, a experiência permite concluir que a quantidade de movimento **horizontal** do sistema permaneceu aproximadamente constante. Um ponto que pode ser discutido é o que ocorreu com a quantidade de movimento **vertical** do tijolo.



Energia e trabalho

1. Conteúdo

Introdução – 10-1

1. Trabalho – medida da energia transferida – 10-4
2. Energia cinética – 10-6
3. Relação entre trabalho e energia cinética – 10-8
4. Experiência – energia cinética e velocidade na calha – 10-9
5. Trabalho de força não paralela ao deslocamento – 10-12
6. Cálculo do trabalho quando a força não é constante – 10-14
7. Exercícios de aplicação – 10-16

Leitura Suplementar:

Oceano – uma usina solar – 10-21

2. Objetivos do capítulo

- a) Definir trabalho de uma força, quando essa força atua na direção do deslocamento de seu ponto de aplicação.
- b) Definir Joule como unidade de trabalho.
- c) Calcular o trabalho de uma força que atua na direção do deslocamento de seu ponto de aplicação, dado o módulo da força e o deslocamento.
- d) Calcular a energia cinética de um corpo, dadas sua massa e sua velocidade.
- e) Explicar que o trabalho mede a variação da energia cinética e utilizar esse fato para resolver situações semelhantes às apresentadas nas questões Q12, Q13 e Q14.
- f) Verificar experimentalmente, na calha, que a energia cinética de um corpo é proporcional ao quadrado de sua velocidade.
- g) Definir trabalho de uma força não paralela ao deslocamento de seu ponto de aplicação.
- h) Calcular o trabalho de uma força constante qualquer, dada a força e o deslocamento de seu ponto de aplicação.
- i) Dado o gráfico que representa a componente de uma força na direção do deslocamento em função do deslocamento, calcular o trabalho dessa força para um dado deslocamento.
- j) A partir do gráfico que representa a força de uma mola em função de sua deformação, mostrar que o trabalho realizado pela mola é de $\frac{1}{2}Kx^2$, onde K é a constante elástica da mola.
- k) Calcular o trabalho realizado por uma mola, dadas a constante elástica e a deformação da mola.
- l) Definir potência.
- m) Definir Watt como unidade de potência.
- n) Dados a variação de energia e o intervalo de tempo, calcular a potência.

3. Pré-requisitos

- Conceito de aceleração – $a = \Delta v / \Delta t$
- Calcular a velocidade, dados a aceleração, o intervalo de tempo e a velocidade inicial.
- Segunda lei de Newton – $F = ma$.
- Transformação de unidades de massa e de velocidade.

4. Número de aulas previstas

- a) Para o texto principal: 2
- b) Para os exercícios de aplicação: 4
- c) Para a avaliação: 1
- d) Para a leitura suplementar: 1

5. Sugestões para avaliação

Objetivo a: E1

Objetivo d: E2

Objetivo e: E3 e E4
 Objetivo h: E14
 Objetivo i: E15
 Objetivo k: Q34
 Objetivo n: E19

6. Bibliografia

- 1 – ASIMOV, I. **Vida e energia**. São Paulo, Best-Seller, 1965.
- 2 – GOLDEMBERG, J. O Brasil e as armas nucleares. **IN: O Estado de São Paulo**. São Paulo, 20 maio 1973. p. 3.
- 3 – A ciência se volta para o aproveitamento prático de energia solar. **IN: Folha de São Paulo**. São Paulo, 10 jan. 1961. p. 14.
- 4 – PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE. **Física**. 6. ed. São Paulo, EDART, 1970. v. 3, caps. 24, 25 e 26.
- 5 – ROSA, A. V. Como superar o atraso no setor de energia. **IN: Folha de São Paulo**. São Paulo, 23set. 1973. p. 26.

7. Comentários sobre o texto

Introdução

O texto procura mostrar que os alimentos e os combustíveis fósseis acumularam energia vinda do Sol, originada de reações nucleares.

Como exemplo de que o aproveitamento de energia, pelo homem, leva a um progresso material e a transformações econômicas e sociais, é apresentado um pouco da história da máquina a vapor.

1. Trabalho – medida da energia transferida

É apresentado, de forma intuitiva, que a energia dispendida (ou transferida) isto é, **o trabalho**, é proporcional à força aplicada e ao deslocamento efetuado. Talvez, para muitos alunos, esse fato **não** seja intuitivo. Uma discussão com a classe sobre esse ponto poderá ser útil.

As quatro questões apresentadas são, na verdade, quatro problemas e, como tais, devem ser discutidos.

2. Energia cinética

Da mesma maneira intuitiva que na seção anterior, é acentuado que a energia cinética depende da massa do corpo e de sua velocidade.

Entretanto, como a energia cinética depende não linearmente da velocidade, a expressão $\frac{1}{2}mv^2$ só pode ser obtida a partir do cálculo do trabalho.

Na seção seguinte, a expressão $\frac{1}{2}mv^2$ para a energia cinética é mais bem justificada.

Q9 – O velocímetro de um automóvel cuja massa é de 1000kg, marca 108km/h. Qual é a sua energia cinética?

Comentário:

O objetivo é fazer o aluno lembrar e aplicar a relação:

$$1J = 1N \times 1m = 1kg \times 1m^2/s^2$$

Portanto, para calcular a energia em joules a primeira providência é transformar 108km/h em m/s:

$$v = \frac{108km}{1h} = \frac{108000m}{3600s} = 30m/s$$

Em seguida, calcular a energia:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 1000kg \times 30^2 \frac{m^2}{s^2} = 500 \times 900kg \frac{m^2}{s^2} \therefore E_c = 4,5 \times 10^5 J$$

- Q10** – Um caminhão de 10 toneladas de massa corre a 50km/h. Um outro, de 2,5 toneladas de massa, corre a 100km/h. Qual dos dois tem maior energia cinética?

Comentário:

Como a energia cinética depende de v^2 , pode ser difícil para alguns alunos responder à questão sem fazer contas.

No caso, como um caminhão tem massa 4 vezes maior que o outro, mas a metade da velocidade, ambos terão a mesma energia.

Aliás, esse **não** é o objetivo da questão; ao contrário, o aluno deve ser incentivado a fazer as contas e a justificar suas respostas, e não a “chutar” um resultado.

Caminhão 1 –

massa = 2500kg
velocidade = 28m/s

$$E_{c1} = \frac{1}{2} 2500 \times 28^2 = 1250 \times 784 = 9,8 \times 10^5 \text{ J}$$

Caminhão 2 –

massa = 10000kg
velocidade = 14m/s

$$E_{c2} = \frac{1}{2} 10000 \times 14^2 = 5000 \times 196 = 9,8 \times 10^5 \text{ J}$$

- Q11** – Um carrinho carregado e um pequeno automóvel movem-se com a mesma energia cinética. Se ambos são freados pela mesma força, qual dos dois percorrerá maior distância até parar?

Comentário:

O aluno deve pensar em termos de conceito de trabalho. Assim, se os dois móveis possuem a mesma energia cinética, a variação da energia cinética que ambos vão sofrer será a mesma; portanto, o trabalho realizado para parar os móveis será o mesmo.

Sendo **T** o mesmo, e **F** também a mesma, naturalmente a distância será a mesma para os dois, pois $T = F \times d$.

3. Relação entre trabalho e energia cinética

Ao final dessa seção devem ser discutidos, com a classe, os conceitos apresentados:

- Energia cinética como energia de movimento.
- Trabalho como variação da energia cinética de um corpo (ganha ou perdida).

Lembre aos alunos que a expressão $\frac{1}{2}mv^2$ não foi demons-

trada no texto, mas sim no retângulo da página 10-9, e que a experiência apresentada na seção 4 servirá para comprovar que a energia é realmente proporcional ao quadrado da velocidade.

Após a discussão, pode ser interessante que os alunos resolvam os problemas E12 e E13.

- Q12** – Em um certo trajeto, um móvel sofre um aumento de velocidade de 3m/s para 8m/s; sabendo que o trabalho correspondente a essa mudança de velocidade foi de 55J, determine a massa do móvel.

Comentário:

Trabalho mede a variação de energia cinética que um corpo

sofre. Se o móvel mudou o valor de sua velocidade, a energia cinética também variou:

$$T = E_{cf} - E_{ci}$$

Substituindo,

$$55J = \frac{1}{2} m \times 8^2 \text{ (m/s)}^2 - \frac{1}{2} m \times 3^2 \text{ (m/s)}^2$$

$$55J = 32m \text{ (m/s)}^2 - 4,5m \text{ (m/s)}^2 = 27,5m \text{ (m/s)}^2$$

$$m = \frac{55}{27,5} \frac{\text{kg m/s}^2 \times \text{m}}{\text{(m/s)}^2} = 2\text{kg.}$$

Q13 – Que trabalho deve realizar uma força para parar um caminhão de 6000kg de massa, que está a uma velocidade de 72km/h? Qual o valor da força, para que essa freada se dê em 40m?

Comentário:

a) O trabalho realizado corresponde à variação da energia cinética que o caminhão sofre. Se ele está inicialmente a uma velocidade de 72km/h (20m/s), o que corresponde a uma certa energia inicial, sua energia cinética final será zero, ao parar. Portanto, o trabalho realizado será: $T = E_f - 0$

O trabalho realizado corresponde, portanto, à energia inicial que o caminhão possui.

$$T = \frac{1}{2} 6000\text{kg} (20\text{m/s})^2 = 3000 \times 400 \text{kg m}^2/\text{s}^2 = 1,2 \times 10^6 \text{J}$$

b) Conhecido o trabalho e a distância que o caminhão percorre até parar, a força pode ser determinada:

$$T = F \times d \rightarrow 1,2 \times 10^6 \text{J} = F \times 40\text{m} \rightarrow F = 3 \times 10^4 \text{N}$$

4. Experiência – Energia cinética e velocidade na calha

É importante que os alunos tenham clara noção de que vão verificar, experimentalmente, que a energia cinética é proporcional a v^2 . Para isso, devem considerar que a variação da energia cinética é igual ao trabalho, e que a força de atrito é constante (*).

Convém lembrar o que são grandezas diretamente proporcionais e inversamente proporcionais.

Observe que a bolinha deve ser solta na calha sem impulso inicial, o tubo colocado sempre na mesma posição com relação à régua na calha, e a leitura do deslocamento do tubo feita em até décimos de milímetro.

A experiência **não é fácil**, pois, se os dados não forem tomados com muito cuidado, o aluno talvez não possa concluir nada.

5. Trabalho de força não paralela ao deslocamento

Na discussão dessa seção com os alunos, saliente o fato de que a expressão $T = F \times d$ só pode ser usada se a força for paralela ao deslocamento; por isso, é necessário achar uma maneira de calcular o trabalho quando a força não é paralela ao deslocamento.

Esse cálculo pode ser feito de duas maneiras:

- Fazer uma construção gráfica, em escala, para obter a componente horizontal F_H , e utilizá-la na expressão $T = F_H \times d$.
- Utilizar diretamente a expressão $T = F \times d \times \cos \alpha$ onde α é o ângulo entre a força F e a direção de deslocamento. Essa solução pode ser utilizada se o aluno tiver conhecimento sobre o que é co-seno de um ângulo e seu respectivo valor.

No final, peça aos alunos que façam o E14.

Q28 – Um corpo de peso 10N é deslocado horizontalmente de

(*) A velocidade medida durante a experiência é a velocidade de translação. Como a linha rola, deveria ser considerada também a energia cinética de rotação $1/2 \times I \omega^2$. No caso de uma bolinha, $I = 2/5 \times m r^2$ (onde r é o raio da bolinha) e ω , sua velocidade angular, é dada por v/r e a energia cinética total será $E_C = 5/6 \times (1/2 \times m v^2)$. Como o objetivo da experiência é apenas verificar a dependência da energia cinética com v^2 , os efeitos de rotação não precisam ser discutidos.

2 m, sobre uma mesa plana, por meio de uma força horizontal de 4N. Qual o trabalho realizado pela força-peso? (Note que ela é perpendicular ao deslocamento.)

Comentário:

O trabalho realizado pela força de 4N pode ser calculado diretamente por $T = F \times d$, uma vez que essa força F é paralela ao deslocamento do corpo, assim:

$$T = F \times d = 4N \times 2m = 8J$$

Quanto ao trabalho realizado pela força-peso, argumente que o peso, sendo uma força que tem direção vertical, não promove o deslocamento do corpo na horizontal e o trabalho que realiza nessa direção é nulo.

Q29 – É constante a energia cinética de um satélite em órbita perfeitamente circular, tendo a Terra no centro de sua trajetória?

Comentário:

O único exemplo de satélite que o aluno viu durante o curso tinha uma trajetória elíptica e sua velocidade variava durante o percurso. No caso da questão 29, a trajetória é circular e a velocidade constante (caso da Lua) e, na verdade, o aluno não tem elementos para descobrir que a energia é constante porque a velocidade é constante; esse ponto deve ser debatido com a classe.

Q30 – Em meia volta, quanto vale o trabalho da força que a Terra exerce sobre esse satélite?

Comentário:

Recorra ao conceito de trabalho: trabalho é a variação da energia cinética; como a energia cinética desse satélite é constante, não existe variação e portanto o trabalho é nulo.

Q31 – Se a direção da força \vec{F} do exemplo anterior formasse um ângulo de 30° com a horizontal, qual seria o trabalho correspondente?

Comentário:

O objetivo deste exercício é fazer com que o aluno construa, graficamente, em escala, a força \vec{F} e ache \vec{F}_H para utilizar na expressão $T = F_H \times d$.

Assim, se na escala em que 1,0cm corresponde a 5,0N, a medida de F_H é 1,8cm, F_H vale aproximadamente 9,0N. Portanto o trabalho pode ser calculado por $T = 9,0N \times 1,2m = 10,8J$.

6. Cálculo do trabalho quando a força não é constante

Até aqui foi estudado o trabalho realizado por uma força constante.

O objetivo dessa seção é calcular o trabalho realizado por uma força cujo valor não é constante. Esse cálculo é feito através das áreas das figuras que aparecem nos gráficos de $F \times d$.

Como exemplo desse tipo de cálculo, é determinado o trabalho realizado sobre uma mola para deformá-la, assunto que será retomado no capítulo 11.

Ao final dessa seção peça aos alunos que façam o E15.

7. Exercícios de aplicação

E4 — Uma força de 10,0N age sobre um disco de 2kg de massa, que estava inicialmente em repouso sobre uma mesa horizontal lisa. O disco percorre então a distância de 3,0m sob a ação da força.

- Quanto trabalho foi realizado pela força?
- Quanta energia foi transferida ao disco?
- Qual a velocidade final adquirida pelo disco?

Comentário:

- Como a força é paralela ao deslocamento, o trabalho pode ser calculado por $T = F \times d$. Portanto, $T = 10,0N \times 3,0m = 30,0J$.
- O trabalho realizado mede a variação da energia cinética do disco. Portanto, a energia transferida ao disco foi 30J.
- Como o disco estava inicialmente em repouso, sua energia cinética inicial era zero. Assim, a energia transferida (30J) foi transformada em energia cinética, o que permite calcular a velocidade:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow 30J = \frac{1}{2} \cdot 2,0kgv^2$$

$$30J = 1,0kgv^2 \rightarrow v = \sqrt{30}m/s = 5,5m/s$$

E5 — Compare, em cada caso, a energia cinética de dois objetos **A** e **B** em movimento, cuja diferença é a seguinte:

- A** tem o dobro da velocidade de **B**.
- A** está-se dirigindo para o norte e **B**, para o sul.
- A trajetória de **A** é retilínea e a de **B**, curvilínea.
- A massa de **A** é o dobro da de **B**.

Comentário:

- As massas são iguais, mas **A** tem o dobro da velocidade, assim,

$$E_{cA} = \frac{1}{2}m(2v)^2 = \frac{1}{2}m \times 4v^2 = 2mv^2$$

$$E_{cB} = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{Portanto, } E_{cA} = 4E_{cB}$$

- Como a energia cinética depende apenas da massa e da velocidade, qualquer outra mudança não modifica o valor da energia; assim: $E_{cA} = E_{cB}$.

- A forma da trajetória também não modifica o valor da energia, logo:

$$E_{cA} = E_{cB}$$

- $E_{cA} = \frac{1}{2}(2m)v^2 = mv^2$

$$E_{cB} = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{Portanto, } E_{cA} = 2 \times E_{cB}$$

E6 — Um corpo de 200g de massa é lançado verticalmente, para cima, a uma velocidade inicial de 20m/s. Em que instantes a energia cinética do corpo vale 10J?

Comentário:

Em primeiro lugar o aluno terá de descobrir a que velocidade

de deve estar o corpo para que sua energia seja 10J; assim:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow 10 = \frac{1}{2}0,2v^2 \rightarrow 20 = 0,2v^2 \rightarrow v^2 = 100 \rightarrow v = 10\text{m/s.}$$

Sua velocidade de lançamento é de 20m/s e a aceleração da gravidade de 10m/s², o que permite construir o gráfico da velocidade em função do tempo. Pelo gráfico, os instantes procurados são 1,0 e 3,0s, pois correspondem aos instantes em que o módulo da velocidade é 10m/s.

E7 – Quantas quilocalorias são ingeridas por uma pessoa cuja refeição consta de 200g de carne, 400g de arroz, 150g de batatas fritas e um copo (100g) de leite? Veja a tabela 3 (na página 10-16).

Comentário:

A tabela 3 fornece a energia correspondente aos alimentos em kcal/kg. Portanto:

0,20kg de carne corresponde a 3880kcal/kg x 0,20kg (776kcal);

0,40kg de arroz corresponde a 1270kcal/kg x 0,40kg (508kcal);

0,15kg de batata corresponde a 890kcal/kg x 0,15kg (133,5kcal);

0,10kg de leite corresponde a 730kcal/kg x 0,10kg (73kcal).

Assim, a quantidade de quilocalorias ingeridas é:

$$776\text{kcal} + 508\text{kcal} + 133,5\text{kcal} + 73\text{kcal} = 1490,5\text{kcal.}$$

E15 –Um corpo é acelerado por uma força cujo gráfico de sua variação, em função da distância percorrida, está representado na figura 17 (página 10-18). A massa do corpo é de 200kg. Calcule:

- a) O trabalho relativo ao percurso de 70m.
- b) A aceleração ao fim de 100m.
- c) O trabalho total realizado entre 0 e 170m.
- d) A velocidade final do corpo após o percurso de 170m (a velocidade inicial do corpo era $\sqrt{330}$ m/s).

Comentário:

a) Dado um gráfico de **F** x **d**, o trabalho realizado por essa força será dado pela área da figura limitada pelo eixo das abscissas e a curva que representa a função.

Entre 0 e 70m, a figura é um trapézio de bases 200N e 600N e a sua altura é de 70m, então:

$$T = \frac{(200 + 600) 70}{2} = 2,8 \times 10^4 \text{ J}$$

Em vez de calcular a área do trapézio, muitas vezes os alunos acham mais fácil dividi-la em um quadrado (200N x 70m) e um triângulo ($\frac{1}{2}$ 70m x 400N), o que também leva ao cálculo de **T** = 2,8 x 10⁴ J.

b) Entre 70 e 100m a força é constante com valor 600N, portanto, a aceleração do movimento será constante e poderá ser calculada por **F** = **ma**. Portanto, 600N = 200kg x **a**, o que leva a: **a** = 3m/s².

c) Entre 0 e 150m o trabalho realizado é positivo, isto é, a variação da energia é positiva (está aumentada a energia do corpo); de 150 a 170m o trabalho é negativo, o que indica que a energia do corpo está diminuindo.

Para calcular a área de 0 a 150m podemos somar as áreas de um trapézio, um retângulo e um triângulo.

$$T_1 = 2,8 \times 10^4 \text{ J}; T_2 = 30 \times 600 = 1,8 \times 10^4 \text{ J}; T_3 = \frac{600 \times 50}{2} = 1,5 \times 10^4 \text{ J.}$$

Para calcular o trabalho (negativo) de 150 a 170m, podemos calcular a área de um retângulo:

$$T_4 = - 200 \times 20 = - 4 \times 10^3$$

Portanto, o trabalho total realizado é a soma algébrica de T_1, T_2, T_3 e T_4 :

$$T_t = 2,8 \times 10^4 + 1,8 \times 10^4 + 1,5 \times 10^4 - 0,4 \times 10^4$$

$$T_t = 10^4 (2,8 + 1,8 + 1,5 - 0,4)$$

$$T_t = 5,7 \times 10^4 \text{ J}$$

- d) Conhecida a velocidade inicial do corpo ($\sqrt{330}\text{m/s}$) e sua massa (200kg), podemos calcular a energia cinética inicial do corpo:

$$E_{ci} = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} 200 \times 330 = 3,3 \times 10^4 \text{ J.}$$

O trabalho total realizado no deslocamento de 0 a 170m ($5,7 \times 10^4 \text{ J}$) corresponde à variação de energia cinética do corpo; isso permite calcular sua energia cinética final:

$$E_{cf} - E_{ci} = T_t \rightarrow E_{cf} - 3,3 \times 10^4 = 5,7 \times 10^4 \rightarrow E_{cf} = 9 \times 10^4 \text{ J}$$

Determinada sua energia cinética final, pode ser determinada sua velocidade final:

$$E_{cf} = \frac{1}{2} mv_f^2 \rightarrow 9 \times 10^4 = \frac{1}{2} 200 \times v_f^2 \rightarrow v_f^2 = \frac{9 \times 10^4}{10^2} = 9 \times 10^2 \rightarrow v_f = \sqrt{9 \times 10^2} = 30 \text{ m/s.}$$

- E16** – Uma certa máquina **A** eleva verticalmente um corpo de massa 1,0kg a 20,0m de altura em 10s, em movimento uniforme. Outra máquina **B** acelera, em uma superfície horizontal lisa, um corpo de massa 3,0kg do repouso à velocidade de 10m/s, em 2,0s.

- a) De quanto foi o trabalho realizado por cada máquina?
 b) Qual a potência desenvolvida por cada máquina?

Comentário:

- a) Para elevar o corpo na vertical com velocidade constante a primeira máquina precisa exercer uma força igual ao peso do corpo. O trabalho é realizado por uma força igual ao peso que eleva o corpo de massa 1,0kg a 20,0m de altura.

$$T = F \times d \rightarrow T = P \times d = m \times g \times d = 1,0 \times 10 \times 20,0 = 200,0 \text{ J}$$

A segunda máquina acelera o corpo, do repouso à velocidade de 10m/s; portanto, o trabalho realizado corresponde à variação da energia cinética do corpo.

$$T = \Delta E_c = E_f - E_i = \frac{1}{2} 3,0 \times 10^2 - 0 = 1,5 \times 100 = 1,5 \times 10^2 \text{ J}$$

- b) Potência corresponde à razão entre o trabalho realizado e o intervalo de tempo para realizá-lo. Para a máquina **A**:

$$P_A = \frac{T}{\Delta t} = \frac{200 \text{ J}}{10 \text{ s}} = 20 \text{ W.}$$

Para a máquina **B**:

$$P_B = \frac{T}{\Delta t} = \frac{\Delta E_c}{\Delta t} = \frac{150 \text{ J}}{2,0 \text{ s}} = 75 \text{ W.}$$

Isto significa que se a máquina **B** realizasse o mesmo trabalho que **A**, ela o faria em um intervalo de tempo menor, pois é mais **potente**.

Leitura suplementar:

Oceano: uma usina solar

Essa leitura é baseada no artigo de Clarence Zener, publicado na revista **Physics Today**, de janeiro de 1973. Nessa revista são discutidos alguns problemas da energia nuclear, no número de agosto de 1973, e da energia solar, no de dezembro de 1973.

8. Sugestões para discussão com os alunos

- P1** – Que energia é transferida a uma mala de 10kg, enquanto:
- Você a segura durante 10 minutos, esperando um ônibus?
 - Você corre, com ela, uma distância horizontal de 9m em 3 segundos, a velocidade constante, para alcançar o ônibus?
 - Você a suspende 1 metro para subir no ônibus?

Comentário:

- Nessa situação, não há transferências de energia para a mala, ou seja, não é realizado trabalho, pois não há deslocamento.
- A energia transferida para a mala corresponde à energia cinética adquirida pela mala: $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} 10 \times 9 = 45\text{J}$.

Observe que se pede o trabalho realizado sobre a mala e não o trabalho realizado pela força-peso da mala, que deve ser nulo, se o deslocamento da mala foi horizontal.

- A energia transferida corresponde ao trabalho realizado pela força-peso da mala ao suspendê-la, mgh , que vale $10 \times 10 \times 1 = 100\text{J}$.

- P2** – Compare o trabalho realizado pela força-peso de um corpo de 10kg quando é suspenso a uma altura de 5m, com a energia cinética que esse corpo adquire ao cair dessa mesma altura, a partir do repouso. Considere $g = 10\text{m/s}^2$.

Comentário:

Nesta altura do curso o aluno ainda não conhece a conservação de energia e a energia potencial.

O trabalho realizado pela força-peso (100N) vale 500J.

Quando o corpo cai de uma altura de 5m, a velocidade com que atinge o solo é de 10m/s, pois o tempo de queda é 1,0s. Esse valor pode ser calculado através da área do gráfico $v \times t$, que corresponde à altura de queda e vale $\frac{1}{2}vt$, como

$$v = gt, e = \frac{1}{2}gt^2, \text{ o que permite calcular o tempo de queda.}$$

Assim, a energia cinética do corpo vale $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} 10 \times 100 = 500\text{J}$ e é igual ao trabalho realizado pela força-peso.

9. Sugestões para outras experiências

Não há sugestões para outras experiências nesse capítulo.

Conservação de energia

11



1. Conteúdo

Introdução

1. Energia potencial de uma mola – 11-2
2. Trabalho e energia potencial – 11 - 4
3. Energia potencial gravitacional – 11-6
4. Energia mecânica – 11-9
5. Exercícios de aplicação – 11-12
6. Energia térmica (texto optativo) – 11-14
7. Energia cinética dos gases (texto optativo) – 11-16

Leitura Suplementar:

O sentido do tempo – 11-19

2. Objetivos do capítulo

Ao fim do capítulo o aluno deverá ser capaz de:

- a) Enunciar a lei de conservação de energia.
- b) Explicar que há diversas formas de energia que se transformam umas nas outras. Exemplificar.
- c) Explicar o que é a energia potencial de uma mola em função de sua deformação.
- d) Calcular a energia potencial de uma mola, dadas a deformação e a constante elástica da mola.
- e) Calcular a energia potencial de um corpo dados sua massa, a aceleração da gravidade e a distância ao solo.
- f) Explicar que, para forças conservativas, o trabalho mede a variação de energia potencial de um corpo.
- g) Explicar o que é energia mecânica de um corpo no campo gravitacional.
- h) Usar a lei de conservação de energia para resolver situações semelhantes às apresentadas nos exercícios de aplicação.
- i) Explicar o papel do atrito na transformação de energia mecânica em térmica (texto optativo).
- j) Explicar o que se entende por energia térmica de um corpo e como se pode aumentá-la ou diminuí-la (texto optativo).
- k) Explicar a dependência da temperatura de um corpo com a energia cinética média dos seus átomos (texto optativo).
- l) Expressar a pressão de um gás em função do número de partículas, volume e energia cinética de cada partícula (texto optativo).
- m) Enunciar as leis de Boyle-Mariotte e de Charles (texto optativo).
- n) Relacionar, através de uma expressão, pressão, volume e temperatura de um gás perfeito (texto optativo).
- o) Relacionar energia cinética e temperatura (texto optativo).

3. Pré-requisitos

Os pré-requisitos que o aluno deve preencher para iniciar o capítulo 11 são:

- a) Relacionar a variação de energia cinética de um corpo com o trabalho realizado.
- b) Analisar uma foto estroboscópica.
- c) Calcular o trabalho necessário para deformar uma mola.
- d) Calcular o trabalho realizado por uma força.
- e) Calcular velocidades e acelerações.
- f) Explicar o que é 1 joule.
- g) Distinguir/peso e massa.

4. Número de aulas previstas

- a) Para o texto principal: 3
- b) Para os exercícios de aplicação: 3
- c) Para a avaliação: 1
- d) Para o texto optativo: 1,5
- e) Para a leitura suplementar: 0,5

5. Sugestões para avaliação

Objetivo **d**: E1, E2 e E3

Objetivo **e**: E10

Objetivo **h**: E4, E5, E6, E7, E8 e E9

Os objetivos restantes podem ser avaliados através de questões discursivas.

6. Bibliografia

- 1 – MEC, PREMEN, CECISP. Ciência integrada: versão experimental. 1974.
O capítulo 2 trata de conservação de energia, formas de energia e sua utilização.
- 2 – PAVAN, C. & CUNHA, A. B. da. **A energia atômica e o futuro do homem**. São Paulo, Ed. Nacional, EDUSP, 1968. (Biblioteca Universitária. Sér. 3. Ciências Puras, 17).

7. Comentários sobre o texto

Introdução

É apresentada a lei de conservação de energia como uma lei natural. A analogia feita por Feynman pode parecer infantil e demasiado simples para alguns alunos, entretanto, lá estão colocadas as idéias básicas sobre a lei de conservação que serão usadas durante todo o capítulo.

É importante que os alunos saibam o que significa a conservação de energia, senão encontrarão muitas dificuldades nas seções seguintes.

Para ajudar a compreensão, após a leitura da introdução, pode ser feita uma discussão sobre o quadro mostrado na página 11-18.

Essa discussão deve ser acompanhada de cálculos que mostrem a conservação de energia durante os diversos processos que ocorrem aqui na Terra, bem como as diversas transformações das formas de energia.

1. Energia potencial de uma mola

Nessa seção, o aluno preenche uma tabela com as energias cinética e potencial elástica de um sistema constituído de uma mola e um disco. Para o cálculo da energia potencial elástica, a partir da variação da energia cinética, é necessário que o aluno entenda muito bem a situação mostrada na figura 1; se preciso, o professor deve esclarecer, antes, à classe, o significado dessa figura.

Q1 – Calcule a energia cinética do disco nos vários instantes e preencha a 3ª coluna da tabela 1.

Comentário:

Observe que para calcular a energia cinética só é necessária a massa do disco de 1,0kg, dada no texto, e de sua velocidade nas diversas posições, que estão na tabela 1. Não há necessidade de **x**, variação do comprimento da mola dado em metros (m) que, às vezes, o aluno confunde com a massa **m** do disco.

Q5 – Calcule a energia potencial da mola em cada posição representada na figura 1, ela corresponde à variação de energia

cinética do disco. Utilize os dados da tabela 1 e preencha a 4ª coluna dessa tabela.

Comentário:

Ao explicar a figura 1 para os alunos, faça-os ver que, entre a 1ª e 2ª posições, o disco está deslizando sem atrito e ainda não começou a comprimir a mola; nesse caso, sua velocidade e sua energia cinética permanecem constantes e a energia potencial da mola ainda é nula.

Na 3ª posição o disco já está comprimindo a mola e sua energia cinética diminuiu, passando de 0,020J para 0,0101J; assim, pela conservação da energia, a energia cinética que o disco perdeu foi adquirida pela mola em forma de energia potencial, ou seja 0,0099J. Na 4ª posição, o disco comprimiu a mola ao máximo pois sua velocidade se anulou; nessa posição sua energia cinética é zero e a mola tem a máxima energia potencial que poderia adquirir do disco, isto é, 0,020J.

A partir daí, o processo é inverso: a mola é que fornece energia para o disco, fazendo com que ele entre em movimento e aumente sua velocidade.

2. Trabalho e energia potencial

É dada uma definição de energia potencial como sendo igual ao trabalho realizado sobre a mola.

Q12 – Qual a energia potencial armazenada na mola quando ela é comprimida de 15cm para 14cm? Suponha que a constante da mola é 100N/m.

Comentário:

Observe que a constante **k** da mola é dada em N/m, o que implica que **x**, variação do comprimento da mola, também deve ser dado em metros, portanto **x** = 0,01m.

$$E_p = \frac{1}{2} kx^2$$

$$E_p = \frac{1}{2} 100\text{N/m} (10^{-2})^2 \text{m}^2 = 50\text{N/m} \times 10^{-4} \text{m}^2 = 5,0 \times 10^{-3} \text{J}$$

Q14 – Se o disco tem massa de 1,0kg, e incide sobre a mola com a velocidade inicial 2,0m/s, qual é a energia mecânica total do sistema?

Comentário:

A velocidade inicial do disco corresponde a uma situação anterior ao início da compressão da mola; nesse caso, a energia mecânica total do sistema disco-mola corresponde apenas à energia cinética do disco:

$$E_m = E_c = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} 1,0\text{kg} (2,0)^2 \text{m}^2/\text{s}^2 = 2,0\text{J}$$

Q15 – No mesmo caso da questão anterior, qual será a compressão máxima (**x_{max}**) da mola, se a constante **k** vale 100n/m?

Comentário:

A mola estará na situação de compressão máxima quando a energia do sistema for a energia potencial da mola, isto é, quando o disco estiver com energia cinética nula.

A energia mecânica deste sistema é 2J, portanto:

$$E_p = \frac{1}{2} kx^2 \therefore 2\text{J} = \frac{1}{2} 100\text{kg} x_{\text{max}}^2$$

$$\therefore x_{\text{max}} = 0,2\text{m}$$

3. Energia potencial gravitacional

É muito importante conceituar a energia potencial gravitacional como trabalho realizado pela força gravitacional. Um ponto importante a ser ressaltado é que o valor da energia potencial depende da altura do corpo em relação a um nível de referência. Em geral, os alunos encontram dificuldade em entender que o importante é a **diferença** de energia potencial e não o seu valor, em determinada posição, que pode ser arbitrário.

4. Energia mecânica

No início da seção há uma experiência simples de atritar o lápis em papel para provocar aquecimento. Às vezes, os alunos não fazem a experiência e não sabem o que responder nas questões seguintes. Se for esse o caso, mande que eles façam a experiência antes de responder às perguntas.

No final da seção há uma experiência para a qual são necessárias a calha e uma bolinha.

Q28 – Um tijolo de massa 1,0kg cai, a partir do repouso, de uma altura de 4m. Qual é sua velocidade ao atingir o solo?
Considere $g = 10\text{m/s}^2$

Comentário:

Quando o tijolo está a 4m de altura, possui energia potencial que é igual a sua energia cinética ao chegar ao solo.

$$E_{p_{\text{inicial}}} = mgh = 1,0\text{kg} \times 10\text{m/s}^2 \times 4\text{m} = 40\text{J}$$

$$E_{c_{\text{final}}} = E_{p_{\text{inicial}}}$$

$$40\text{J} = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} 1,0\text{kg} v^2$$

$$\therefore v = 4\sqrt{5}\text{m/s}$$

Q29 – O mesmo tijolo é atirado verticalmente para cima com a velocidade inicial de 5m/s. Qual é a sua velocidade depois de ter subido 1m?

Comentário:

Ao ser lançado, o tijolo possui uma energia cinética que vai diminuindo à medida que a energia potencial cresce, de tal forma que a energia cinética perdida até a altura de 1m é igual à energia potencial adquirida pelo tijolo até aquela altura:

$$E_{c_{\text{inicial}}} - E_{c_{\text{final}}} = E_p$$

$$\frac{1}{2} 1,0\text{kg} \times 25\text{m}^2/\text{s}^2 - \frac{1}{2} 1,0\text{kg} \times v_f^2 = 1,0\text{kg} \times 10\text{m/s}^2 \times 1\text{m}$$

$$12,5 - \frac{1}{2} v_f^2 = 10$$

$$\therefore 2,5\text{J} = \frac{1}{2} v_f^2 \text{ J} \rightarrow v_f^2 = 5,0 \rightarrow v_f = \sqrt{5,0}\text{m/s}$$

Q30 – Que altura máxima atingirá o tijolo citado na questão anterior?

Comentário:

O tijolo irá subir até que sua energia cinética se torne nula e sua energia potencial máxima, isto é, com valor igual ao da energia cinética inicial.

$$E_{P_{\text{final}}} = E_{c_{\text{inicial}}} = \frac{1}{2} 1,0\text{kg} \times 5^2 \text{m}^2/\text{s}^2 = 12,5\text{J}$$

$$E_{P_{\text{final}}} = 12,5\text{J} = mgh$$

$$12,5\text{J} = 1,0\text{kg} \times 10\text{m/s}^2 \times h$$

$$\therefore h = 1,25\text{m}$$

5. Exercícios de aplicação

E1 Uma mola de constante $k = 10,0\text{N/m}$ foi distendida de $0,3\text{m}$.

- Qual é o valor máximo da força aplicada?
- Qual é o trabalho realizado?
- Qual é a energia potencial da mola?

Comentário

a) A força que atua sobre uma mola é proporcional à variação de seu comprimento:

$$F = kx = 10,0\text{N/m} \times 0,3\text{m} = 3\text{N}$$

b) O trabalho realizado sobre a mola corresponde à área da

figura no gráfico da $F \times x$, ou seja $\frac{1}{2} kx^2$:

$$T = \frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} \times 10,0\text{N/m} (0,3)^2 \text{m}^2 = 0,45\text{J}$$

c) A energia potencial da mola corresponde ao trabalho realizado, portanto $0,45\text{J}$.

E2 – Uma mola de constante 10N/m , comprimida, inicialmente, de 3cm , empurra um corpo de massa 10g sobre uma mesa lisa. Quais são a energia cinética e a velocidade final adquiridas pelo corpo?

Comentário:

A energia cinética que a mola fornece ao corpo é igual à energia potencial que ela possui:

$$E_{c_{\text{corpo}}} = E_{p_{\text{mola}}} = \frac{1}{2} 10\text{N/m} \times 0,03^2 \text{m}^2 = 4,5 \times 10^{-3}\text{J}$$

$$E_{c_{\text{corpo}}} = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow 4,5 \times 10^{-3}\text{J} = \frac{1}{2} \times 0,010\text{kg} \times v^2$$

$$\frac{9,0 \times 10^{-3}\text{J}}{10^{-2}} = v^2 \rightarrow v \cong 0,93\text{m/s}$$

E3 – Uma mola de 10cm de comprimento foi comprimida de 4cm . Ao ser solta, empurrou um disco de massa $0,10\text{kg}$, que atingiu a velocidade de $2,0\text{m/s}$. Qual é a constante k da mola?

Comentário:

A energia potencial que a mola possui é cedida para o disco em forma de energia cinética:

$$E_{p_{\text{mola}}} = E_{c_{\text{disco}}} = \frac{1}{2} \times 0,10\text{kg} \times 2,0^2 \text{m}^2/\text{s}^2 = 0,2\text{J}$$

$$E_p = 1/2 \times k \times x^2$$

$$0,2 = 1/2 \times k \times 0,04^2 \rightarrow k = 250\text{N/m}$$

E4 – Uma mola de constante 50N/m acelera um corpo de massa 100g. Num determinado instante, a velocidade do corpo era de 2m/s e a compressão da mola de 20cm.

- a) Qual a energia cinética final adquirida pelo corpo?
b) Qual a compressão máxima da mola?

Comentário:

O problema se refere a uma situação do sistema mola-corpo em que, tanto o corpo possui energia cinética como, a mola, energia potencial. Nessa situação, a energia mecânica do sistema

$$E_m \text{ vale } E_c + E_p.$$

$$E_m = \frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} \times 0,100\text{kg} \times 2^2 \text{m}^2/\text{s}^2 + \frac{1}{2} \times 50\text{N/m} \times 0,20^2 \text{m}^2$$

$$E_m = 0,2\text{J} + 1,0\text{J} = 1,2\text{J}$$

a) No final, o corpo adquire toda a energia do sistema sob a forma de energia cinética; portanto: $E_c = 1,2\text{J}$.

b) Quando a mola estiver com a compressão máxima, estará com toda a energia do sistema; portanto:

$$E_p = 1/2 \times kx^2$$

$$1,2\text{J} = \frac{1}{2} 50\text{N/m} \times x_{\text{max}}^2 \rightarrow x_{\text{max}} \cong 0,22\text{m}.$$

E5 – Um bloco é abandonado em um plano inclinado como indica a figura 4 e nele desliza sem atrito. Determinar a velocidade com que o bloco atinge a parte horizontal.

Comentário:

A energia potencial no alto do plano inclinado é igual à energia cinética com que o bloco chega na parte horizontal:

$$mgh = \frac{1}{2} mv^2 \rightarrow gh = \frac{1}{2} v^2 \rightarrow v = \sqrt{2gh}$$

$$v = \sqrt{2 \times 10\text{m/s}^2 \times 0,20\text{m}} = 2,0\text{m/s}.$$

E6 – Um pêndulo de massa 10g é empurrado, adquirindo uma energia cinética de 0,10J no ponto mais baixo de sua trajetória. Determine a altura máxima que o pêndulo atinge (figura 5).

Comentário:

A energia cinética no ponto mais baixo da sua trajetória é igual à energia potencial no ponto mais alto. Assim:

$$E_c = E_p = mgh$$

$$0,10\text{J} = 0,10\text{kg} \times 10\text{m/s}^2 \times h \rightarrow h = 1,0\text{m}$$

E8 – Uma lâmpada, cuja massa é 0,1kg, cai do alto de um prédio; após 25m de queda, ela atinge a velocidade de 20m/s. Qual foi a perda de energia mecânica devida ao atrito com o ar?

Comentário:

Após cair 25 metros, a lâmpada diminuiu sua energia po-

tencial de $0,1\text{kg} \times 10\text{m/s}^2 \times 25\text{m}$ (mgh), isto é, de 25J. Esse valor deve corresponder ao valor da energia cinética após 25m de queda; em caso negativo, houve perda de energia mecânica devida à resistência do ar.

A energia cinética efetivamente adquirida pela lâmpada ($\frac{1}{2}mv^2$) vale $\frac{1}{2} \times 0,1\text{kg} \times (20)^2\text{m}^2/\text{s}^2$, isto é, 20J.

Como E_p é maior que E_c , a energia perdida para o ar vale 5J.

6. Energia térmica (texto optativo)

A energia térmica é apresentada como sendo a energia cinética do movimento desordenado de átomos e moléculas. Também é discutido como o atrito entre superfícies pode transformar energia cinética macroscópica em energia térmica.

As quatro questões colocadas no texto não são difíceis e estão comentadas nas respostas.

Apesar de essa seção ser optativa, os alunos devem ser incentivados a lê-la e discuti-la, pois a transformação de energia mecânica em energia térmica através do atrito é um processo importante para a compreensão da lei de conservação de energia.

7. Teoria cinética dos gases (texto optativo)

Esta é uma seção bastante difícil para o aluno, pois apresenta uma quantidade enorme de informações. Se o professor estiver realmente interessado nesse assunto deverá discuti-lo profundamente com os alunos.

Uma condição interessante para apresentar esse assunto é a integração com o professor de Química do colégio.

Q39— Uma molécula-grama de gás oxigênio (32g) possui 6×10^{23} moléculas (o número de Avogadro).

- Se o gás estiver à temperatura de 27°C (isto é, 300K), qual a energia cinética total que possui?
- Qual é a energia cinética de cada molécula de oxigênio, em média?
- Qual é a velocidade média de cada molécula a essa temperatura?
- Se a temperatura absoluta duplicar, passando a 600K, o que ocorre com a velocidade média das moléculas de oxigênio?

Comentário:

- a) A energia total que o gás possui é dada por $E_c = \frac{3}{2} NkT$, onde

N é o número de partículas de que é constituído o gás (6×10^{23}), k é a constante de Boltzmann ($1,380 \times 10^{-23}\text{J/K}$) e T é a temperatura do gás, medida em Kelvin:

$$E_c = \frac{3}{2} NkT = \frac{3}{2} \times 6 \times 10^{23} \times 1,380 \times 10^{-23} \times 300 = 3\,726\text{J}$$

- b) A energia média de cada molécula vale:

$$E_c = \frac{3}{2} kT = \frac{3}{2} \times 1,380 \times 10^{-23} \times 300 = 621 \times 10^{-23}\text{J}$$

- c) Conhecida a energia média de cada molécula, a velocidade média de cada molécula pode ser calculada através de

$$E_c = \frac{1}{2} mv^2, \text{ onde } E_c \text{ representa a energia cinética média de}$$

uma molécula ($621 \times 10^{-23} \text{ J}$), m é a massa de uma molécula (dada pela massa total de 32g, ou $32 \times 10^{-3} \text{ kg}$) dividida pelo número total de moléculas, $N = 6 \times 10^{23}$:

$$E_c = \frac{1}{2} mv^2 \therefore 621 \times 10^{-23} = \frac{1}{2} \times \frac{32 \times 10^{-3}}{6 \times 10^{23}} v^2$$

$$\therefore v^2 = 232,8 \times 10^3 \rightarrow v = 4,82 \times 10^3 \text{ m/s}$$

d) Como a temperatura absoluta duplica, a velocidade média das moléculas é multiplicada de $\sqrt{2}$, e passa a ser $6,80 \times 10^3 \text{ m/s}$.

Leitura suplementar:

O sentido do tempo

O texto apresenta o sentido do tempo, do passado para o futuro, como decorrente da inversibilidade de processos que envolvem muitos corpos. O texto pode ser difícil para alguns alunos.

Uma sugestão para debate após a leitura é analisar uma situação como a vista em um filme de trás para a frente: um água-louco saindo da água e voltando ao trampolim, um ovo mexido em uma frigideira sendo recomposto em clara e gema, etc.

8. Sugestões para discussão com os alunos

Se a energia total sempre se conserva, o que significa uma fonte de energia? É alguma coisa onde a energia é criada?

Comentário:

Com essa questão pode-se discutir o problema da energia disponível na natureza, suas origens e transformações. O quadro da página 11-18 pode auxiliar nessa discussão e mostrar que toda a energia utilizável em nosso planeta provém do Sol, com exceção da energia nuclear.

É correto falar em energia potencial de um corpo?

Comentário:

Os alunos, em geral, são levados a pensar que a energia potencial gravitacional pertence ao corpo que está suspenso a uma determinada altura e não ao sistema corpo-Terra.

Esse engano ocorre por várias razões:

a) A energia potencial é dada por mgh , onde parece não haver referência à Terra; o valor de g , entretanto, é dado por GM/R^2 e a energia potencial poderia ser escrita, o que não é usual, por $E_p = G m M h/R^2$.

b) Quando o corpo cai, considera-se a energia potencial transformada apenas em energia cinética do corpo em queda e não do sistema Terra-corpo. Esse é um argumento que pode levar à conclusão errônea de que a energia cinética do corpo foi adquirida de sua energia potencial.

Na verdade, quando um corpo cai, a energia potencial do sistema transforma-se em energia cinética do sistema, só que, devido ao fato de a massa da Terra ser muito maior que a massa do corpo, a energia cinética adquirida pela Terra é praticamente zero, enquanto que a energia cinética adquirida pelo corpo é praticamente a energia potencial do sistema.

Pela lei de conservação de energia, quando um corpo cai de uma altura h tem-se:

$$mgh = \frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{2} MV^2$$

onde M é massa da Terra e V a velocidade que a Terra adquire (*).

(*) As velocidades do corpo e da Terra, v e V , são medidas em relação ao centro de massa do sistema; ainda por ser a massa da Terra muito grande, a velocidade do corpo em relação à superfície pode ser considerada igual a v .

Pela lei de conservação de quantidade de movimento, considerando o sistema corpo-Terra como isolado, tem-se:

$$mv = MV$$

Assim, $V = mv/M$. Já que a massa da Terra é muito maior que a massa do corpo, V pode ser considerada nula e então:

$$mgh = \frac{1}{2} mv^2$$

9. Sugestões para outras experiências

Verificação de que a energia potencial é proporcional ao trabalho realizado.

Material:

- calha de alumínio
- bolinha de aço
- tubo de latão
- régua

Procedimento:

Encontre na parte inclinada da calha três pontos **A**, **B**, **C**, que fiquem a alturas tais que $h_B = 2h_A$ e $h_C = 3h_A$.

Como $E_p = mgh$, a energia da esfera correspondente ao ponto **B** será o dobro da energia no ponto **A** e no ponto **C** a energia será o triplo da de **A**.

Coloque a esfera no ponto **A** e o tubo na parte horizontal da calha com uma das extremidades sobre o zero da escala. Solte a bolinha dez vezes e meça o deslocamento que o tubo sofre. Calcule o deslocamento médio para uma corrida.

Como a força que está agindo sobre o tubo é praticamente constante, o trabalho realizado é proporcional ao deslocamento sofrido.

Faça um gráfico, em papel milimetrado, do deslocamento do tubo em função da altura. O gráfico permite concluir que a energia potencial da bolinha foi igual ao trabalho de deslocar o tubo?

Comentário:

Se a experiência for feita com bastante cuidado, limpando-se bem a calha, colocando o tubo sempre na mesma posição inicial e lendo os deslocamentos com precisão, verifica-se que os deslocamentos são proporcionais às alturas, permitindo concluir que $E_p \propto T$.

Verificação da lei de conservação de energia em molas.

Material:

- mola do conjunto experimental
- massas aferidas
- corpo de massa 250g
- régua
- suporte

Coloque a mola no suporte, como mostra na figura L, e pendure, sucessivamente, as massas aferidas, anotando os deslocamentos correspondentes da mola em uma tabela, como foi feito no capítulo 6, página 6-6 e seguintes.

Com os dados da tabela, construa o gráfico $F \times x$. Esse gráfico permite calcular, como foi mostrado no capítulo 10, página 10-14, a energia potencial da mola através da área sob a curva.

Marque a posição inicial da mola sem nenhum corpo pendurado; em seguida, prenda o corpo de massa 250g à mola, **sem deformá-la**. Solte o corpo e marque a posição máxima que ele estica a mola. A conservação de energia pode ser verificada se mgh for igual a energia potencial da mola $1/2 kx^2$.

Nota: Para a experiência é conveniente adotar o valor de g como $9,8m/s^2$.

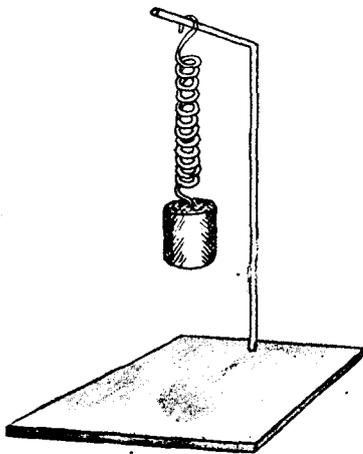


figura L



1. Conteúdo

Introdução – 12-1

1. A lei da gravitação universal – 12-5
2. Exercícios de aplicação – 12-8
3. Verificação da lei gravitacional no movimento de um satélite 12-10
4. Energia potencial do satélite – 12-13
5. Cálculo da energia potencial do satélite – 12-17
6. Imponderabilidade (texto optativo) – 12-18

Leitura suplementar:

O universo em que vivemos – 12-21

2. Objetivos do capítulo

Ao fim do capítulo, o aluno deverá ser capaz de:

- a) Enunciar as leis de Kepler e aplicá-las para calcular o raio ou o período de um planeta, conhecidos o período ou o raio deste planeta e o período e o raio de outro planeta.
- b) Enunciar a lei da gravitação universal de Newton.
- c) Calcular a força de interação entre dois corpos, dadas a distância entre eles e a constante gravitacional.
- d) Dadas a trajetória de um satélite e a sua posição em intervalos de tempo conhecidos, verificar a validade da lei da gravitação universal e das leis de Kepler.
- e) Dados o desenho em escala da órbita de um satélite, a posição da Terra e o intervalo de tempo entre duas posições sucessivas, calcular a variação da energia potencial do satélite entre essas duas posições.
- f) Calcular a energia potencial de um satélite, dadas a massa do satélite, a massa da Terra, a distância entre o centro da Terra e o satélite e a constante **G** de gravitação.
- g) Discutir a variação da energia cinética e da energia potencial ao longo da órbita de um satélite.

3. Pré-requisitos

Para este capítulo é necessário que o aluno saiba:

- a) o que é uma elipse;
- b) como trabalhar com velocidade e aceleração vetoriais;
- c) a segunda lei de Newton;
- d) o que é aceleração centrípeta;
- e) o que é peso de um corpo e como calculá-lo;
- f) a diferença entre peso e massa;
- g) calcular o peso de um satélite em órbita, através da lei do inverso do quadrado da distância;
- h) calcular energia potencial gravitacional;
- i) calcular energia cinética;
- j) como trabalhar com potências de dez.

4. Número de aulas previstas

- a) Para o texto principal: 5
- b) Para a avaliação: 1
- c) Para os textos optativos e suplementares: 1

5. Sugestões para avaliação

Objetivo **a**: Q3 e E6 Objetivo **c**: E1, E2, E3 e E4

Para os objetivos restantes é muito difícil fazer a avaliação através de questões; a melhor maneira é uma arguição individual ou em grupo, e discutir-se o assunto.

6. Bibliografia

- 1 – GRUPO DE ESTUDOS EM TECNOLOGIA DE ENSINO DE FÍSICA. **Física auto-instrutivo-FAI**: texto programado para o 2º grau. São Paulo, Saraiva, 1974. v. 4, cap. 9.
- 2 – PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE. **Física**. 6. ed. São Paulo, EDART, 1970. v. 3, cap. 22.
- 3 – RESNICK, R. & HALLIDAY, D. **Física**. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1965. v. 2, cap. 16.

Esse texto é de nível universitário básico e pode ser útil como subsídio para o professor.

7. Comentários sobre o texto

Introdução

Apresenta um histórico sobre os sistemas planetários geocêntrico e heliocêntrico, desde os babilônios e chineses, no ano 700a.C., até Galileu e Kepler.

As leis de Kepler estão no quadro da página 12-4; para responder às questões propostas nessa seção, o aluno deverá ler com atenção, os enunciados das leis. Provavelmente, só após uma discussão do significado dessas leis é que todos os alunos estarão capazes de responder às questões com segurança.

1. A lei da gravitação universal

O objetivo dessa seção é enunciar a lei da gravitação universal e mostrar como Newton chegou a ela. Historicamente, Newton primeiro calculou a aceleração da Lua em sua órbita e percebeu, apesar de conhecer apenas aproximadamente a distância Terra-Lua, que a dependência de F com a distância deveria ser do tipo $1/r^2$. Para confirmar esse resultado e justificá-lo teoricamente de forma mais aceitável, Newton conseguiu deduzi-lo a partir de suas 2ª e 3ª leis e da lei dos períodos de Kepler. Em seguida, pôde inclusive mostrar que a lei de gravitação era compatível com as duas primeiras leis de Kepler.

O texto do aluno passa rapidamente sobre esses pontos. Em particular, a forma de calcular a aceleração centrípeta v^2/R não é mostrada, nem como as leis de Kepler ajudam a chegar à lei de gravitação. Esses dois pontos são discutidos a seguir, nas sugestões para discussões.

Um ponto importante a ser destacado nessa seção é o significado dos elementos (m , M , r e G) que aparecem na lei. Em particular, deve ser ressaltado que r é a distância entre os baricentros do corpo; no caso da Terra, por exemplo, o baricentro pode ser considerado como o centro da Terra.

O fato de considerar a distância r entre os baricentros ou, o que é equivalente, que as massas dos corpos podem ser consideradas como concentradas nesses pontos para efeito do cálculo das forças de atração, só pode ser justificado através do cálculo integral.

Aliás, o próprio Newton só publicou a lei de gravitação após justificar esse fato; para isso, ele teve que tornar-se, antes, um dos inventores do cálculo integral e diferencial!

2. Exercícios de aplicação

Os exercícios envolvem o conceito de peso como força gravitacional. São de aplicação direta da lei; geralmente, os alu-

nos encontram dificuldades em cálculos com potências de dez. Se necessário, volte ao capítulo 2, seção 7, e recorde as operações com potências de dez.

- E1** – Calcule a força de atração gravitacional que age entre duas pessoas, cada uma de massa 50kg, colocadas à distância de 1 metro uma da outra.

Comentário:

Este exercício é de aplicação direta da fórmula $F = G \frac{mM}{r^2}$

onde os corpos envolvidos são duas pessoas de massas 50kg. Assim:

$$F = 6,7 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2 \times \frac{50\text{kg} \times 50\text{kg}}{1^2 \text{ m}^2} = \frac{6,7 \times 10^{-11} \times 25 \times 10^2 \text{ kg}^2 \times}{\text{m}^2} \\ \times \text{Nm}^2/\text{kg}^2 = 1,7 \times 10^{-7} \text{ N}$$

Faça os alunos observarem como a força de atração é pequena em relação à força com que as pessoas são atraídas pela Terra, $P = mg$, que vale 490N, ou seja, quase um bilhão (10^9) de vezes menor.

- E2** – Sabendo-se que a massa da Terra é $6,0 \times 10^{24}$ kg e o raio de sua órbita $6,4 \times 10^6$ m, calcule o peso de uma pessoa de massa 50kg, na superfície da Terra, a partir da lei gravitacional de Newton.

Comentário:

O peso da pessoa será a força de interação gravitacional existente entre os dois corpos (Terra, pessoa) e, portanto, pode ser calculada por $F = G \frac{mM}{r^2}$, onde as massas dos corpos são $m = 50\text{kg}$ e $M = 6,0 \times 10^{24}$ kg. Considerando a massa da Terra concentrada no seu centro, a distância entre os dois corpos será o próprio raio da Terra ($6,4 \times 10^6$ m), assim:

$$F = 6,7 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2 \times \frac{50\text{kg} \times 6,0 \times 10^{24} \text{ kg}}{(6,4 \times 10^6 \text{ m})^2} = 490\text{N}$$

- E3** – Sabendo-se que a massa da Lua é $7,4 \times 10^{22}$ kg e seu raio $1,7 \times 10^6$ m, calcule o peso de uma pessoa de massa 50kg na superfície lunar. Compare este valor com o peso da mesma pessoa na superfície terrestre.

Comentário:

Como no exercício anterior, se consideramos a massa da Lua concentrada no seu centro, a distância entre os dois corpos será o próprio raio da Lua, assim:

$$F = 6,7 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2 \times \frac{50\text{kg} \times 7,4 \times 10^{22} \text{ kg}}{(1,7 \times 10^6 \text{ m})^2} \cong 86\text{N}$$

Esse valor é cerca de 6 vezes menor que o peso da mesma pessoa na Terra.

- E4** – Calcule o valor da força com que a Terra atrai a Lua, isto é, o peso da Lua em relação à Terra. A distância entre o centro da Terra e o centro da Lua é $3,84 \times 10^8$ m.

Comentário:

A massa da Terra e da Lua foi dada em outros exercícios, assim:

$$F = G \frac{mM}{r^2}$$

$$F = 6,7 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2 \times \frac{7,4 \times 10^{22} \text{ kg} \times 6,0 \times 10^{24} \text{ kg}}{(3,84 \times 10^8 \text{ m})^2} \cong 2,0 \times 10^{20} \text{ N}$$

- E5** — Quando uma pedra cai ao chão, ao ser atraída pela Terra, sua aceleração é de $9,8 \text{ m/s}^2$. Como a pedra também atrai a Terra, pode dizer-se que a Terra também "cai" sobre a pedra.
- a) Se a massa da pedra é de $0,5 \text{ kg}$, qual é o valor da força com que ela atrai a Terra?
 - b) Qual é a aceleração da Terra devido a essa força?

Comentário:

Pelo princípio da ação e reação, a pedra e a Terra se atraem mutuamente por forças iguais e de sentidos opostos dadas por:

$$F = G \frac{mM}{r^2}$$

$$F = 6,7 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 / \text{kg}^2 \times \frac{0,5 \text{ kg} \times 6,0 \times 10^{24} \text{ kg}}{(6,4 \times 10^6 \text{ m})^2} = 4,9 \text{ N}$$

Essa força provoca na Terra a aceleração:

$$a = \frac{F}{M} = \frac{4,9}{6,0 \times 10^{24}} \cong 8,1 \times 10^{-25} \text{ m/s}^2$$

- E6** — Determine, através da terceira lei de Kepler ($R^3/T^2 = K$), o raio da órbita do planeta Vênus, sabendo que seu período orbital é $1,9 \times 10^7 \text{ s}$. Para determinar a constante **K**, utilize os dados abaixo referentes à Terra:

raio da órbita — $1,5 \times 10^{11} \text{ m}$

período orbital — $3,2 \times 10^7 \text{ s}$

Comentário:

Para o cálculo de **K** são usados os dados referentes à Terra:

$$K = \frac{R^3}{T^2} = \frac{(1,5 \times 10^{11} \text{ m})^3}{(3,2 \times 10^7 \text{ s})^2}$$

Substituindo esse valor de **K** na terceira lei de Kepler, para o planeta Vênus:

$$\frac{(1,5)^3 \times 10^{33} \text{ m}^3}{(3,2)^2 \times 10^{14} \text{ s}^2} = \frac{R^3}{(1,9)^2 \times 10^{14} \text{ s}^2}$$

$$\therefore R^3 = \frac{(1,5)^3 \times 10^{33} \text{ m}^3 \times (1,9)^2 \times 10^{14} \text{ s}^2}{(3,2)^2 \times 10^{14} \text{ s}^2} = (1,5)^3 \times 10^{33} \times 0,35 \text{ m}^3 \rightarrow R = 1,1 \times 10^{11} \text{ m}$$

3. Verificação da lei gravitacional no movimento de um satélite

O objetivo é mostrar que a lei de atração gravitacional é válida no caso do movimento de um satélite. Primeiramente, a força sobre o satélite é calculada através da segunda lei de Newton ($F = ma$) e verifica-se se os resultados são compatíveis com o fato de a força gravitacional depender de $1/r^2$. Finalmente, a força gravitacional é calculada através da expressão $F = G mM/r^2$

Para calcular a aceleração do satélite, o aluno deve fazer operações vetoriais que podem já estar um pouco esquecidas; uma recordação do capítulo 8 deve ajudar.

Observe que, na figura 1 (página 12-9), os vetores velocidade já estão desenhados a partir de um ponto; para achar os $\Delta\vec{v}$ basta unir suas extremidades e utilizar a escala das velocidades para o cálculo dos módulos.

Com o resultado encontrado na Q15 os alunos devem terminar de preencher a primeira linha da tabela 2.

Nessa seção, o trabalho é demorado porque depende de medidas e construções gráficas.

Os resultados que vão aparecer na tabela serão aproximados; é interessante colocar no quadro-negro os resultados obtidos por alguns alunos para verificar se houve erros, bem como para serem discutidos.

4. Energia potencial do satélite

Relaciona a variação da energia cinética do satélite com a sua variação de energia potencial e com o trabalho realizado, utilizando conceitos já vistos em capítulos anteriores.

Na Q21, o ponto **P** referido corresponde ao **P6** da figura 2.

Para responder a Q24, observe aos alunos que na figura 2 estão representadas as velocidades em escala, e que a massa do satélite pode ser considerada 5000kg.

5. Cálculo da energia potencial do satélite

Esta seção é realmente difícil para os alunos: convém que após a leitura o professor discuta com eles como surgiu a expressão do trabalho:

$$T = \frac{GMm}{r^1} - \frac{GMm}{r^2}$$

Para isso, veja a seguir as sugestões para discussão com os alunos.

6. Imponderabilidade (texto optativo)

Um ponto interessante desta leitura para discussão é a afirmação: "Qualquer corpo, esteja onde estiver, está sob a ação da gravidade devido à ação gravitacional do resto do Universo".

Geralmente, os alunos acham que saindo do campo gravitacional da Terra, os corpos estão livres deste tipo de força.

Leitura suplementar:

O Universo em que vivemos

Esta leitura desperta grande interesse por parte dos alunos e pode ser lida e discutida em classe, trecho por trecho. Um

ponto para uma primeira discussão, por exemplo, está logo no início, na afirmação “quando se olha para cima, o que se está fazendo, na realidade, é olhar para trás”.

8. Sugestões para discussão com os alunos

a) Cálculo da aceleração centrípeta

Na seção 1 a aceleração centrípeta da Lua foi calculada sem a indicação de como surge a expressão $\mathbf{a} = \mathbf{v}^2/\mathbf{R}$.

A órbita da Lua em torno da Terra é aproximadamente circular. Se **A** e **B** forem dois pontos que representam as posições da Lua em um intervalo pequeno de tempo Δt , o segmento de arco \widehat{AB} pode ser confundido com a corda AB e vale $\mathbf{v}\Delta t$, onde \mathbf{v} é a velocidade da Lua (figura M).

Para determinar a aceleração da Lua é necessário calcular $\Delta\mathbf{v}/\Delta t$. O triângulo construído para a determinação de $\Delta\mathbf{v}$ ($\triangle OA'B'$) é semelhante ao $\triangle TAB$ (figura M).

Assim,

$$\frac{OA'}{TA} = \frac{A'B'}{AB}$$

$$\left. \begin{array}{l} OA' = v_A = v \\ TA = R \\ A'B' = \Delta v \\ AB = v \Delta t \end{array} \right\}$$

$$\frac{v}{R} = \frac{\Delta v}{v\Delta t} \rightarrow \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v^2}{R}$$

Logo, $\mathbf{a} = \mathbf{v}^2/\mathbf{R}$ é a aceleração centrípeta de um corpo em movimento circular uniforme de raio \mathbf{R} e velocidade \mathbf{v} .

b) Dedução da lei de gravitação

A lei de gravitação universal pode ser deduzida, para um astro que descreva movimento circular em torno do Sol, a partir das 2ª e 3ª leis de Newton e da 3ª lei de Kepler.

Pela segunda lei de Newton, o astro deve estar sujeito a uma força $\mathbf{F} = \mathbf{m}\mathbf{a}$, onde \mathbf{m} é a sua massa e \mathbf{a} a sua aceleração. No caso de o astro descrever movimento circular essa aceleração é centrípeta e vale \mathbf{v}^2/\mathbf{R} , onde \mathbf{v} é a velocidade do astro e \mathbf{R} sua distância ao Sol; portanto:

$$\mathbf{F} = \mathbf{m} \times \mathbf{v}^2/\mathbf{R}$$

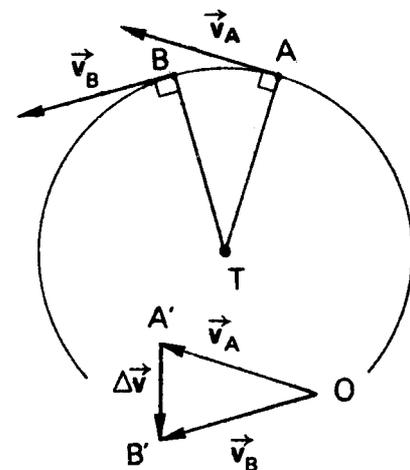
Em geral, o valor de \mathbf{v} não é conhecido; ainda no caso, interessa a dependência de \mathbf{F} com \mathbf{R} e \mathbf{T} (seu período de rotação), que são as variáveis da 3ª lei de Kepler. Portanto, como o astro descreve um movimento circular, o comprimento de sua órbita é $2\pi\mathbf{R}$ e sua velocidade é $2\pi\mathbf{R}/\mathbf{T}$.

$$\text{Assim, } \mathbf{v} = 2\pi\mathbf{R}/\mathbf{T} \rightarrow \mathbf{v}^2 = 4\pi^2\mathbf{R}^2/\mathbf{T}^2.$$

Substituindo na expressão de \mathbf{F} :

$$\mathbf{F} = \mathbf{m}(\mathbf{v}^2/\mathbf{R}) = \mathbf{m} 4\pi^2\mathbf{R}^2/\mathbf{R}\times\mathbf{T}^2 = 4\pi^2\mathbf{m} \mathbf{R}/\mathbf{T}^2$$

A 3ª lei de Kepler afirma que $\frac{\mathbf{R}^3}{\mathbf{T}^2} = \mathbf{K}$; logo $\frac{1}{\mathbf{T}^2} = \mathbf{K}/\mathbf{R}^3$.



$$v_A = v_B = v$$

figura M

Substituindo na expressão de **F**:

$$F = 4\pi^2 m R/T^2 \rightarrow F = 4\pi^2 m R K/R^3 = 4K\pi^2 m/R^2$$

Assim, a atração que o astro sofre do Sol é proporcional a uma constante ($4K\pi^2$) e a sua massa **m** é inversamente proporcional ao quadrado da distância ($1/R^2$) que o separa do sol.

Pela 3ª lei de Newton, o Sol deve sofrer uma força de atração do astro de mesma direção e sentido oposto e de mesma intensidade. Por simetria, essa força deve ser dada por $F' = 4K'\pi^2 M/R^2$, onde **K'** é uma outra constante. Como essas forças são iguais, $K'M = Km$.

Fazendo $K' = Gm$ e $K = GM$, a condição de igualdade continua sendo respeitada e a expressão das forças continua simétrica, isto é,

$$F = G mM/r^2$$

tanto mede a força exercida pelo Sol sobre o astro, quanto a força exercida pelo astro sobre o Sol e pode ser generalizada, como lei de atração, para dois corpos quaisquer.

c) Cálculo da energia potencial gravitacional

Para calcular a diferença de energia potencial de um corpo sujeito à força gravitacional entre dois pontos em que a força gravitacional não é constante, é preciso calcular o trabalho de uma força não constante (veja a seção 6 do capítulo 10).

No caso da força gravitacional, a força varia com $1/r^2$ e vale $G mM/r^2$. A figura N mostra o gráfico da força gravitacional em função da distância **r**; r_1 e r_n são as posições para as quais se quer calcular a diferença de potencial $E_{pn} - E_{p1}$.

O trabalho total realizado, de r_1 a r_n , corresponde à área cinza sob o gráfico; essa área pode ser dividida em **n** pedaços, em que se considera que a variação da força seja muito pequena e que a força média possa ser representada pela média geométrica das forças máxima e mínima. Assim, para o 1º pedaço,

$$\bar{F} = \sqrt{F_1 F_2}$$

$$\text{Como } F_1 = G \frac{mM}{r_1^2} \text{ e } F_2 = G \frac{mM}{r_2^2}, \quad F = G \frac{mM}{r_1 r_2}$$

O trabalho realizado por essa força média vale:

$$T_1 = \bar{F} \times d = \bar{F} \times (r_2 - r_1) = G \frac{mM}{r_1 r_2} (r_2 - r_1)$$

$$T_1 = G \frac{mM}{r_1} - G \frac{mM}{r_2}$$

Para os outros pedaços, por analogia, tem-se:

$$T_2 = G \frac{mM}{r_2} - G \frac{mM}{r_3}$$

$$T_3 = G \frac{mM}{r_3} - G \frac{mM}{r_4}$$

$$T_n = G \frac{mM}{r_{n-1}} - G \frac{mM}{r_n}$$

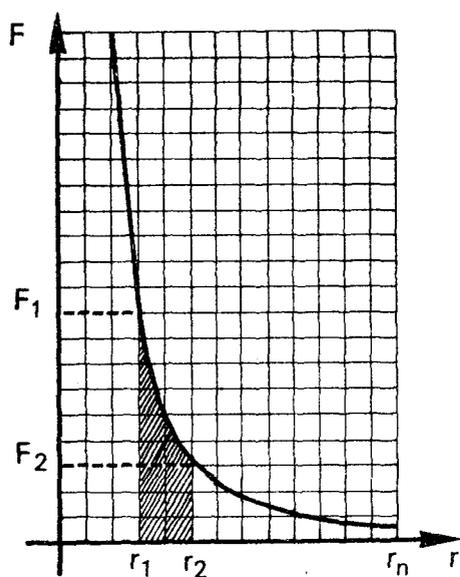


figura N

A soma dos trabalhos T_1, T_2, \dots, T_n , corresponde ao trabalho total realizado:

$$T_1 + T_2 + \dots + T_n = T = G \frac{mM}{r_1} - G \frac{mM}{r_n}$$

O trabalho T também corresponde à diferença de energia potencial:

$$T = E_{p_n} - E_{p_1}$$

Assim, comparando as duas últimas expressões, tem-se:

$$E_{p_n} = -G \frac{mM}{r_n} \text{ e } E_{p_1} = -G \frac{mM}{r_1}$$

De maneira geral, pode dizer-se que, para uma distância r , a energia potencial vale $E_p = -G \frac{mM}{r}$, desde que se considere que no infinito, isto é, para $r \rightarrow \infty$, a energia potencial seja zero; isto é, se $r=r_1$ e $r_n = \infty$, $E_{p_1} = -G \frac{mM}{r_1}$ e $E_p(\infty) = 0$.

9. Sugestões para outras experiências

Determinação da aceleração local da gravidade

Uma experiência interessante que pode ser feita é a determinação de g . O material necessário é o seguinte:

- cronômetro de areia
- régua
- barbante fino e forte
- corpo denso e pesado

O período de um pêndulo simples depende essencialmente do comprimento do fio e da aceleração local da gravidade.

Uma primeira verificação que os alunos podem fazer é observar, mantendo constante o comprimento e variando a massa do corpo pendurado, a **não** dependência da massa com o período. A medida do período pode ser feita como no capítulo 3: mede-se o tempo de 10 (ou 5) oscilações completas e tira-se a média para uma oscilação.

Para a determinação da aceleração da gravidade, a expressão que fornece o período do pêndulo, $T = 2\pi\sqrt{l/g}$, deve ser fornecida.

Essa experiência apresenta uma imprecisão grande, em geral de até 30%.

Isso decorre de que:

- a) A imprecisão da medida do período é multiplicada por 2, pois para determinar g é necessário elevar a expressão ao quadrado.
- b) A expressão $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ é válida apenas para pequenas amplitudes de oscilação.

Para evitar uma imprecisão grande, o período deve ser medido com cuidado e o fio deve ser comprido (aproximadamente 1m). Finalmente, os resultados obtidos pelos diversos grupos podem servir para se obter um valor médio melhor para g .

Nota:

A expressão do período do pêndulo pode ser fornecida aos alunos sem a explicação de como ela é obtida, pois não será fácil entender a sua origem. Esse resultado decorre, diretamente, do estudo de movimentos harmônicos simples e está fora do alcance dos alunos. Como referência, o assunto é tratado no livro Física I, volume 2, de Halliday e Resnick no capítulo "Oscilações" (cap. 15, pág. 397).

Eletricidade

0

1. Objetivos gerais do curso

O curso de Eletricidade foi elaborado tendo como objetivo principal o estudo do "Efeito Joule". Para tanto, uma série de objetivos intermediários gerais são necessários:

- Conhecer os princípios básicos de Eletricidade e interpretá-los à luz da estrutura atômica da matéria.
- Trabalhar com os conceitos básicos e aplicá-los na montagem de dispositivos simples.
- Conhecer alguns fatos históricos relacionados com o desenvolvimento da Eletricidade.
- Conhecer algumas aplicações da Eletricidade na tecnologia moderna.
- Operar com um multímetro, para medir tensões, correntes e resistências elétricas.
- Montar circuitos elétricos simples.

2. Programa de Eletricidade

I – Cargas e estrutura da matéria

1. Estrutura da matéria
2. Elétrons de valência e número atômico
3. Ionização
4. Eletrização
5. A indução elétrica
6. Condutores e isolantes
7. Exercícios de aplicação

II – Campo elétrico e pilha

1. Campo criado por um corpo carregado
2. Efeito do campo sobre corpos carregados
3. O campo entre placas carregadas
4. Caráter vetorial do campo elétrico
5. Campo elétrico num fio condutor
6. A pilha elétrica
7. Combinações entre pilhas
8. Exercícios de aplicação

Leitura suplementar: Alessandro Volta

III – Potencial elétrico

1. Energia potencial mecânica
2. Energia potencial elétrica
3. Elétrons em um campo elétrico
4. Diferença de potencial entre dois pontos
5. Diferença de potencial entre dois pontos quaisquer
6. Relação entre V e E
7. A unidade de diferença de potencial
8. Como medir a diferença de potencial
9. Exercícios de aplicação

Leitura suplementar: Aceleradores eletrostáticos
Algumas aplicações da eletrostática.

IV – Corrente elétrica

1. Campo no fio condutor
2. Intensidade e sentido da corrente elétrica
3. A unidade de corrente elétrica
4. Medida de corrente elétrica
5. Corrente contínua e corrente alternada
6. Exercícios de aplicação

V – Resistência elétrica

1. Resistência elétrica
2. Condutores ôhmicos e não-ôhmicos
3. Unidade de resistência elétrica
4. Medida da resistência elétrica
5. Resistência interna dos medidores de corrente
6. Resistores utilizados industrialmente
7. Exercícios de aplicação

Leitura suplementar: Computadores

VI – Resistência e resistividade

1. Variação da resistência com o diâmetro do fio
2. Variação da resistência com o comprimento do fio
3. Medidas com fios de cobre
4. Resistividade
5. Resistividade e estrutura da matéria
6. Exercícios de aplicação

VII – Condução nos sólidos

1. Temperatura e resistência elétrica
2. Resistor NTC
3. Resistência e temperatura: análise microscópica
4. Resistência em função da temperatura
5. Coeficiente de temperatura
6. Resistência e polaridade
7. Resistência e iluminação
8. Exercícios de aplicação

Leitura suplementar: Resistores NTC

VIII – Efeito Joule

1. Transformações de energia
2. Dissipação de energia dos elétrons num metal
3. Cálculo da energia térmica produzida
4. Potência elétrica
5. Efeito Joule
6. Exercícios de aplicação

Leitura suplementar: Supercondutividade

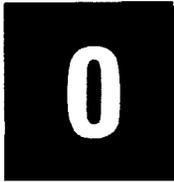
IX – Circuitos elétricos

1. Circuito com lâmpadas
2. Medida de V e i
3. Tensões no circuito
4. Distribuição da corrente no circuito
5. Resistência equivalente (previsão do comportamento do circuito)
6. Circuitos não-redutíveis
7. Potência do circuito
8. Exercícios de aplicação
9. Conclusão

Guia do multímetro

3. Número de aulas previstas

O quadro seguinte relaciona o número médio de aulas previstas por capítulo:

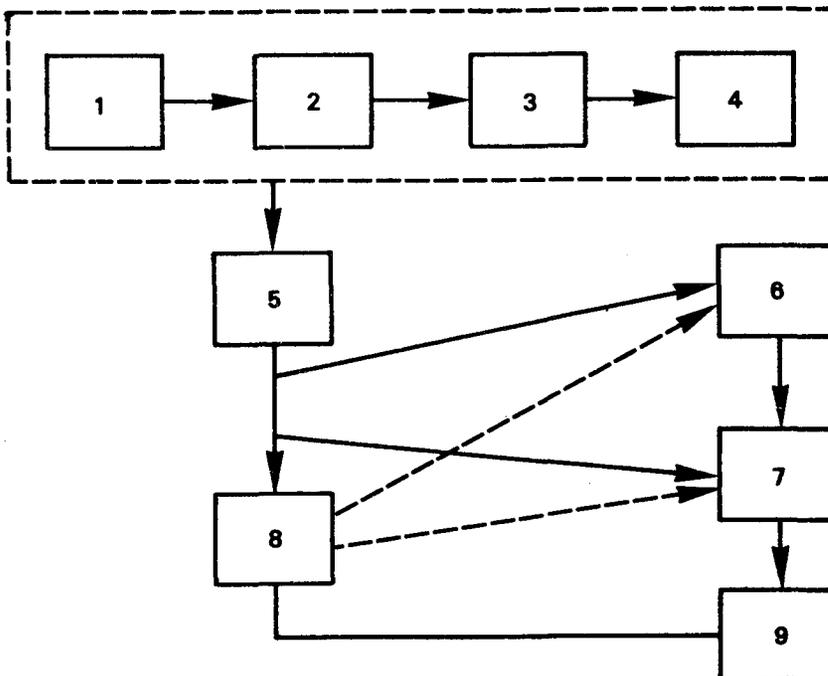


Capítulo	Texto principal	Exercícios de aplicação	Avaliação	Leitura suplementar	Total
1	3	2	1	-	6
2	6	2	2	2	12
3	6	2	2	2	12
4	3 a 4	2	1	-	6 a 7
5	6	2	2	1	11
6	5 a 6	3	2	-	10 a 11
7	6	2	1	1	10
8	4	1	1	1	7
9	6	2	1	-	9
Total	45 a 47	18	13	7	83 a 85

4. Programação do curso

O curso de Eletricidade está estruturado em nove capítulos. Desses capítulos, os cinco primeiros são básicos, pois tratam dos conceitos fundamentais. A partir do quinto capítulo, dependendo do professor e do tempo disponível, a programação poderá sofrer modificações desde que os objetivos gerais do curso não sejam suprimidos.

O quadro abaixo indica possíveis programações. Observe que em nenhum caso, os capítulos 1, 2, 3, 4, 5 e 8 são suprimidos; apenas os capítulos 6, 7 e 9 podem ser suprimidos ou apresentados em ordens diferentes.



5. O laboratório de Eletricidade

O material que compõe o conjunto experimental de Eletricidade e que será utilizado ao longo do curso está relacionado abaixo:

- (1) Resistor NTC (50Ω)
- (1) Resistor de $100\Omega/1$ watt
- (2) Resistor de $68\Omega/1$ watt
- (1) Resistor de $47\Omega/1$ watt
- (2) Resistor de $33\Omega/1$ watt
- (1) Resistor de $22\Omega/1$ watt
- (1) Díodo BY-127
- (1) Fio de cobre esmaltado n^o 33 (carretel de 6 metros)
- (1) Fio de cobre esmaltado n^o 37 (bobina de 6 metros)
- (1) Fio de cobre esmaltado n^o 37 (bobina de 30 metros com resistência de 55Ω)
- (1) Fio de níquel-cromo n^o 32 (15cm)
- (1) Fio de níquel-cromo n^o 34 (15cm)
- (1) Fio de níquel-cromo n^o 36 (15cm)
- (1) Fio de níquel-cromo n^o 38 (15cm)
- (1) Fio de níquel-cromo n^o 40 (15cm)
- (3) Lâmpada de 6,0V/50mA (n^o 7.121 Philips ou equivalente)
- (3) Soquete para lâmpada pequena
- (5) Pilhas pequenas
- (5) Porta-pilhas
- (6) Fios de ligação n^o 24
- (2) Placas de zinco e cobre (8,5cm x 2,0cm x 0,1 cm)
- (1) Retalho de (8,0 x 3,0)cm² de feltro
- (1) Vidro com sulfato de cobre
- (10) Grampos
- (16) Molas
- (12) Pinos
- (6) Elásticos
- (1) Placa perfurada para montagem
- (1) Multímetro

Esse material é simples, de fácil reposição, sendo encontrado em lojas de materiais eletrônicos e elétricos. Em caso de reposição, o material deve obedecer às especificações do material original na medida do possível.

6. Teste de pré-requisitos

Antes de iniciar o curso de Eletricidade é conveniente que os alunos sejam submetidos a um teste de pré-requisitos. Esse teste deve possuir questões elaboradas ao nível do PEF-Mecânica, sobre os seguintes assuntos:

- funções lineares
- gráficos
- velocidade e aceleração
- força
- energia cinética e potencial
- trabalho

Cargas e estrutura da matéria

1



1. Conteúdo

Introdução ao curso e aspectos históricos da evolução do modelo atômico da matéria — 1-1

1. Estrutura da matéria (átomos, prótons, elétrons, nêutrons) — 1-8
2. Elétrons de valência e número atômico — 1-11
3. Ionização — 1-12
4. Eletrização — 1-13
5. A indução elétrica — 1-14
6. Condutores e isolantes — 1-15
7. Exercícios de aplicação — 1-18

2. Objetivos do capítulo

Ao final do capítulo, o aluno deverá ser capaz de:

- a) Explicar alguns aspectos da evolução do modelo atômico da matéria.
- b) Descrever algumas diferenças entre a maneira antiga de encarar a natureza e a ciência moderna.
- c) Descrever de maneira simplificada o modelo do átomo de Bohr, dando a localização das cargas e das massas e as dimensões.
- d) Enunciar algumas propriedades de elétrons, prótons e nêutrons.
- e) Descrever os processos e os efeitos de ionização, eletrização e indução elétrica.
- f) Identificar as diferenças entre condutores e isolantes do ponto de vista da estrutura da matéria.

3. Pré-requisitos

Para o desenvolvimento desse capítulo são necessários os conceitos de massa, inércia e força, além de conhecimentos sobre proporções, operações com números decimais e potências de dez.

4. Número de aulas previstas

- a) Para o texto principal: 3
- b) Para os exercícios de aplicação: 2
- c) Para a avaliação: 1

5. Sugestões para avaliação

Dentre os exercícios propostos, aqueles que servem como modelo para a organização de uma prova são:

Objetivo **c**: E1 a E5

Objetivo **d**: E6 a E11

Objetivo **e**: E12 a E15

Também são sugeridos os seguintes problemas:

Objetivo **c**:

P1 — Quais as partículas que compõem o átomo e como elas se distribuem?

R1 — Elétron, próton e nêutron. Os prótons e os nêutrons se situam no núcleo, que fica no centro do átomo, enquanto que os elétrons situam-se em torno do núcleo, em uma espécie de nuvem.

Objetivo d:

- P2** — O que é e para que serve o número atômico?
R2 — O número atômico indica a quantidade de prótons que um átomo contém. Serve para identificar os elementos de acordo com a quantidade de prótons de seus átomos.
- P3** — Qual a importância da camada de valência no estudo da Eletricidade?
R3 — A camada de valência indica quantos elétrons estão contidos na última camada. De acordo com o número de elétrons dessa camada podemos saber se o elemento é um bom condutor ou não (poder-se-ia acrescentar comentários em torno da ligação).

1

Objetivo e:

- P4** — O que se entende por ionização?
R4 — Ionização é o processo (fenômeno) em que um átomo ou molécula perde ou captura (ganha) elétrons, tornando-se um íon positivo ou um íon negativo.
- P5** — Qual a diferença entre ionização e eletrização?
R5 — Ionização é o fenômeno de um átomo ou molécula ganhar ou perder elétrons. Eletrização é o processo de um corpo macroscópico tornar-se positivo (perdendo muitos elétrons) ou negativo (ganhando muitos elétrons). O importante é que a carga envolvida é muito grande.
- P6** — São dadas três esferas iguais feitas do mesmo metal. A primeira está carregada **positivamente** e as outras estão neutras. Como você procederia para obter uma esfera com carga **negativa**? Nota: Sua resposta poderá ser dada em forma de esquema (desenho).
- R6** — Poder-se-ia colocar em contato as duas esferas neutras e aproximá-las da esfera carregada, mas **sem** tocá-la. Por indução teríamos o conjunto positivo-negativo, conforme a figura A1.

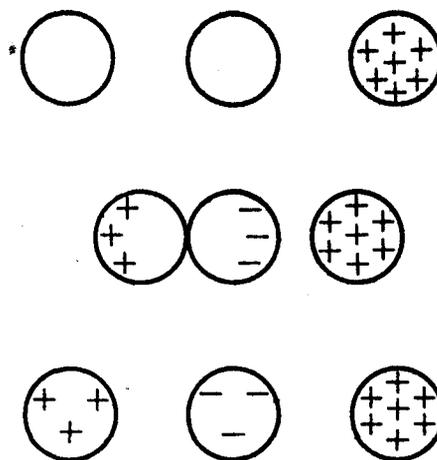


figura A1

Objetivo f:

- P7** — Qual a diferença entre um condutor e um isolante?
R7 — Um condutor é um corpo que apresenta um número muito grande de elétrons livres. Um isolante tem pouquíssimos elétrons livres.
- P8** — O que são elétrons livres?
R8 — São elétrons que se deslocam livremente no interior dos condutores metálicos, passando de um átomo para outro sem pertencer a nenhum.

Objetivo a:

- P9** — Escreva sobre os modelos que foram formulados para descrever a constituição do átomo.
R9 — (. . . descrição dos modelos de Thomson, Rutherford e Bohr).

6. Bibliografia

- 1 — ALVARENGA, B. G. de & LUZ, A. M. R. da. **Física**. 2. ed. Belo Horizonte, B. Alvares, 1969. v. 3.
Na página 169 e seguintes, encontram-se dados his-

tóricos e experiências que levaram à compreensão de fenômenos microscópicos. A experiência de Rutherford é descrita de maneira simplificada.

- 2— BEISER, A. **Conceitos de física moderna**. Trad. Gita K. Ghinsberg. São Paulo, Polígono, 1969.

A parte 2 (pág. 97) apresenta nos dois primeiros capítulos um tratamento matemático complexo das experiências de Rutherford, dos espectros atômicos e das órbitas de Bohr. (Esse livro é de nível universitário mais avançado.)

- 3— FUCHS, W. R. **A física moderna**. Trad. Normando Celso Fernandes e Alberto Luiz da Rocha Barros. São Paulo, Polígono, 1972.

O capítulo 3 apresenta um tratamento sistemático da evolução dos modelos atômicos sem a apresentação de cálculos matemáticos complexos (nível universitário básico).

- 4— PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE. **Física**. 6. ed. São Paulo, EDART, 1970. v. 4.

Da página 10 a 14 são descritos uma série de fenômenos eletrostáticos que podem ser efetuados em classe.

7. Comentários sobre o texto

Para um aproveitamento maior por parte dos alunos, é muito importante o professor promover discussões ao final de algumas partes do capítulo.

Sugerimos discussões referentes à introdução histórica relatada adiante nos comentários. Será útil promover discussões após a seção 3, após a seção 4 e após a seção 6, além das discussões de alguns dos exercícios de aplicação.

Para os experimentos desse capítulo será necessário o seguinte material:

- 20 cm de fio de Ni-Cr nº 40
- 20 cm de fio de linha de algodão
- duas bolinhas de papel-alumínio (pode ser papel de bombom)
- uma régua de plástico
- um pedaço de feltro (seda ou meia de "nylon" feminina).

Introdução

A introdução trata da evolução das idéias sobre a estrutura da matéria e é longa. Alguns professores podem preferir deixar a discussão da introdução para o fim do capítulo. Entretanto, um procedimento que recomendamos e que foi utilizado com sucesso nos ensaios do material é o seguinte (para facilitar a referência, numere os parágrafos do texto da introdução de 1 a 34):

- a) Ressaltar e comentar o primeiro parágrafo, principalmente quanto à participação ativa do estudante.
- b) Promover rápida discussão após o 3º parágrafo (página 1-1).
- c) Promover nova discussão, após o 15º parágrafo (página 1-4), sobre a importância da estrutura da matéria para o estudante de Eletricidade, e sobre a evolução das idéias relativas à estrutura da matéria e às tendências materialistas e idealistas.
- d) Após o 22º parágrafo (página 1-5), pode-se fazer uma discussão interessante sobre as maneiras moderna e antiga (mas ainda comuns hoje) de encarar a natureza e sobre a evolução do modelo atômico. Uma outra alternativa é pedir aos alunos ou equipes, se for o caso, para escreverem textos (em aula ou para a aula seguinte) sobre os parágrafos 16 a 22 em que, posteriormente, será baseada a discussão.

Exemplos de temas para os trabalhos escritos, de cerca de uma página, são:

- a) Dê as diferenças principais entre as maneiras antiga e moderna de encarar a natureza.
 b) O que é um modelo em ciência e qual a sua importância?
 c) Escreva sobre os modelos que foram formulados para descrever a constituição do átomo.
 Será útil o professor discorrer, antes, um pouco sobre esses temas, principalmente o **b**.



1. Estrutura da matéria

Esta seção trata de um assunto provavelmente já conhecido dos alunos. Poderão surgir dificuldades relacionadas com números decimais e potências de dez. A questão Q2, que vem resolvida neste Guia em detalhe, exige muitas contas que desanimam, às vezes, os alunos. É interessante o professor resolver calmamente essa questão na lousa, explicando as potências de dez e contas em detalhe, logo que perceber que a maior parte da classe já passou dessa questão.

Após e durante a resolução de Q2 poder-se-ia fazer uma discussão a respeito de aproximações nos cálculos.

Q1 – Qual é maior: a massa do próton ou a massa do elétron?

Comentário:

R1 – A massa do próton (m_p) é maior que a do elétron (m_e):

$m_p = 1,7 \times 10^{-24} \text{ g}$; $m_e = 9,1 \times 10^{-28} \text{ g}$. Se escrevermos de outra forma, igualando as potências de dez, teremos:

$$m_p = (1,7 \times 10^4) \times 10^{-28} \text{ g}$$

$$m_e = (9,1) \times 10^{-28} \text{ g}$$

Dessa forma podemos ver claramente que m_p é maior que m_e , pois $1,7 \times 10^4$ é maior que 9,1.

Obs.: $10^{-24} = 10^4 \times 10^{-4} \times 10^{-24} = 10^4 \times 10^{-28}$

Q2 – Um átomo de prata (Ag) possui 47 prótons e 61 nêutrons em seu núcleo, além de 47 elétrons em torno do núcleo.

- a) Quanto vale a massa total dos elétrons do átomo de prata?
 b) Quanto vale a massa do núcleo desse átomo?
 c) Qual é a relação entre a massa do núcleo e a massa dos elétrons?

Comentário:

R2 – a) Se o átomo de prata possui 47 elétrons em torno de seu núcleo, lembrando que a massa de cada elétron vale $m_e = 9,1 \times 10^{-28} \text{ g}$, teremos que a massa total dos elétrons do átomo de prata (M_e) será:

$$m_{\text{total}}(e) = 47 \times 9,1 \times 10^{-28} \text{ g} = 427,7 \times 10^{-28} \text{ g}$$

- b) O núcleo do átomo de prata é constituído por 47 prótons e por 61 nêutrons. Lembrando que a massa de cada próton vale $m_p = 1,70 \times 10^{-24} \text{ g}$ e que a massa do nêutron é praticamente igual à massa do próton, teremos que a massa do núcleo do átomo de prata será: $m_N = 47 m_p + 61 m_n$

$$m_N = 47 \times 1,7 \times 10^{-24} \text{g} + 61 \times 1,7 \times 10^{-24} \text{g}$$

$$m_N = (47 + 61) 1,7 \times 10^{-24} \text{g} = 108 \times 1,7 \times 10^{-24} \text{g}$$

$$m_N = 183,6 \times 10^{-24} \text{g}$$

c) A razão (**R**) entre a massa do núcleo e a massa dos elétrons será dada por:

$$R = \frac{m_{\text{núcleo}}}{m_{\text{elétrons}}} = \frac{183,6 \times 10^{-24}}{427,7 \times 10^{-28}} =$$

$$R = \frac{(183,6 \times 10^4) \times 10^{-28}}{(427,7) \times 10^{-28}} = \frac{183,6 \times 10^4}{427,7} = 0,42 \times 10^4$$

O resultado da divisão de 183,6 por 427,7 foi apresentado como sendo 0,43 e não como 0,429 porque o algarismo 2 do número 0,4292 já é duvidoso e, conseqüentemente, os algarismos 9 e 2 seguintes não têm significado. Por esta mesma razão o resultado **R** pode ser escrito como:

$$R = 0,43 \times 10^4 \text{ ou } R = 4,3 \times 10^3 \text{ ou } R = 43 \times 10^2.$$

É interessante dar exemplos concretos aos alunos da ordem de grandeza da diferença entre a massa do núcleo e a massa dos elétrons. A razão entre a massa de um pacote de açúcar de 5 quilos e a massa de um grão de feijão é da mesma ordem de grandeza que a existente entre a massa do núcleo e a massa dos elétrons do átomo de prata.

Q6 – Que forças agem sobre os elétrons de um átomo?

Comentário:

R6 – O átomo possui um núcleo que é constituído de prótons e nêutrons. Como os prótons possuem carga elétrica positiva e os nêutrons são eletricamente neutros, o núcleo do átomo possui carga elétrica positiva. Além dos prótons e nêutrons, o átomo possui também partículas com carga elétrica negativa que são os elétrons; lembrando que partículas com carga elétrica de mesmo sinal se repelem e que partículas com carga elétrica de sinal contrário se atraem, teremos que sobre um elétron agirá uma força atrativa devida ao núcleo e forças repulsivas devidas aos outros elétrons do próprio átomo.

O átomo de hidrogênio possui apenas um elétron em torno do núcleo. Nesse caso, portanto, sobre esse elétron há apenas uma força atrativa devida ao núcleo; não existem forças repulsivas uma vez que não existem outras partículas com carga elétrica negativa.

2. Elétrons de valência e número atômico

Aqui fala-se da importância da camada de valência no estudo das propriedades elétricas da matéria, uma vez que os elétrons das camadas mais internas estão mais fortemente ligados ao núcleo positivo por causa de sua proximidade maior.

Caso o professor queira, aqui seria uma ocasião para ser introduzida e discutida a lei de Coulomb:

“A força entre corpos carregados é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre esses corpos.”

Note que no curso do PEF não é dado destaque a esta lei; em outros cursos costuma-se fazer muitos exercícios em torno da força de coulomb entre cargas puntiformes.

3. Ionização

Ao final dessa seção sugere-se fazer um resumo das seções 1, 2 e 3, seguido de uma discussão geral.

4. Eletrização

Esta seção pode se tornar maçante porque traz grande quantidade de informações, e não há questões no texto. Cabe ao professor evitar o cansaço dos alunos, explicando as idéias principais, sem se ater a detalhes.

Deve ser destacado que os elétrons de valência é que são removidos na eletrização. Estes elétrons são os mais fracamente atraídos pelo núcleo pois estão nas camadas mais externas do átomo. O que define se o corpo é eletrizado negativamente ou positivamente é o maior ou menor número de elétrons que possui em relação ao número de prótons. É bom lembrar, ainda, que prótons não são removidos facilmente dos átomos.

5. A indução elétrica

Nessa seção é sugerida a tradicional experiência de indução eletrostática. Ela é bastante fácil e o único problema que pode surgir é a fixação da bolinha com o fio de linha ou cabelo.

A bolinha de papel-alumínio deve ser construída com cuidado, de forma a fazê-la pequena e com uma superfície esférica melhor possível.

Caso seja usado papel de cigarro, deve ser queimado o papel branco e utilizado somente o papel aluminizado, pois, caso contrário, a bolinha ficará muito pesada.

O professor deve acompanhar atentamente a realização da experiência e observar seu desenvolvimento.

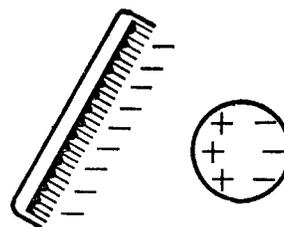


figura A2

Q13 -- Depois do contato com o pente, a bolinha fica eletrizada? Por quê?

Comentário:

O pente eletrizado ao ser aproximado da bolinha metálica (de papel-alumínio), inicialmente neutra, provoca nesta um deslocamento de elétrons de modo que a região da bolinha mais próxima do pente fica carregada com cargas de sinal oposto ao das cargas do pente. Por causa disto, o pente e a bolinha se atraem. A região da bolinha mais afastada do pente ficará carregada com cargas de mesmo sinal das cargas do pente.

Suponhamos que o pente esteja eletrizado negativamente. Quando encostamos o pente na bolinha, as cargas negativas, localizadas na região do pente que entra em contato com a bolinha, passam para ela, tornando-a negativamente carregada: como as regiões do pente que não entraram em contato com a bolinha ainda permanecem negativamente carregadas, a bolinha e o pente passam a se repelir (figura A2).

6. Condutores e isolantes

Nessa seção repetimos a experiência da seção anterior e acrescentamos outra, onde substituímos o fio de linha por um fio condutor. Este fio condutor pode ser de Ni-Cr nº 40 ou de cobre nº 37 ou 38; o importante é que seja fino e flexível. Se for usado fio de cobre, este deve ter sua capa de esmalte isolante retirada com uma lixa fina ou raspada com uma lâmina. Essa experiência tem um efeito visual muito reduzido, isto é, os alunos imaginam um movimento bastante grande da bolinha, mas isto não acontece.

Deve ser observado que a carga necessária para eletrizar a bolinha é muito grande; como isto não é possível, o efeito de ida e vinda da bolinha é pouco visível. No entanto, isto pode dar origem a um debate com os alunos.

7. Exercícios de aplicação

Os alunos devem resolver todos esses exercícios e especialmente E10, E11, E13 e E15.

Comentário:

- E5** – A distribuição dos elétrons ao redor do núcleo é em camadas. No entanto, essas camadas, como um todo, formam uma espécie de nuvem, ao redor do núcleo, que nos impossibilita afirmar qual a posição do elétron em cada instante.
- E9** – Ao aproximarmos o corpo positivo do corpo condutor, os elétrons se movimentarão nesse corpo, aproximando-se da região mais próxima do corpo carregado. Com isso, a região do corpo neutro mais perto do corpo carregado torna-se negativa. A carga total do corpo neutro continua nula, mas há uma separação de cargas positivas e negativas.

8. Sugestões para discussão com os alunos

a) Eletrização:

- P1** – Uma esfera maciça, condutora, inicialmente neutra, recebe um excesso de elétrons. Onde eles irão se localizar?

Comentário:

Um corpo condutor possui elétrons livres, isto é, elétrons que podem se deslocar através do condutor.

Os elétrons, por terem cargas de mesmo sinal, irão se repelir e se afastarão o máximo possível uns dos outros até encontrarem uma posição em que estejam em equilíbrio eletrostático. Nessa situação, eles estarão localizados na superfície da esfera.

Por exemplo, se colocarmos 2 elétrons em uma esfera eles se localizarão em pontos opostos, pois esta é a configuração que possibilita ficarem mais distantes um do outro.

Se colocarmos um terceiro elétron nesta esfera, eles se localizarão de modo a formarem um triângulo equilátero inscrito na esfera (figura A3).

É interessante propor este exemplo como exercício para a classe e ressaltar o fato de que a esfera, por ser condutora, permitirá o movimento dos elétrons e que eles tenderão para um arranjo no qual haja equilíbrio estável. A informação adicional, de que a intensidade da força de repulsão entre os elétrons diminui com a distância, deve ser fornecida.

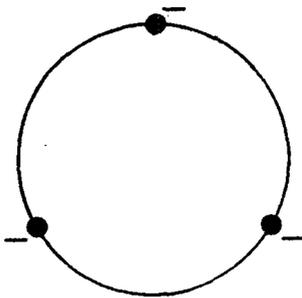


figura A3

b) Condutores e isolantes

P2 — Dadas 3 esferas de mesmo tamanho e feitas do mesmo metal, uma com um excesso de 4×10^{10} elétrons, outra com um excesso de 12×10^{10} elétrons e outra neutra, qual o procedimento para obter uma esfera com excesso de 5×10^{10} elétrons, somente encostando uma na outra?

Comentário:

Esta questão pode ser resolvida fazendo-se considerações sobre equilíbrio eletrostático.

É interessante discutir inicialmente um caso mais simples como, por exemplo, o de uma esfera condutora com 2 elétrons.

Sendo a esfera condutora, os elétrons estão livres para se movimentarem nela. Os dois elétrons por terem cargas de mesmo sinal, irão se repelir e, portanto, se arranjarão sobre a esfera de modo a ficarem o mais distante possível um do outro (figura A4).

Se encostarmos nessa esfera uma outra esfera condutora, eletricamente neutra, daremos chance de os elétrons se afastarem mais ainda um do outro. Teremos portanto um arranjo diferente (figura A5).

Se agora afastarmos uma esfera da outra, cada uma ficará com um elétron (figura A6).

Utilizando esse mesmo esquema, podemos resolver a questão proposta.

Se encostarmos a bola carregada com 12×10^{10} elétrons à esfera neutra e depois as afastarmos, teremos 2 esferas com 6×10^{10} elétrons cada.

Se encostarmos uma das esferas com 6×10^{10} elétrons à esfera com 4×10^{10} elétrons, teremos 2 esferas com 5×10^{10} elétrons cada uma (figura A7 e A8).

P3 — Discuta a indução em materiais condutores e em materiais isolantes.

Comentário:

Um corpo carregado colocado próximo a um corpo eletricamente neutro provoca neste um fenômeno conhecido como indução.

Se o corpo eletricamente neutro for um condutor, ocorrerá um deslocamento de seus elétrons livres que irão acumular-se em uma região do corpo condutor mais próxima ou mais distante possível do corpo carregado, dependendo de este estar com excesso ou com falta de elétrons, respectivamente.

Entretanto, se o corpo eletricamente neutro for um isolante, ocorrerá um rearranjo das partículas carregadas dos átomos ou moléculas que constituem o isolante, aparecendo uma região negativa e outra positiva (figura A9).

Quanto à eletrização, a diferença essencial é que, enquanto em um condutor o excesso de cargas se distribui por toda sua superfície, em um isolante o excesso de cargas fica localizado na região onde foi depositado.

É interessante ressaltar que na eletrização há uma transferência ou perda de cargas, enquanto que na indução isso não ocorre: não há alteração no número de elétrons do corpo. Afastando-se o corpo carregado, os efeitos da indução desaparecem, isto é, no caso do condutor as cargas, que inicialmente haviam-se concentrado em uma de suas regiões, voltam a se redistribuir; no caso do isolante, seus átomos ou moléculas voltam ao seu formato original.

1

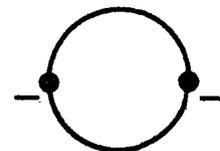


figura A4

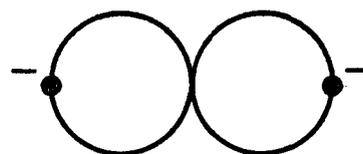


figura A5

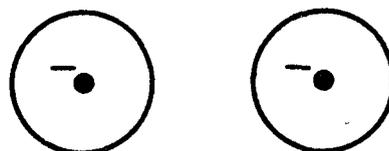


figura A6

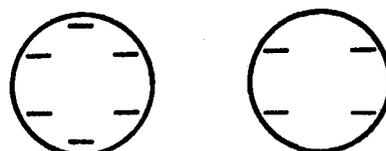


figura A7

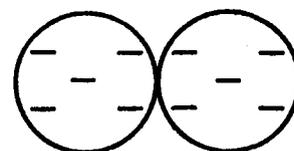


figura A8

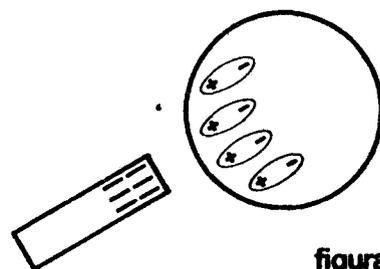
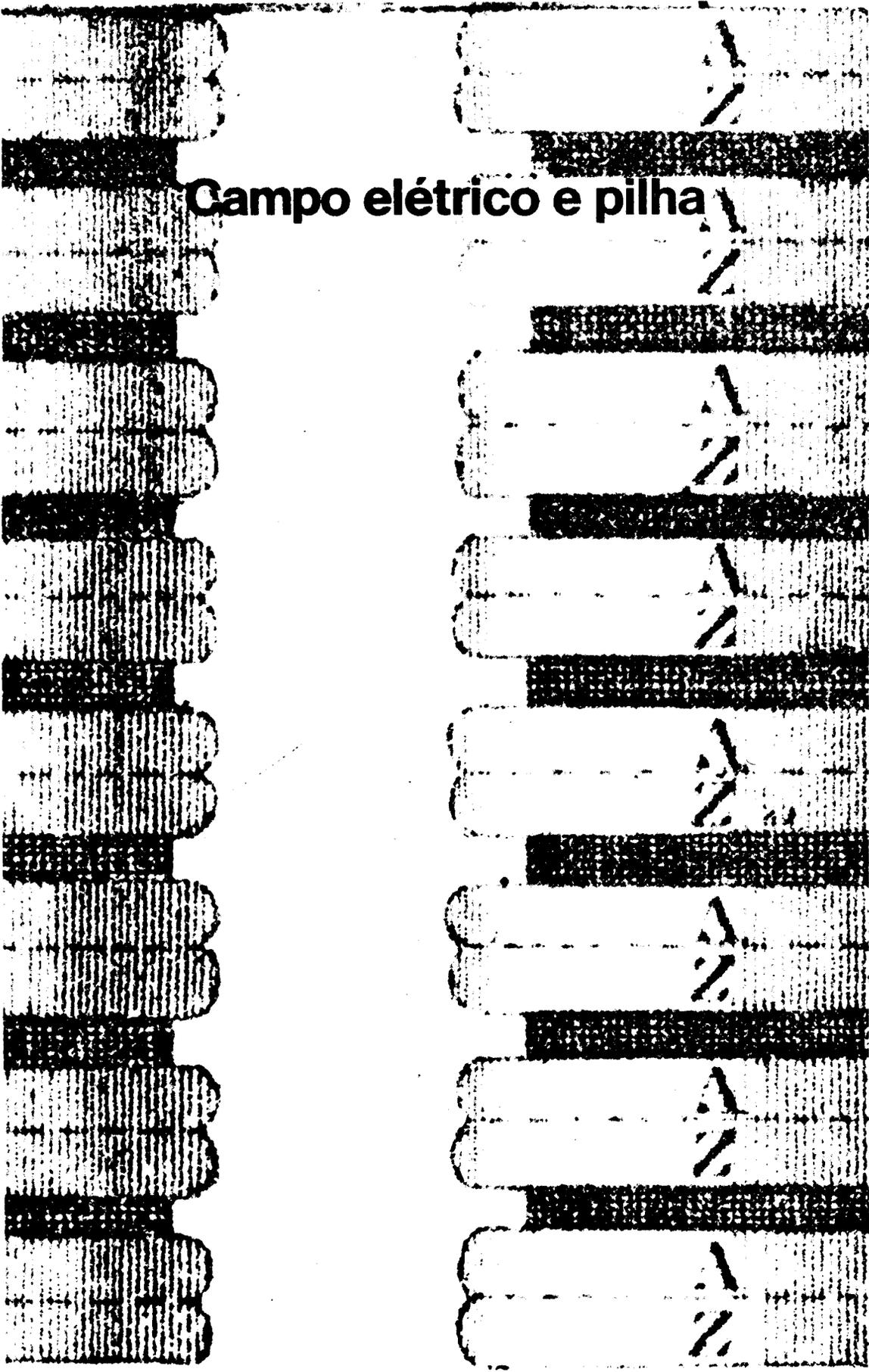


figura A9

9. Sugestões para outras experiências

Não há.

Campo elétrico e pilha



1. Conteúdo

Introdução

1. Campo criado por um corpo carregado - 2-2
2. Efeitos do campo sobre corpos carregados – 2-3
3. O campo entre placas carregadas – 2-5
4. Caráter vetorial do campo elétrico – 2-6
5. Campo elétrico num fio condutor – 2-8
6. A pilha elétrica – 2-9
7. Combinações entre pilhas – 2-12
8. Exercícios de aplicação – 2-14

Leitura suplementar:

Alessandro Volta (1745 – 1827) – 2-19

2. Objetivos do capítulo

Terminado o capítulo, o aluno deverá ser capaz de:

- a) Descrever a influência de um corpo carregado eletricamente nas propriedades elétricas da região que circunda o corpo.
- b) Descrever como se detecta a existência de um campo elétrico em uma região do espaço, através de uma carga de prova.
- c) Descrever um processo de determinação da carga elétrica de qualquer corpo, tomando-se como padrão uma carga elétrica conhecida.
- d) Dados alguns pontos do espaço em uma região de campo elétrico criado por uma carga Q puntual, determinar o ponto em que o campo elétrico é mais intenso.
- e) Explicar a relação ($\mathbf{F} = q \mathbf{E}$) entre a força sofrida por uma carga de prova em um ponto, o valor dessa carga e o vetor campo elétrico e aplicar essa relação.
- f) Enunciar o princípio de superposição de campos elétricos e dar um exemplo de sua aplicação.
- g) Descrever o movimento dos elétrons livres em um fio condutor submetido a um campo elétrico.
- h) Construir e descrever o funcionamento de uma pilha elétrica feita com solução de sulfato de cobre, 10cm^2 de feltro, uma placa de zinco e uma de cobre. Montar um circuito e utilizar essa pilha para acender uma lâmpada.
- i) Comparar os campos elétricos gerados por uma pilha e por um pente atritado.
- j) Fazer ligações entre pilhas secas e identificar as combinações que produzem maior ou menor campo elétrico em um fio ligado entre seus terminais.

3. Pré-requisitos

- a) Capítulo 1 de Eletricidade
- b) Adição e subtração de vetores
- c) Multiplicação de um vetor por um escalar.

4. Número de aulas previstas

- a) Para o texto principal: 6
- b) Para os exercícios de aplicação: 2
- c) Para a avaliação: 2
- d) Para a leitura suplementar: 2

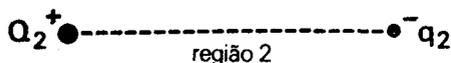
5. Sugestões para avaliação

Os exercícios seguintes podem servir como modelo para a organização de uma prova:

Objetivo a: E4, E5 e P1

P1 – Em duas regiões do espaço (1 e 2) mostradas na figura B1,

figura B1



existem duas cargas Q_1 e Q_2 . Quando colocamos uma carga de prova q_1 na região 1, esta carga sofre uma força F_1 na presença de Q_1 . Na região 2 a carga q_2 sofre uma força F_2 . Sabendo-se que $q_1 = 2q_2$ e que $3F_1 = F_2$, determine a relação entre os campos elétricos E_1 e E_2 (E_1/E_2).

R1 $E_1 = F_1/q_1$
 $E_2 = F_2/q_2 = \frac{3F_1}{q_1/2}$
 $E_1/E_2 = \frac{F_1/q_1}{3F_1/q_1/2}$
 $E_1/E_2 = 1/6$

Objetivo b: E6 e P2

P2 – Uma carga q_1 em um ponto do espaço sofre uma força F_1 . Trocando a carga q_1 por outra carga q_2 , verifica-se que esta última sofre uma força F_2 no mesmo ponto que q_1 . Quais as conclusões que se pode tirar a respeito das relações F_1/q_1 e F_2/q_2 ?

R2 – Se $F_1/q_1 = F_2/q_2$, podemos concluir que na região existe um campo elétrico constante. No caso de $F_1/q_1 \neq F_2/q_2$, pode não existir campo elétrico ou as cargas q_1 e q_2 são demasiadamente grandes, de modo a perturbar a carga produtora do campo no ponto estudado.

Objetivo c: E7 e P3

P3 – Uma carga $q = 2 \times 10^{-13}$ C sofre uma força de 10^{-7} N. Qual a intensidade do campo elétrico na posição em que esta carga está situada?

R – $E = \frac{F}{q} = \frac{10^{-7} \text{ N}}{2 \times 10^{-13} \text{ C}} = 0,5 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{C}}$
 $E = 5,0 \times 10^5 \text{ N/C}$

Objetivo e: E9, E10 e E11

Objetivo f: E8 e P4

P4 – Indique na figura B2 a direção e o sentido do campo elétrico resultante que age sobre a carga q ($Q_1 = 2Q_2$).

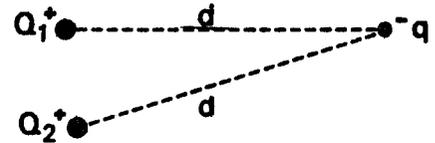


figura B2

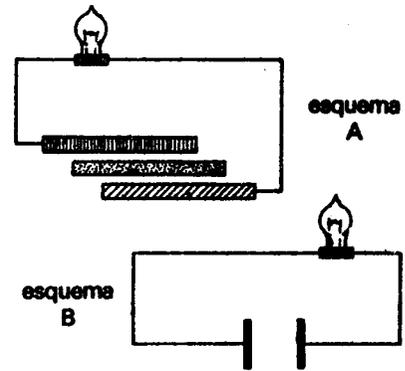


figura B3

Objetivo g: E14

Objetivo h: E15, P5 e P6

P5 – Identifique no esquema A, mostrado na figura B3, os componentes da pilha que você construiu. No esquema B, indique a direção do campo elétrico, o sentido de deslocamento dos elétrons e as placas positiva e negativa.

P6 – Complete a sentença abaixo:
 “A placa metálica da pilha construída por você, que fica com excesso de elétrons, é a de _____, enquanto que a de _____ fica com falta de elétrons.”

R6 – Zinco, cobre

Objetivo i: P7

P7 – O que ocorre com os elétrons livres de um condutor quando o fio é submetido ao campo elétrico de uma pilha?

R7 – Os elétrons livres, que se deslocam aleatoriamente (sem direção preferencial) no fio, passam a ter um movimento preferencial, deslocando-se do pólo negativo para o pólo positivo.

Objetivo j: P8

P8 – Qual das ligações, mostradas na figura B4, produz maior brilho na lâmpada? (Todas as pilhas são iguais) Por quê?

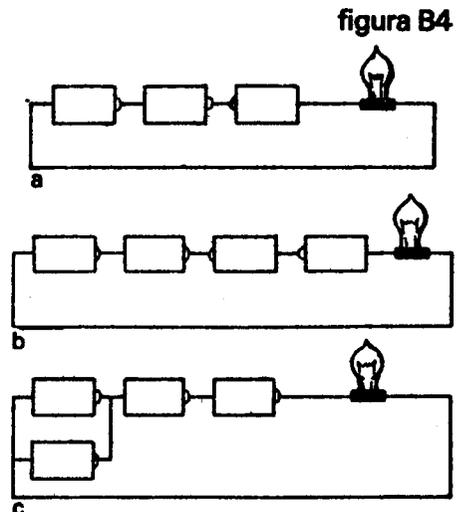


figura B4

R8 — A ligação **C**. Esta ligação apresenta a lâmpada com o maior brilho, pois o campo elétrico resultante é o maior.

6. Bibliografia

- 1 — ALVARENGA, B. G. de & LUZ, A. M. R. da. **Física**. 2. ed. Belo Horizonte, B. Alvares, 1969. v. 3.
No capítulo 2 (pág. 29) é tratado o campo elétrico através da expressão da Lei de Coulomb.
- 2 — FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO DO ENSINO DE CIÊNCIAS. **Fazendo pilhas elétricas**: conjunto experimental. São Paulo, FUNBEC [s.d.].(Eletricidade Mirim).
- 3 — PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE. **Física**. 6. ed. São Paulo, EDART, 1970. v.4.
Da página 32 a 38 são discutidos cargas elétricas, forças elétricas e campos elétricos. São apresentados também fotos com várias configurações de campo elétrico.
- 4 — SEARS, F. W. & ZEMANSKY, M. W. **Física**. Trad. Carlos Campos de Oliveira. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1963.
O capítulo 30 (pág. 642) trata de Eletroquímica e Termoeletricidade e descreve, com detalhes, a condução elétrica nos líquidos. Em especial, a partir da página 653, são apresentados e discutidos vários tipos de pilhas.

7. Comentários sobre o texto

O material experimental que será utilizado neste capítulo é o seguinte:

- pedaço de feltro ($10 \times 10 \text{cm}^2$)
- placa de cobre ($10 \times 2 \text{cm}^2$)
- placa de zinco ($10 \times 2 \text{cm}^2$)
- suporte de lâmpada pequena
- lâmpada de 6V/50mA
- fios de ligação
- solução saturada de sulfato de cobre
- 5 pilhas

O assunto desse capítulo é, de certa maneira, novo para os alunos. Até a seção 5, é muito abstrato, o que causa uma certa dificuldade. O professor deve estar atento e procurar orientar os trabalhos dos alunos. Nas seções seguintes, as experiências já tornam mais agradável a atividade dos alunos.

Introdução

Essa rápida introdução situa dentro da história o assunto desse capítulo. É útil uma breve discussão logo após sua leitura pelos alunos, pois servirá para a organização do trabalho em classe.

1. Campo criado por um corpo carregado

Nessa seção é apresentada a idéia geral do campo elétrico.

A unidade de medida de carga elétrica é apresentada nessa seção. Um coulomb (**C**) corresponde aproximadamente à carga de $6,3 \times 10^{18}$ elétrons ou prótons. A carga do elétron é igual a do próton: em valor absoluto vale $1,6 \times 10^{-19} \text{C}$.

Não é necessário exigir que os alunos decorem o valor da carga de um elétron, nem a quantos elétrons corresponde 1 coulomb. Entretanto, é importante que os estudantes conheçam a ordem de grandeza desses valores.

2. Efeitos do campo sobre corpos carregados

São descritas experiências para determinar a carga de um corpo, baseada na força a que ele fica sujeito quando imerso num campo elétrico.

As questões Q2, Q3 e Q4 podem ser resolvidas no quadro-negro pelo professor para ajudar a compreensão do assunto.

Q2 – Se um corpo de carga + q sofre uma força de $8 \times 10^{-3} \text{ N}$, ao ser colocado num determinado ponto onde exista um campo elétrico, qual será a carga de um corpo que, colocado nesse ponto, sofre uma força de $32 \times 10^{-3} \text{ N}$?

Comentário:

A força que um corpo fica sujeito, quando colocado em um ponto onde existe um campo elétrico, é diretamente proporcional à sua carga (seção 2).

Para resolver a questão é suficiente calcular a razão entre as intensidades das forças, às quais ficam submetidos os dois corpos, quando colocados sucessivamente no mesmo ponto do espaço, e igualar o valor obtido à razão entre as cargas dos dois corpos:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{8 \times 10^{-3} \text{ N}}{32 \times 10^{-3} \text{ N}} = \frac{1}{4} = \frac{Q_1}{Q_2}$$

Assim $Q_2 = 4 Q_1$ e, sendo $Q_1 = q$, $Q_2 = 4q$

Q3 – Uma carga elétrica de $3 \times 10^{-3} \text{ C}$ é colocada num ponto **P**, próxima a um corpo carregado, sofrendo a ação de uma força de $6 \times 10^{-3} \text{ N}$. Qual é o valor do campo elétrico no ponto **P**?

Comentário:

Para resolver esta questão é suficiente a aplicação da equação

$$E_{(P)} = \frac{F_{(P)}}{q}. \text{ Como } F_{(P)} = 6 \times 10^{-3} \text{ N e}$$

$$q = 3 \times 10^{-3} \text{ C, portanto } E_{(P)} = \frac{6 \times 10^{-3} \text{ N}}{3 \times 10^{-3} \text{ C}} = 2 \text{ N/C.}$$

O valor do campo elétrico do ponto (P) é 2N/C.

Q4 – Tendo em vista que o campo elétrico **E** é proporcional à força **F** exercida sobre corpos carregados, ordene os pontos da figura 4 em ordem decrescente de intensidade do campo elétrico.

Comentário:

No parágrafo anterior a esta questão afirma-se que “quanto mais aproximamos uma carga q de outra carga Q , maior é a força que atua entre elas”. Da relação $E_{(p)} = F_{(p)}/q$ vemos que o campo elétrico criado por uma carga Q é diretamente proporcional à força que age em um corpo de carga q ; isto quer dizer que se a força diminui com o aumento da distância entre as cargas, o campo elétrico também diminui.

Portanto, quanto maior a distância do corpo carregado Q , menor será a intensidade do campo elétrico criado e, quanto menor a distância, maior será sua intensidade.

Assim sendo, para ordenar os pontos da figura 4 em ordem decrescente de intensidade do campo elétrico é suficiente ordená-los em ordem crescente de afastamento do corpo Q . Ou seja: A, C, B, D.

3. O campo entre placas carregadas

A importância de placas carregadas consiste em que o campo entre duas placas planas paralelas, não muito distantes, é uniforme. Isso permite imaginar uma série de experiências e análises interessantes acerca do movimento de cargas, principalmente quando, no próximo capítulo, for introduzida a idéia de diferença de potencial.

4. Caráter vetorial do campo elétrico

5. Campo elétrico num fio condutor

Será útil o professor sugerir aos alunos fazerem E7 e E8, logo após a leitura do 5º parágrafo dessa seção.

Q7 – Se ligarmos através de um fio metálico duas placas carre-

gadas com cargas de sinais opostos, o que acontecerá com os elétrons livres do fio?

Comentário:

Se ligarmos as placas através de um fio condutor, seus elétrons livres irão se deslocar em direção à placa positiva, devido à ação do campo elétrico \vec{E}

Se as duas placas forem condutoras, os elétrons chegam à placa positiva e vão se distribuindo sobre sua superfície e, simultaneamente, os elétrons da placa negativa vão sendo coletados (sugados) pelo fio condutor. Em outras palavras, ocorre a transferência do excesso de elétron da placa negativa para a placa positiva.

Deve-se ressaltar que, conforme os elétrons vão sendo transferidos para a placa positiva, o campo elétrico vai diminuindo pois a sua intensidade depende da **diferença** de cargas elétricas existente entre as placas. Quando as cargas das duas placas se igualarem, o movimento de elétrons através do fio cessará, pois o campo elétrico entre as placas se tornará nulo.

6. A pilha elétrica

Aqui os alunos terão a oportunidade de construir uma pilha, o que, em geral, é bastante motivador.

As dificuldades possíveis e algumas sugestões a respeito da construção dessa pilha estão relatadas a seguir.

Construção da pilha

Antes da aula, é interessante o professor construir uma pilha para se familiarizar com as dificuldades que podem surgir.

Para a construção da pilha elétrica, de modo que funcione perfeitamente, existem alguns cuidados que devem ser levados em conta.

O filtro que atuará como "hospedeiro" da solução eletrolítica para as reações químicas deve ser embebido completamente, isto é, não deve somente ser imerso uma vez, mas deixado um certo tempo em contato com a solução. Um dos fatores do não-funcionamento da pilha é o não-encharcamento do feltro. As placas devem ser sempre lixadas antes do contato com o feltro umedecido pois, em contato com o ar, criam uma película de óxido em suas superfícies, dificultando a reação.

Deve ser preparada uma solução saturada de sulfato de cobre, em um recipiente com mais ou menos 300ml de água, que servirá para toda a classe. Isso facilitará o trabalho dos alunos e evitará o desperdício de material. O sulfato de cobre utilizado não precisa ser puro, podendo ser utilizado o produto vendido em lojas de ferragens e de produtos agrícolas, que é bem mais barato.

O mau contato dos fios de ligação com as placas e com o soquete da lâmpada também pode atrapalhar o êxito da experiência.

Quando os alunos terminarem a construção da pilha, faça-os secarem as placas e lixá-las, bem como deixar o feltro secar ou guardá-lo dentro de um saco de plástico, para evitar contato com outros elementos do conjunto experimental: o sulfato de cobre contido no feltro úmido pode oxidar as outras peças e danificá-las permanentemente.

Algumas vezes, os alunos fazem perguntas sobre o funcionamento das pilhas comuns de lanterna (pilhas secas), que são diferentes daquelas construídas em classe.

A pilha seca ou de Leclanché tem funcionamento análogo à "pilha de Daniel" construída nesse capítulo.

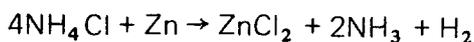
As diferenças principais estão no tipo de eletrodo e solução eletrolítica utilizados. Um bastão de carvão purificado (carbono) substitui na pilha seca o cobre como terminal positivo da pilha; o outro terminal é uma capa de zinco em forma cilíndrica que envolve a pilha. Em lugar de uma solução aquosa, utiliza-se uma

pasta úmida, por exemplo, serragem ou outra matéria esponjosa embebida de uma solução eletrolítica de cloreto de amônia (NH_4Cl), que substitui o sulfato de cobre e o feltro da pilha construída em classe.

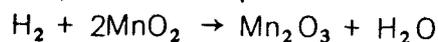
A reação química entre o cloreto de amônia e o zinco forma o sal cloreto de zinco com um excesso de dois elétrons para cada átomo de zinco que reage com cloro.

Quando a pilha está em funcionamento (circuito fechado), simultaneamente à reação acima, forma-se gás amônia (2NH_3) e hidrogênio. Esse hidrogênio tende a permanecer junto às paredes dos elétrodos, formando uma espécie de capa de isolação: esse fenômeno denomina-se **polarização**.

A polarização dos elétrodos dificulta a reação pois aumenta a resistência interna da pilha (figura B5). Para evitar a polarização acrescenta-se à pasta de solução eletrolítica, em torno do bastão de carbono, uma substância despolarizante como, por exemplo, dióxido de manganês (MnO_2). O dióxido de manganês ao reagir com o hidrogênio (H_2) forma um novo tipo de óxido de manganês (Mn_2O_3) e água (H_2O). Em resumo, as reações químicas que produzem a corrente elétrica e campo elétrico da pilha, são:



O hidrogênio, formado na reação acima, reage com o manganês, despolarizando a pilha.



Muitas vezes, nota-se que a pilha comum está "enfraquecendo" e que depois de um período de "descanso" volta a funcionar normalmente. Isto é uma ocorrência normal, pois, durante sua utilização, surge o fenômeno da polarização.

Durante o "repouso", o despolarizante atua permitindo que a pilha volte a funcionar normalmente.

O fato de esquentar uma pilha em um forno ou resfriá-la em uma geladeira fazem-na voltar a funcionar melhor. Durante o aquecimento ou resfriamento existe uma recuperação parcial dos reagentes, fazendo a pilha voltar a funcionar temporariamente. No entanto, após funcionar por pouco tempo, gasta-se e não há mais recuperação. Para maior durabilidade, aconselha-se para esse tipo de pilha que seu uso não seja contínuo, deixando-a "repousar" após um certo tempo de uso, para diminuir a polarização dos elétrodos.

7. Combinações entre pilhas

Observe aos alunos que, conforme o tipo de ligação, as pilhas podem ser consumidas em pouco tempo. Como sugestão, peça-lhes que mantenham o circuito ligado apenas o tempo necessário para fazer a medida.

As combinações entre pilhas devem ser feitas utilizando-se o porta-pilhas e fios de ligação, pois a pilha possui uma proteção externa que impede o contato direto entre os terminais negativos. Não percebendo isso, os alunos ficarão em dúvida em relação ao funcionamento da experiência.

8. Exercícios de aplicação

Os exercícios abordam todo o conteúdo do capítulo. Alguns exercícios como o E13 e o E16 apresentam um grau de dificuldade acima da média; o professor pode resolvê-los na lousa, após os alunos tentarem a resolução.

O enunciado de E8 está muito genérico. Peça aos alunos para considerarem uma determinada situação, por exemplo as cargas de mesmo sinal e Q_1 igual a Q_2 .

E6 — Em um ponto do espaço existe um campo elétrico. Como pode ser verificado este fato?

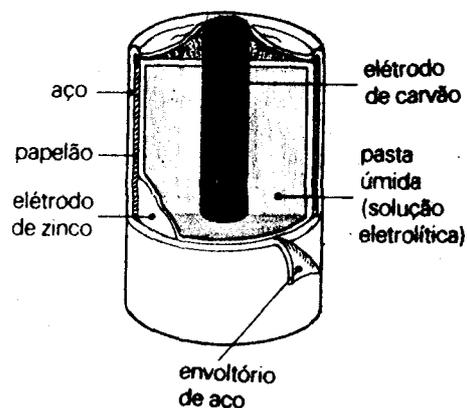


figura B5

Comentário:

A verificação experimental da existência de campo elétrico em determinado ponto do espaço envolve a colocação de um pequeno corpo carregado nesse ponto e a determinação da relação entre a força F exercida sobre esse corpo e sua carga q .

É interessante discutir com os alunos a necessidade desse corpo de prova ser pequeno (se fosse possível, pontual) e de não provocar mudanças no arranjo de cargas que produz o campo.

Leitura suplementar:

A leitura suplementar desse capítulo trata de uma famosa polêmica entre dois grandes cientistas do século XIX que, sob pontos de vista e concepções diferentes, buscaram a origem dos fenômenos elétricos.

8. Sugestões para discussão com os alunos

P1 – O campo elétrico na região entre duas placas planas paralelas é de 300N/C . Qual é a força em um elétron ($e = 1,6 \times 10^{-19}\text{C}$) nessa região?

$$\text{R1} \quad F = qE = 1,6 \times 10^{-19}\text{C} \times 3 \times 10^3\text{N/C} = 4,8 \times 10^{-16}\text{N}$$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{4,8 \times 10^{-16}\text{N}}{9,1 \times 10^{-31}\text{kg}} = 5,2 \times 10^{14}\text{m/s}^2$$

P2 – Existe um campo elétrico uniforme em uma região entre duas placas paralelas carregadas com cargas opostas. Um elétron é abandonado do repouso na superfície da placa carregada negativamente e atinge a superfície da outra placa em um intervalo de tempo de $1,5 \times 10^{-8}\text{s}$. Calcular o campo elétrico entre as placas.

Calcular a velocidade do elétron quando ele atinge a segunda placa.

A distância entre as placas é de 3cm .

$$\text{R2} \quad \frac{v - v_0}{2} = \frac{d}{t} \rightarrow v = \frac{2d}{t} = \frac{6 \times 10^{-2}}{1,5 \times 10^{-8}} = 4 \times 10^6\text{m/s}$$

$$a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{v}{t} = \frac{4 \times 10^6}{1,5 \times 10^{-8}} = 2,7 \times 10^{14}\text{m/s}^2$$

$$F = ma = qE \rightarrow E = \frac{ma}{q} = \frac{9,1 \times 10^{-31} \times 2,7 \times 10^{14}}{1,6 \times 10^{-19}} = 15,4 \times 10^2\text{N/C}$$

P3 – Qual deve ser a carga em uma partícula de $2,00\text{g}$ de massa para que ela permaneça parada no laboratório, quando colocada em um campo elétrico vertical, com o seu sentido para baixo e intensidade igual a 500N/C ?

$$\text{R3} \quad F_E = P \rightarrow qE = mg \rightarrow q = \frac{mg}{E} = 3,92 \times 10^{-5}\text{C}$$

9. Sugestões para outras experiências

Não há sugestões nesse capítulo.

Paternal e e co

3



1. Conteúdo

Introdução – 3-1

1. Energia potencial mecânica – 3-2
2. Energia potencial elétrica – 3-4
3. Elétrons em um campo elétrico – 3-4
4. Diferença de potencial entre dois pontos – 3-8
5. Diferença de potencial entre dois pontos quaisquer – 3-10
6. Relação entre V e E – 3-10
7. A unidade de diferença de potencial – 3-12
8. Como medir diferença de potencial – 3-12
9. Exercícios de aplicação – 3-14

Leitura suplementar:

- Aceleradores eletrostáticos – 3-19
Algumas aplicações da eletrostática – 3-28

2. Objetivos do capítulo

Ao final do capítulo, o aluno deverá ser capaz de:

- a) Dados dois corpos carregados, descrever um processo de armazenamento de energia potencial elétrica no campo elétrico criado por eles.
- b) Descrever o processo para restituir carga a placas metálicas paralelas situadas no vácuo, utilizando-se uma pilha elétrica, através do deslocamento de cargas de uma placa à outra.
- c) Definir diferença de potencial elétrico.
- d) Estabelecer a relação entre a diferença de potencial e o campo elétrico entre duas placas carregadas, planas e paralelas.
- e) Dado um multímetro e um circuito, fazer a medida da diferença de potencial entre pares de pontos do circuito.

3. Pré-requisitos

- Capítulos 1 e 2 de Eletricidade
- Trabalho, energia cinética, energia potencial mecânica, transformação e conservação de energia.

4. Número de aulas previstas

- a) Para o texto principal: 6
- b) Para os exercícios de aplicação: 2
- c) Para a avaliação: 2
- d) Para a leitura suplementar: 2
- e) Para o texto optativo: 1

5. Sugestões para avaliação

Os exercícios abaixo servem como modelo para a organização de uma prova:

Objetivo a: P1

- P1** – Queremos acelerar elétrons a partir do repouso ($v_0 = 0$) até a velocidade de 5×10^7 m/s. Qual a diferença de potencial que devem sofrer esses elétrons para adquirir esta velocidade em um sistema ânodo-cátodo?
Dados: massa do elétron = $9,1 \times 10^{-31}$ kg
carga do elétron = $1,6 \times 10^{-19}$ C

R1 $E_{\text{cinética inicial}} = \text{zero} = \frac{1}{2} mv^2$

$$E_{\text{cinética final}} = \frac{1}{2} mv^2$$

$$E_{\text{cinética final}} = E_{\text{potencial elétrica}}$$

$$\frac{1}{2} mv^2 = qV$$

$$V = \frac{mv^2}{2q} = 75 \times 10^2 \text{ V}$$

Objetivo b: P2

P2 – Descreva o processo de restituição de cargas em duas placas paralelas no vácuo, uma positiva e outra negativa, quando elétrons se movimentam da placa negativa à placa positiva, utilizando-se uma pilha.

R2 – A pilha mantém a energia potencial do sistema, restituindo-lhe a energia que perde quando elétrons passam de uma placa à outra. Para cada elétron que vai da placa negativa para a positiva, a pilha retira um elétron da placa positiva e fornece um elétron à placa negativa.

Objetivo c: P3

P3 – Defina diferença de potencial e sua unidade de medida.

R3 – A diferença de potencial entre dois pontos corresponde à energia fornecida por um sistema (por exemplo: pilha) por unidade de carga, quando uma pequena carga se desloca entre os dois pontos. A diferença de potencial é medida em joules/coulomb = volt (V)

Objetivo d: E2, E3, E4, E5, E6, P4, P5, P6 e P7

P4 – Analise as afirmativas seguintes, relacionadas com duas placas paralelas carregadas ao vácuo:

a) Se aumentarmos a distância entre duas placas, ficando elas com a mesma carga, a diferença de potencial entre elas aumenta.

b) Se aumentarmos a diferença de potencial entre as placas, o campo elétrico também aumenta.

Qual (is) a (s) afirmativa (s) correta (s)? **Justifique sua resposta.**

R4 – A afirmativa **a** está correta. Como $V = E d$ e o campo elétrico fica constante, o aumento da distância d fará a diferença de potencial aumentar.

P5 – A figura C1 representa duas placas planas carregadas distantes entre si de 10cm. O campo elétrico entre elas é de 10^3 N/C . Determine o trabalho realizado para deslocar prótons entre os pontos AB, AC, AD e AF, quando saem do ponto A e seguem as trajetórias indicadas. Determine também a diferença de potencial (ddp) entre esses pontos ($q_{\text{próton}} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$).

R5 $V = \tau/q \therefore \tau = Vq$

$$V = Ed = 10^2 \text{ V}$$

$$\tau = Edq = 10^2 qV$$

$$\tau_{AB} = \tau_{AC} = \text{zero (mesma placa)}$$

$$\tau_{AD} = \tau_{AF} = Vq = 1,6 \times 10^{-17} \text{ joules}$$

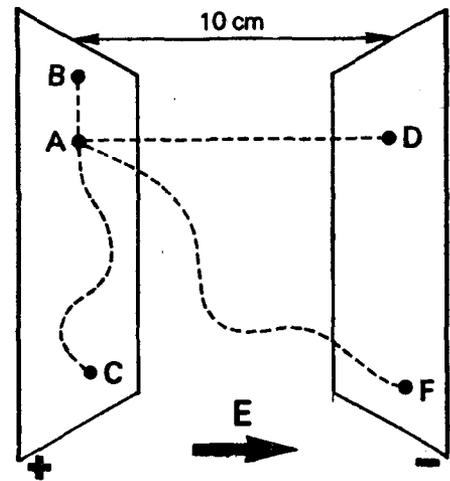


figura C1

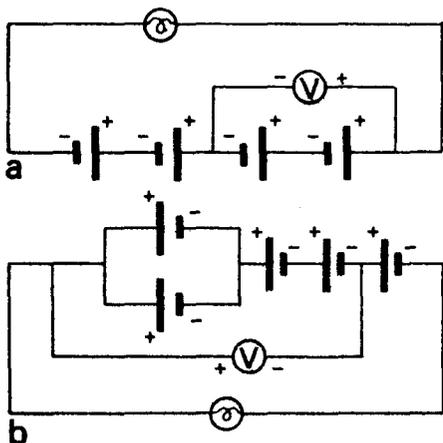


figura C2

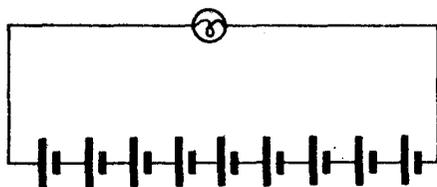


figura C3

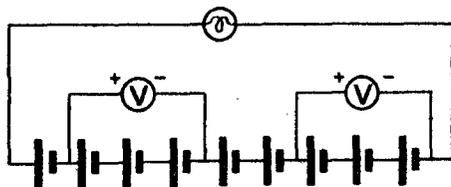


figura C4

P6 – O campo elétrico entre duas placas paralelas é de $5 \times 10^3 \text{ N/C}$. A diferença de potencial entre elas é de 300V. Qual a distância entre as placas?

R6 $V = E \cdot d$
 $d = V/E$
 $d = 0,06\text{m} = 6 \times 10^{-2}\text{m}$

P7 – Em uma aparelhagem para medir a carga do elétron, pelo sistema de Millikan (veja exercício de aplicação nº 16, capítulo 2), é necessário um campo elétrico de $6,34 \times 10^4 \text{ N/C}$ para manter em repouso uma gota de óleo carregada. Se as placas estão separadas por 2cm, qual a diferença de potencial entre elas?

$V = E \cdot d$
 $V = 1268\text{V}$

Objetivo e: E1, P8 e P9

P8 – Quanto deve indicar o voltímetro conectado (ligado) nos circuitos mostrados na figura C2, sabendo-se que cada pilha tem uma tensão de 1,5V?

R8 – Na figura C2, os voltímetros indicam, respectivamente, 3V e 4,5V.

P9 – Desenhe no circuito mostrado na figura C3 a posição que o voltímetro deve ser colocado para ser medida a diferença de potencial de 3 pilhas.

R9 – Veja a figura C4.

6. Bibliografia

1 – ALVARENGA, B. G. de & LUZ, A. M. R. da. **Física**. 2. ed. Belo Horizonte, B. Alvares, 1969. v.3.

No capítulo 3 (pág. 52 a 57), o texto trata de conservação de energia no campo elétrico. Logo após, segue uma discussão sobre superfícies equipotenciais, assunto que não é desenvolvido no PEF – Eletricidade.

2 – RESNICK, R. & HALLIDAY, D. **Física**. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1965. v. 2.

O capítulo 29 trata de potencial elétrico e superfícies equipotenciais em nível universitário básico.

3 – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Instituto de Física. **Projeto de ensino de física: mecânica**. São Paulo, USP; Rio de Janeiro, FENAME, 1973. v. 2.

Os conceitos de energia, trabalho e conservação de energia, pré-requisitos para este capítulo, estão desenvolvidos nos capítulos 10 e 11.

7. Comentários sobre o texto

Para esse capítulo é fundamental o conhecimento sobre a energia cinética e potencial, transformações de energia, conservação de energia e trabalho. Sugerimos que o professor verifique, por meio de testes, se os alunos têm esses pré-requisitos. Caso necessário, será de muita utilidade despendar algumas aulas (cerca de três) no estudo desses conceitos de mecânica. O próprio capítulo 3 ajudará a fixar as idéias sobre esse assunto.

O material experimental que será utilizado neste capítulo é o seguinte:

- 6 pilhas de 1,5V
- 6 suportes para pilhas
- fios de ligação
- voltímetro (fundo de escala mínimo: 2V)

Introdução

Mais uma vez fazemos uma abordagem histórica do estudo da Eletricidade. Como sempre, os alunos devem ser encorajados a ler.

1. Energia potencial mecânica

Nesta seção é feita uma rápida recapitulação de energia potencial mecânica. É uma boa oportunidade para o professor verificar até que ponto os alunos conhecem esse assunto.

É importante ficar claro que quando se realiza um certo trabalho no campo gravitacional, por exemplo, elevando o livro, a energia potencial gravitacional fica armazenada no sistema livro–Terra e não somente no livro.

2. Energia potencial elétrica

Aqui se faz a analogia do armazenamento de energia no campo gravitacional e em uma mola com o armazenamento de energia no campo elétrico. Será útil, resolver e discutir, em particular, a Q7.

3. Elétrons em um campo elétrico

Essa seção culmina com a idéia de diferença de potencial. É importante os alunos entenderem bem o conceito de diferença de potencial e não apenas decorarem a definição. Por isso, justifica-se um debate que inclua a resolução de problemas, durante duas ou três aulas, para tratar desse assunto.

É útil destacar que o campo entre as placas carregadas é considerado uniforme, pois elas são planas e estão próximas. O sentido do campo elétrico é, por convenção, o da placa positiva para a negativa.

Para discutir a Q12 deve ser lembrado que a força sofrida pelo elétron é exercida pelo campo e, por este ser uniforme, que a força é constante.

Para o parágrafo seguinte à Q12 ser bem entendido, a analogia com o livro do campo gravitacional pode ser retomada novamente.

Caso os alunos tenham dúvidas será bom esclarecer que, quando se fala em elétron parado no ponto A, considera-se que ele está “preso” ali, assim como o livro está “preso” na prateleira. Considere também que o ponto B citado a seguir, assim como o ponto A, são pontos arbitrários. O comentário sobre a Q13 serve para elucidar esse ponto.

Q13 – A força que age sobre o elétron, devida ao campo elétrico, realiza trabalho enquanto o elétron está parado em **A**? E enquanto o elétron se desloca de **A** para **B**?

Comentário:

Trabalho é definido como o produto da força aplicada a um corpo pelo deslocamento que ele efetua durante a aplicação da força. Se o elétron permanece parado em A, o trabalho realizado pela força que age sobre ele é nulo, pois, embora o valor da força seja diferente de zero, o valor do deslocamento é zero. Se o elétron se desloca de A para B, devido à ação da força, o trabalho realizado pela força que age sobre o elétron será diferente de zero, pois, nesse caso, tanto o valor da força quanto do deslocamento são diferentes de zero.

No 2º parágrafo após a Q15 é discutido o papel de uma pilha elétrica na manutenção de um certo potencial. O professor deve esclarecer bem essa função da pilha; a discussão detalhada de Q16 e Q17 pode ser a maneira adequada. É interessante lembrar também que a pilha mantém as placas sempre com a mesma carga, mantendo assim constante a energia armazenada no campo entre as placas; sempre que uma carga é deslocada de um ponto a outro, há consumo de energia.

É importante também que as questões Q18, Q19, Q20 e Q21 sejam resolvidas no quadro-negro e discutidas.

Q19 – A carga de cada elétron é de $1,6 \times 10^{-19} \text{C}$. Qual a energia fornecida pela pilha por unidade de carga (1C) deslocada de uma placa à outra? Considere o dado da Q18.

Comentário:

A cada elétron que se desloca da placa negativa para a positiva, a pilha fornece uma energia de $2,4 \times 10^{-19}$ joules. Para saber qual a energia que a pilha deve fornecer, quando é deslocada uma carga de 1C de uma placa a outra, deve ser calculado o número de elétrons correspondente a uma carga de 1C e esse número multiplicado pela energia que a pilha deve fornecer para cada elétron deslocado.

$$\begin{array}{l} 1 \text{ elétron} \rightarrow 1,6 \times 10^{-19} \text{C} \\ x \text{ elétrons} \rightarrow 1 \text{C} \end{array} \quad x = \frac{1}{1,6 \times 10^{-19}} \text{ elétrons}$$

A energia fornecida pela pilha por coulomb deslocado será:

$$E = x \times 2,4 \times 10^{-19} = \frac{1}{1,6 \times 10^{-19}} \times 2,4 \times 10^{-19} = \frac{2,4}{1,6} = 1,5 \text{ joules}$$

por coulomb deslocado.

4. Diferença de potencial entre dois pontos

5. Diferença de potencial entre dois pontos quaisquer

A idéia de diferença de potencial entre dois pontos pode facilitar uma melhor compreensão desse importante conceito. Um debate, fazendo-se a analogia com a variação da energia potencial de uma mola, quando deslocada de um ponto a outro, poderá ser o caminho. Quando uma carga se move ou é levada de um ponto a outro num campo elétrico qualquer, uniforme

ou não, ocorre uma variação da energia potencial do sistema. A taxa dessa variação de energia por unidade de carga deslocada é a diferença de potencial entre aqueles pontos.

A Q23 deve ser resolvida no quadro-negro após os alunos tentarem resolvê-la.

6. Relação entre V e E

É importante os alunos entenderem como obter essa relação, e não apenas decorarem a fórmula.

É útil o professor conferir no quadro-negro a resolução de Q25, Q26, Q27 e Q28.

7. Unidade de diferença de potencial

8. Como medir a diferença de potencial

É muito importante o professor familiarizar-se com o tipo de aparelho que os alunos irão utilizar, para poder ajudá-los. Para isto, o "Guia do multímetro" que se encontra no fim do capítulo 9 de Eletricidade, será muito útil. Lá, há instruções sobre o manuseio de diversos tipos de multímetros.

Nas experiências desse capítulo surgem dois problemas característicos: os contatos das pilhas — aliás, problema comum em todas as experiências — e o uso do voltímetro. O professor deve ter um domínio completo do aparelho antes de dá-lo para a classe.

Faça os alunos lerem com atenção o texto e resolverem as questões propostas no Guia, relacionadas com medidas de tensão, tendo junto de si o aparelho **mas sem as pontas** de prova. Desse modo, os alunos poderão relacionar os exercícios do Guia com o aparelho. Deve-se chamar atenção sobre o **fundo de escala** e como ler na escala do visor valores que não constam explicitamente da escala. Por exemplo, se o aluno escolher um fundo de escala 0—60V, mas a escala do visor está fixada entre 0-60V, mostrar que o valor lido deve ser multiplicado por dez, ou seja, que todos os valores neste caso são múltiplos do valor lido.

Quando os alunos começarem a efetuar medidas de tensão, chame atenção para a forma de ligar o aparelho ao circuito, isto é, conectá-lo em **paralelo** ao circuito. Mais tarde, quando os alunos aprenderem a medir corrente, é comum o erro de confundirem a forma de ligar o medidor para medidas de tensão e corrente. Para auxiliá-los, poderão ser feitos na lousa vários esquemas de ligações e discutida a forma de conectar o voltímetro no circuito para as medidas de tensão.

9. Exercícios de aplicação

E2 — A figura 13 representa duas placas planas carregadas, distando 15cm entre si. O campo elétrico entre elas é de 20N/C. Determine o trabalho realizado para deslocar elétrons entre os pontos AB, AC, AD e AF, quando saem de A e seguem as trajetórias indicadas. Qual a diferença de potencial entre estes pontos?

Comentário:

Esse problema deve ser feito imediatamente após a seção 6. A discussão deve ser baseada nos seguintes pontos: o sistema das duas placas é conservativo e o campo elétrico entre as placas é constante. Esse último fato justifica a validade da expressão $V = Ed$.

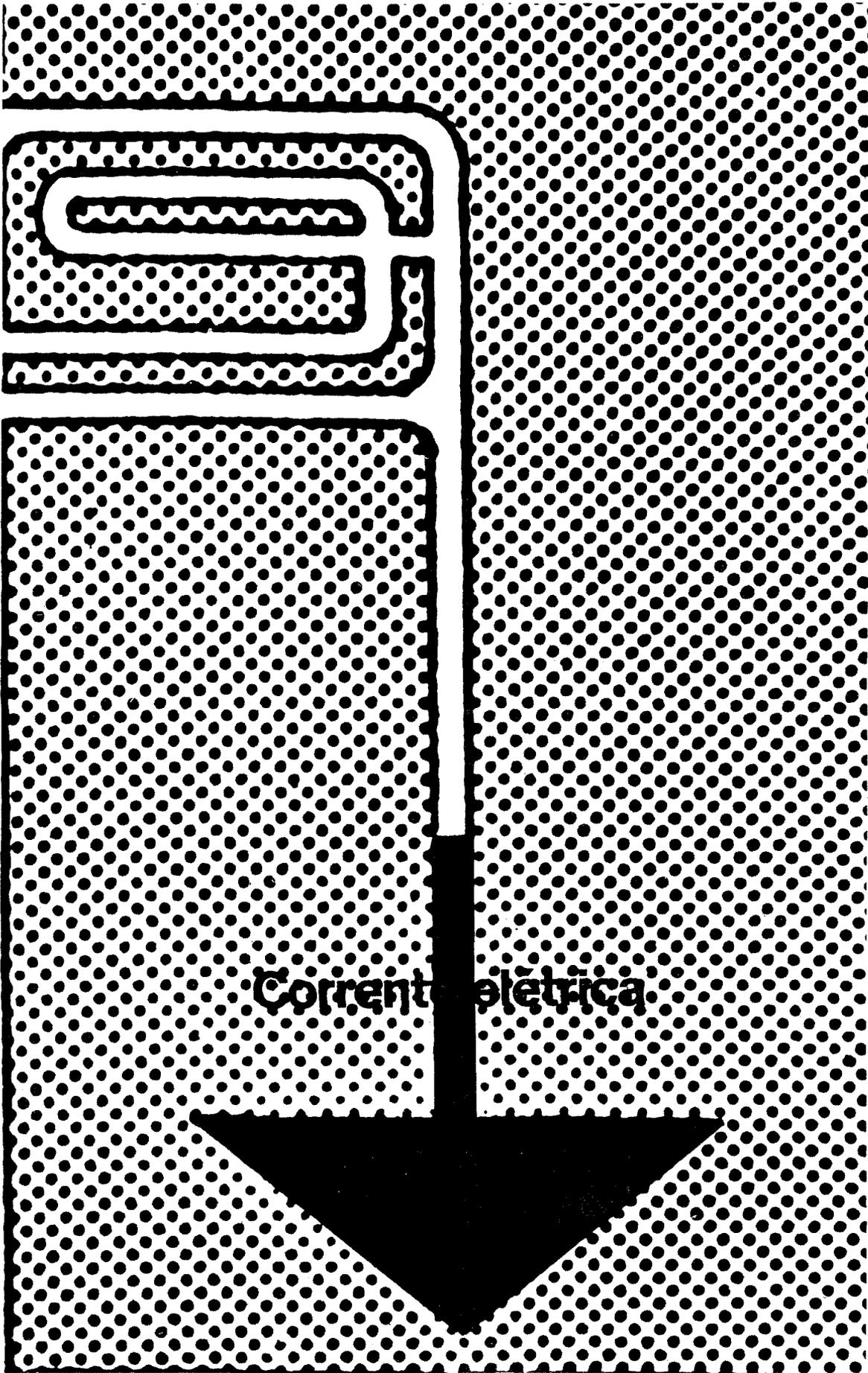
Caso queira aprofundar-se um pouco mais no assunto, este é o momento de discutir superfícies equipotenciais.

8. Sugestões para discussão com os alunos

Não há.

9. Sugestões para outras experiências

Podem ser feitos exercícios de medidas de tensão com o voltímetro para vários arranjos de pilhas contendo ligações em série e paralelo simultaneamente.



1. Conteúdo

Introdução – 4-1

1. Campo no fio condutor – 4-2
2. Intensidade e sentido da corrente elétrica – 4-2
3. A unidade de corrente elétrica – 4-4
4. Medida de corrente elétrica – 4-4
5. Corrente contínua e corrente alternada – 4-8
6. Exercícios de aplicação – 4-10

2. Objetivos do capítulo

Ao final do capítulo, o aluno deverá ser capaz de:

- a) Descrever qualitativamente o movimento dos elétrons livres dentro de um fio condutor ligado aos terminais de uma pilha.
- b) Descrever as condições em que o movimento dos elétrons em um fio é considerado uma corrente elétrica.
- c) Definir intensidade de corrente e unidade da intensidade de corrente e operar com a expressão $i = q/t$.
- d) Medir a corrente elétrica com um amperímetro, num circuito simples composto de um resistor ôhmico, pilhas elétricas e fios de ligação.
- e) Distinguir a intensidade de corrente produzida por associação de pilhas em série e em paralela.
- f) Esboçar um gráfico de corrente x tempo para o caso de um circuito de corrente contínua (CC) e para um circuito de corrente alternada (CA).
- g) Distinguir corrente contínua de corrente alternada em função do campo elétrico no interior do condutor.

3. Pré-requisitos

- Capítulos 1, 2 e 3 de Eletricidade
- Interpretação de gráficos de funções lineares e não-lineares.

4. Número de aulas previstas

- a) Para o texto principal: 3 a 4
- b) Para os exercícios de aplicação: 2
- c) Para a avaliação: 1

5. Sugestões para avaliação

Os exercícios abaixo servem como modelo para a organização de uma prova:

Objetivo a: E1, E2, P1, P2 e P3.

- P1** – Em um fio condutor os elétrons livres apresentam um movimento desordenado. No entanto, quando aplicado um campo elétrico neste condutor, o movimento dos elétrons é alterado. Descreva o movimento dos elétrons livres desse condutor quando aplicado um campo elétrico no seu interior.
- R1** – Os elétrons sofrem ação da força (campo) elétrica e começam a se deslocar em uma direção preferencial (sentido contrário ao do campo elétrico) com uma velocidade média constante.
- P2** – Onde está o erro da seguinte afirmação?
“Quando aplicamos um campo elétrico constante por meio de uma pilha em um condutor metálico, os seus elétrons livres são acelerados uniformemente.”
- R2** – O erro está em afirmar que os elétrons são **acelerados uniformemente**. Os elétrons sofrem, na realidade, acele-

rações (devido ao campo) e desacelerações (devido aos choques com os átomos), resultando o movimento dos elétrons com velocidade média constante.

- P3** – Quando os elétrons livres deslocam-se no interior de um condutor, eles perdem energia para os átomos do condutor. O que ocasiona no fio condutor essa perda de energia?
- R3** – A energia perdida para os átomos ocasiona aquecimento do fio condutor.

Objetivo **b**: P4

- P4** – A figura D1a está indicando o sentido do campo elétrico (**E**) em uma seção ampliada do fio condutor. Desenhe nesta seção ampliada o sentido de deslocamento dos elétrons livres que formam a corrente elétrica.
- R4** – Veja a figura D1b.

Objetivo **c**: E4, E5, E7, E8, E9, E10, P5 e P6.

- P5** – Defina corrente elétrica e diga qual é a unidade de medida.
- R5** – Corrente elétrica é a razão entre a quantidade de carga que atravessa uma seção do condutor em um dado intervalo de tempo e esse intervalo de tempo. Sua unidade de medida é o ampere (A).
- P6** – Uma corrente elétrica constante de 8A percorre um resistor durante 4 minutos. Quantos coulombs passam através da seção desse resistor durante esse tempo? Sabendo que um coulomb (C) equivale à carga de $6,3 \times 10^{18}$ elétrons, quantos elétrons atravessaram a seção do resistor durante os 4 minutos?
- R6** – a) $i = q/t \rightarrow q = it$
 $q = 8 \times 4 \times 60 = 1920C$
- b) $1C \rightarrow 6,3 \times 10^{18}$ elétrons
 $1920 \rightarrow x$
 $x = 1,2 \times 10^{22}$ elétrons

Objetivo **d**: P7 e P8.

- P7** – Queremos medir a corrente que percorre um circuito que contém 4 pilhas (1,5V) e uma lâmpada (1,1V) ligadas em série. Faça o esquema do circuito e desenhe em que posição você ligaria o amperímetro.
- R7** – Veja a figura D2.
- P8** – Temos um amperímetro com as seguintes posições para a chave seletora (fundo de escala): 500mA – 250mA – 50mA. Em que posição você colocaria a chave seletora para medir uma corrente de 325mA? Justifique sua resposta.
- R8** – Usaria o fundo de escala de 500mA, pois esta é a única escala que suporta 325mA sem ultrapassar o fundo de escala.

Objetivo **g**: P9

- P9** – Sabemos que existem dois tipos de correntes elétricas: **contínua** e **alternada**. Sabemos que o campo elétrico é

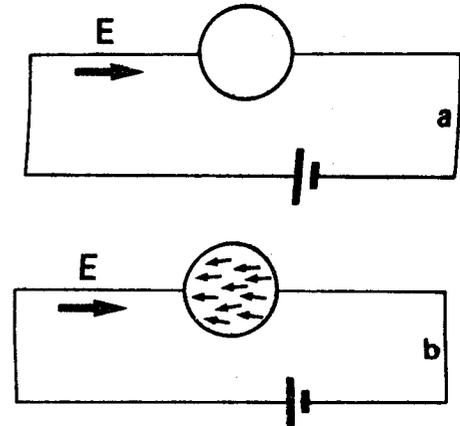


figura D1

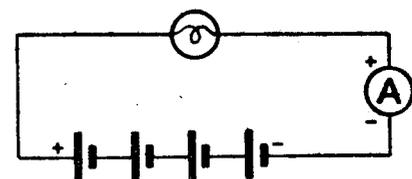


figura D2

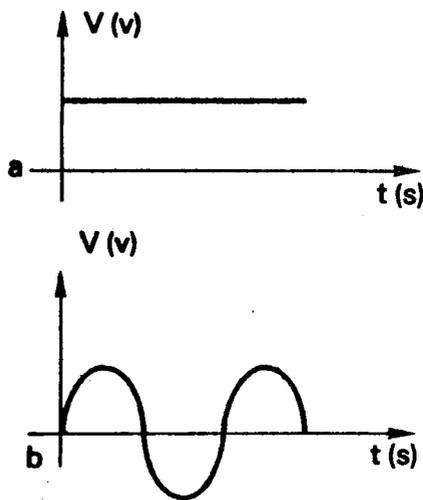


figura D3

responsável pela corrente elétrica nos condutores. Como você explicaria estas formas de correntes (contínua e alternada) dizendo o que ocorre com o campo elétrico? Faça gráficos para exemplificar.

R9 – Corrente contínua (CC) – o campo elétrico é **constante** em intensidade e **não varia** com o tempo, ocasionando assim um movimento dos elétrons sempre na mesma direção. O gráfico da tensão (V) versus o tempo (t) apresenta a forma mostrada na figura D3a.

Corrente alternada (AC) – o campo elétrico **não é constante** em intensidade e **varia** com o tempo, ocasionando assim uma força variável em sentido e módulo sobre os elétrons, fazendo-os oscilar de um lado para outro no fio condutor. O gráfico da tensão versus tempo apresenta a forma mostrada na figura D3b.

6. Bibliografia

- 1 – ALVARENGA, B. G. de & LUZ, A. M. R. da. **Física**. 2.ed. Belo Horizonte, B. Alvares, 1969. v. 3.
A seção 1 do capítulo 4 (pág. 77) apresenta o conceito de corrente elétrica de uma forma bastante compacta.
- 2 – RESNICK, R. & HALLIDAY, D. **Física**. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1965. v. 2.
O capítulo 31 discute corrente elétrica, resistência e resistividade. A seção 1 trata especificamente de corrente elétrica, densidade de corrente elétrica e velocidade de deslocamento.

7. Comentários sobre o texto

O material experimental que será utilizado neste capítulo é o seguinte:

- cinco pilhas
- suportes para cinco pilhas
- resistor de 68Ω (ou 47Ω)
- amperímetro

Introdução

1. Campo no fio condutor

Esse assunto é desenvolvido fazendo-se uma analogia com o movimento de elétrons na região entre duas placas planas carregadas, como foi estudado no capítulo 3.

2. Intensidade e sentido da corrente elétrica

É útil lembrar que os elétrons livres apresentam um movimento caótico mesmo se o condutor não estiver submetido à tensão elétrica. Quando se diz que o fio é percorrido por uma corrente elétrica significa que existe um movimento preferencial de elétrons em um sentido.

O sentido da corrente elétrica é considerado, como convenção, oposto ao sentido dos elétrons. Para evitar confusões futuras e não se desviar de assuntos mais importantes, **não** se deve criar uma polêmica em torno desse assunto.

3. Unidade de corrente elétrica

É apresentada a unidade de medida de corrente elétrica. O ampère será definido mais tarde no curso de **Eletromagnetismo do PEF** (capítulo 4, seção 9).

4. Medida de corrente elétrica

Antes de os alunos efetuarem qualquer medida, é importante que leiam no guia do multímetro (capítulo 9) como essas medidas devem ser feitas. Além disso, o professor deve descrever como ligar o amperímetro ao circuito e ressaltar a necessidade

de usar um resistor em série com o medidor para evitar que as medidas ultrapassem o fundo de escala.

Além dessas recomendações, o professor deve estar atento ao trabalho dos alunos para evitar danos ao multímetro por uso indevido, bem como para orientá-los.

Após o término dessa seção, a tabela I pode ser desenhada na lousa e solicitado o seu preenchimento com os dados obtidos pelos grupos. As diferenças entre esses resultados poderão levar à discussão das causas que os produziram: pilhas desigualmente gastas; contatos mal feitos; erros acidentais; leituras incorretas; etc.

Quanto à tabela II, o mesmo procedimento poderá ser seguido.

5. Corrente contínua e corrente alternada

O curso trata apenas de corrente contínua. Corrente alternada é um assunto mais complexo e acima do nível desse curso. No entanto, por ser muito comum falar em corrente alternada, já que é utilizada na distribuição da energia elétrica às cidades, esse assunto é apresentado da maneira mais simples possível, apenas para dar uma idéia geral.

6. Exercícios de aplicação

Os exercícios são simples. Algum conhecimento de Química poderá ser útil na resolução de alguns exercícios (E18, por exemplo).

8. Sugestões para discussão com os alunos

P1 — Descreva alguma situação em que se observa um comportamento semelhante ao dos elétrons livres em um fio condutor antes de ser ligado a uma pilha e após ser ligado.

R1 — Em um estádio de futebol, o movimento das pessoas durante o jogo é caótico; alguns andam numa direção, outros em outra; sobem e descem escadas. Esse comportamento desordenado das pessoas é análogo ao dos elétrons livres existentes em um fio condutor quando não está ligado a uma pilha.

No final do jogo, o movimento das pessoas torna-se menos desordenado pois todos se dirigem para o portão de saída. Se o estádio tiver apenas um portão, o movimento dessas pessoas pode ser comparado ao dos elétrons livres de um fio condutor quando ligado a uma pilha.

P2 — Aplica-se, entre um fio de cobre de comprimento 4×10^4 m e seção 3 mm^2 , uma tensão constante de 110V.

Com isto observa-se a passagem de 20C em cada 20 segundos. São dados:

$$\text{densidade do cobre} = 8,9 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{peso atômico do cobre} = 63$$

$$\text{número de Avogrado} = 6,023 \times 10^{23} \frac{\text{moléculas}}{\text{mol}}$$

- Calcule o número de elétrons livres no fio considerado, (suponha que cada átomo de cobre ceda um elétron).
- Compare o número de elétrons livres no condutor com o número de elétrons que percorrem o fio em 20 segundos.
- Determine o campo elétrico existente no interior do fio, suposto retilíneo. E se o fio estiver enrolado, qual o valor do campo?
- Determine a força que age sobre cada elétron livre.
- Suponha que os elétrons que entram no condutor, empurram

os elétrons livres. Calcule, então, onde se encontrarão os primeiros elétrons a entrar no condutor, depois de 20 segundos. Considere que os elétrons são distribuídos uniformemente ao longo do condutor.

- f) Avalie a velocidade média de deslocamento dos elétrons livres no condutor, nas condições dadas.

Comentário:

Muitos alunos pensam que a velocidade dos elétrons no interior de um fio condutor seja muito grande. Alguns afirmam até que seja igual à velocidade da luz, pois basta pressionar o interruptor para acender imediatamente a lâmpada.

Esse problema é útil para dar a ordem de grandeza dessa velocidade, que é de alguns centímetros por segundo.

Respostas:

- a) O número de elétrons livres no interior do fio de cobre pode ser calculado após determinarmos o número de átomos de cobre no fio condutor. Para isto, faremos inicialmente o cálculo de número de moles. Vamos partir da expressão da densidade (**d**) em função da massa (**m**) e do volume (**V**) do fio de cobre:

$$d = \frac{m}{V} \therefore m = V \cdot d$$

Escrevemos agora a massa do cobre em função do número de moles (**N**) e do peso atômico do cobre (63):

$$m = N63 = Vd \therefore N = \frac{Vd}{63}$$

A expressão acima nos dá o número de moles de cobre contidos no fio.

$$N = \frac{(4 \times 10^{-4} \text{ m}) (3 \times 10^{-6}) (8,9 \times 10^3)}{63}$$

$$N \cong 17$$

O número de elétrons será então:

$$\text{Número de elétrons} = (17 \times 6,023 \times 10^{23}) = 102,4 \times 10^{23} \cong 10^{25}$$

- b) O número de elétrons que percorrem o condutor (corrente) é:

$$n_e = q \times 6,28 \times 10^{18}$$

$$n_e = 20C \times 6,28 \times 10^{18}$$

$$n_e = 12,56 \times 10^{19} \text{ elétrons}$$

- c) $V = Ed$

d = comprimento do fio

$$E = \frac{V}{d} = \frac{110V}{4 \times 10^{-4} \text{ m}} = 27,5 \times 10^{-4} \frac{V}{d}$$

- d) $E = F/d$

Queremos a força que age sobre cada elétron livre

$$E = F/e$$

$$F = Ee = 27,5 \times 10^{-4} \frac{V}{m} \times 1,6 \times 10^{-19} C$$

$$F = 44 \times 10^{-23} N$$

- e) Como os elétrons estão distribuídos uniformemente ao longo do fio, vamos calcular quantos elétrons estão contidos em um metro do condutor;

$$\frac{\text{número de elétrons livres}}{\text{comprimento do fio}} = \frac{10^{25}}{4 \times 10^4} = 2,50 \times 10^{20} \frac{\text{elétrons}}{\text{metro}}$$

Depois de 20 segundos entraram $12,6 \times 10^{19}$ elétrons (devido à corrente) e ocuparam o seguinte comprimento no condutor:

$$\frac{12,6 \times 10^{19} \text{ elétrons}}{2,5 \times 10^{20} \text{ elétrons/metro}} \cong 5 \times 10^{-1} \text{ m} \cong 0,5 \text{ m}$$

Portanto, os primeiros elétrons a entrarem no condutor irão situar-se a 0,5 metro do ponto inicial.

- f) A velocidade média de deslocamento dos elétrons será

$$v_m = \frac{d}{t} = \frac{0,5 \text{ m}}{20 \text{ s}} = 25 \text{ mm/s}$$

- P3** – Um condutor metálico está sendo percorrido por uma corrente i . Em suas extremidades **A** e **B** os potenciais elétricos são $V_A = 200 \text{ V}$ e $V_B = 380 \text{ V}$.

Qual a carga que deve percorrer o condutor para que o trabalho realizado seja de 3600 joules?

Qual a corrente que realizou esse trabalho, se o tempo de escoamento da carga medido foi 1 minuto?

Qual o sentido de deslocamento dos elétrons?

Solução:

$$\text{a) } W = \frac{\tau}{q} = (V_B - V_A)$$

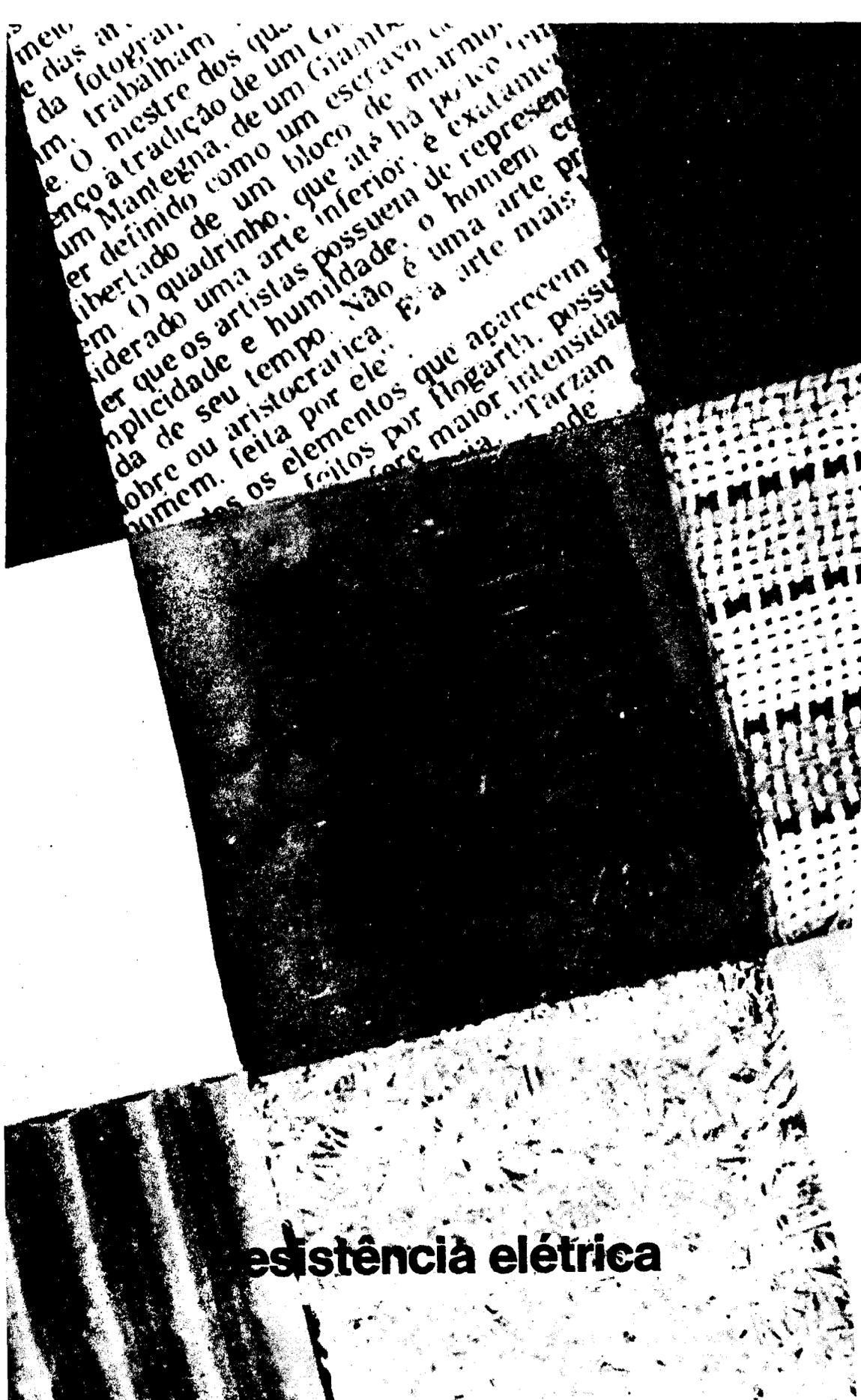
$$q = \tau / (V_B - V_A) = \frac{3600}{180 \text{ V}} = 20 \text{ C}$$

$$\text{b) } i = \frac{q}{t} = \frac{20 \text{ C}}{60 \text{ s}} = 0,33 \text{ A}$$

- c) Os elétrons se deslocam de **A** para **B**, no sentido do potencial menor para o potencial maior.

9. Sugestões para outras experiências

Não há sugestões nesse capítulo.



resistência elétrica

1. Conteúdo

Introdução – 5-1

1. Resistência elétrica – 5-2
2. Condutores ôhmicos e não-ôhmicos – 5-6
3. Unidade de resistência elétrica – 5-10
4. Medida da resistência elétrica – 5-10
5. Resistência interna dos medidores de corrente – 5-11
6. Resistores utilizados industrialmente – 5-13
7. Exercícios de aplicação – 5-14

Leitura suplementar:

Computadores – 5-19

2. Objetivos do capítulo

Ao final do capítulo, o aluno deverá ser capaz de:

- a) Classificar objetos como condutores ou isolantes, utilizando um circuito composto de pilhas e uma lâmpada ligadas em série e terminais onde é possível intercalar os diferentes objetos.
- b) Determinar a resistência elétrica de um objeto através da relação entre a tensão a que está submetido e a corrente elétrica que flui por ele.
- c) Identificar condutores ôhmicos e não-ôhmicos através da relação V/i , submetendo-os a diversas tensões e medindo as respectivas correntes.
- d) Dada a tensão e a corrente que percorre um resistor, calcular a resistência através da relação $R = V/i$.
- e) Medir a resistência elétrica de um dado objeto com um ohmímetro.
- f) Explicar porque os amperímetros devem ter resistência elétrica pequena.
- g) Determinar o valor da resistência elétrica de um resistor de carvão, utilizando o código de cores (a tabela de cores deve ser fornecida e não decorada).

3. Pré-requisitos

- Capítulos 1, 2, 3 e 4 de Eletricidade.
- Construção e interpretação de gráficos de funções lineares e não-lineares.
- Determinação do coeficiente angular de uma reta.

4. Número de aulas previstas

- a) Para o texto principal: 6
- b) Para os exercícios de aplicação: 2
- c) Para a avaliação: 2
- d) Para a leitura suplementar: 1

5. Sugestões para avaliação

Os exercícios abaixo servem como modelo para a organização de uma prova:

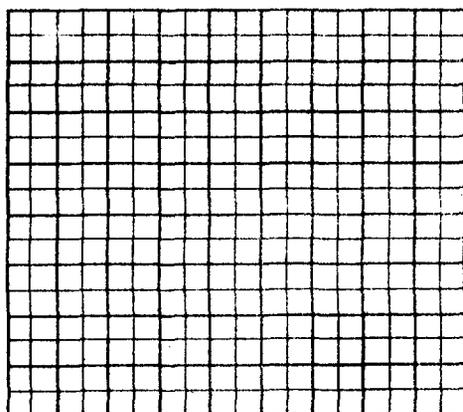
Objetivo a: P1

P1 – Quais dos objetos a seguir são isolantes e quais são condutores?

- | | |
|------------|---------------|
| a) madeira | e) ferro |
| b) vidro | f) porcelana |
| c) zinco | g) papel seco |
| d) carvão | h) latão |

figura E1

V (v)	5	10	15	20	25	30
i (mA)	90	130	220	300	350	410



- R1** — a) madeira: isolante
 b) vidro: isolante
 c) zinco: condutor
 d) carvão: isolante
 e) ferro: condutor
 f) porcelana: isolante
 g) papel seco: isolante
 h) latão: condutor

Objetivo **b**: E3 e P2

P2 — A tabela de tensões x correntes para um resistor R, obtida em laboratório está mostrada na figura E1.

- a) Construa o gráfico V x i na figura E1.
 b) Este gráfico passa pela origem? Por quê?
 c) Determine através do gráfico, pelo coeficiente angular da curva, o valor da resistência do resistor R.

R2 — b) Sim. Porque quando a tensão é nula (não há pilha ligada ao circuito), a corrente que percorre o circuito (resistor) também é nula.

c) O gráfico deve dar em curva cuja tangente tem aproximadamente o seguinte valor:

$$\text{tg } \alpha = \frac{AB}{CB} \cong 80\Omega. \text{ Convém lembrar que este resulta-}$$

do pode oscilar entre 75-85 ou seja $\pm 10\%$ do valor da resistência devido à construção do gráfico.

Objetivo **c**: E1, E4, E5, E6, E11 (item a), P3, P4, e P5.

P3 — O que significa afirmar que um resistor é ôhmico? O resistor da questão anterior (P₂) é ôhmico?

R3 — Um resistor é ôhmico quando a relação V/i é constante para qualquer valor de tensão e corrente e o gráfico V/i é uma reta.

P4 — Um resistor não-ôhmico obedece à lei de Ohm? Justifique sua resposta.

R4 — Não. Para cada ponto do gráfico pode ser calculada a relação V/i, mas esta relação NÃO é constante para todos os valores V/i e o gráfico não é uma reta.

P5 — Qual o tipo de curva característica (V x i) que se obtém para um resistor não-ôhmico? Desenhe esse tipo de curva na figura E2.

R5 — Veja a figura E3.

Objetivo **d**: E8, E9, E10, E11 (itens **b** e **c**), E13, E14, E15, E16 e P2 (item **c**)

Objetivo **f**: E7 e P6

P6 — Por que os amperímetros devem ter sua resistência interna muito pequena comparada com a resistência do circuito em que o mesmo está sendo utilizado?

R6 — Para não alterar muito o valor da corrente que se quer medir no circuito.

Objetivo **g**: E12 e P7

P7 — Determine o valor nominal dos resistores mostrados na figura E4, indicando a sua tolerância, com o auxílio do código de cores.

- R7** — a) $(36 \times 10^2 \pm 10\%) \Omega$
 b) $(89 \times 10^4 \pm 5\%) \Omega$
 c) $(51 \times 10^7 \pm 10\%) \Omega$

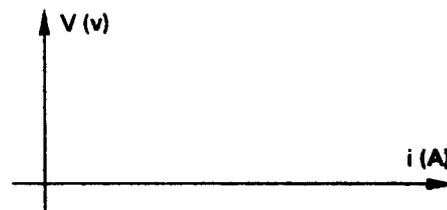


figura E2

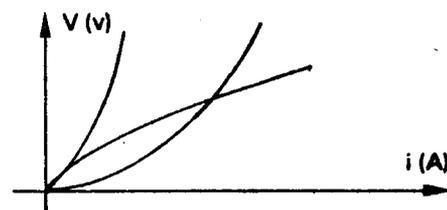


figura E3

figura E4

cor	alga-rismo
preta	0
marrom	1
vermelha	2
laranja	3
amarela	4
verde	5
azul	6
violeta	7
cinza	8
branca	9



6. Bibliografia

1 – ALONSO, M. & FINN, E. **Física**, um curso universitário. Trad. Giorgio Moscati. São Paulo, E. Blucher, 1972. v.2.

O capítulo 16, seção 16-10 (pág. 149), sob o título "Condutividade elétrica — Lei de Ohm", trata de conceitos desde condutividade elétrica até potência elétrica (assunto tratado no cap. 8 — PEF — Eletricidade). A apresentação é baseada no movimento de elétrons livres nos condutores.

2 – ALVARENGA, B. G. de & LUZ, A.M.R. da. **Física**. 2.ed. Belo Horizonte, B. Alvares, 1969, v. 3.

Apresenta os conceitos de resistência, resistores ôhmicos e não-ôhmicos e a Lei de Ohm (cap. 5 — págs. 82 — 85), chegando até a variação da resistência com a temperatura (assunto do capítulo 7 do PEF — Eletricidade). O texto é simples e resumido, dando uma idéia geral dos conceitos.

3 – PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE. **Física**. 6. ed. São Paulo, EDART, 1970, v. 4.

Na página 89, 1ª coluna, último parágrafo, é tratado o tema "elétrons em metais". O texto descreve as colisões entre elétrons e átomos, relacionando-as com a resistência elétrica. A variação de resistência com a temperatura é tratada de forma simplificada.

4 – RESNICK, R. & HALLIDAY, D. **Física**. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1965, v. 2.

No capítulo 31, seção 3 (pág. 865) há uma discussão da lei de Ohm, diferenciando condutores ôhmicos e não-ôhmicos.

7. Comentários sobre o texto

O material experimental que será utilizado neste capítulo é o seguinte:

- palito de fósforo ou de madeira
- lápis comum apontado nos dois lados (mais ou menos 10cm de grafita)
- resistor de 68Ω
- fio comum de ligação ou arame
- lâmpada de 6,0V/50mA
- soquete para lâmpada
- amperímetro
- cinco pilhas de 1,5V
- cinco suportes para pilhas
- resistor de fio de cobre nº 37 (13m de fio com aprox. 25Ω)
- ohmímetro

Introdução

1. Resistência elétrica

A idéia de resistência elétrica é inicialmente abordada de maneira essencialmente qualitativa sendo que o brilho da lâmpada inserida no circuito (figura 1 do texto) funciona como uma espécie de amperímetro.

Será útil o professor desenhar a tabela 1 na lousa, enquanto os alunos vão trabalhando, e solicitar o seu preenchimento a um dos grupos de alunos. Esses dados podem ser usados como o centro de uma discussão. É interessante colocar mais uma coluna na tabela para a relação V/i , que será mencionada após a análise dos resultados colocados na lousa. O cálculo de $\frac{V}{i}$ para cada objeto, todos submetidos à mesma tensão, propiciará uma comparação com o maior ou menor brilho da lâmpada e os respectivos valores da corrente.

Nas experiências dessa seção poderá ser utilizada uma lâmpada de 6V/50mA, em lugar da de 2,2V, como sugere o texto. A grafita, obtida através de um lápis de 10cm de comprimen-

to apontado em ambas as extremidades, deve fazer bom contato com os outros componentes do circuito; muitas vezes, os alunos fazem contato com a madeira que envolve a grafita e o resultado não é o esperado.

Quando é feita a substituição da lâmpada pelo amperímetro, deve ser observado se o fundo de escala é conveniente para a medida de corrente. Se o amperímetro utilizado não possuir fundo de escala de 1,5A é aconselhável não utilizar o amperímetro e analisar os resultados apenas qualitativamente.

2. Condutores ôhmicos e não-ôhmicos

Esta parte, em especial, envolve bastante a utilização de gráficos. Uma breve recapitulação sobre gráficos de funções lineares e não-lineares e determinação de coeficiente angular pode ser conveniente, antes de os alunos iniciarem essa seção.

Se os alunos sentirem dificuldades, quando da construção dos gráficos, relacionadas com os pontos experimentais, porque esperam que estejam perfeitamente alinhados, não aceitando flutuações em torno de uma reta, o professor deve salientar que os erros experimentais provocam flutuações e mostrar como passar a reta que melhor representa os dados obtidos. A Q15, assim como a Q16 e a Q17, poderão ser bons temas para discussão, mostrando a utilidade de gráficos na análise das experiências feitas.

3. Unidade de resistência elétrica

4. Medida da resistência elétrica

5. Resistência interna dos medidores de corrente

Os alunos só devem efetuar as medidas de resistência com o multímetro após o domínio de seu manuseio e conhecimento das instruções de como utilizá-lo (ver capítulo 9: **Guia do multímetro**).

Duas normas devem ser sempre obedecidas:

- a) **zerar o aparelho antes de efetuar a medida;**
- b) **nunca medir a resistência de um resistor ligado a uma fonte de tensão (pilhas, por exemplo).**

6. Resistores utilizados industrialmente

O código de cores para representação do valor da resistência de um resistor e sua precisão não deve ser, necessariamente, decorado pelos alunos. Assim como é feito no exercício E12, o código deve ser fornecido ao aluno, para a leitura da resistência. As questões Q23 e Q24 podem ser resolvidas no quadro-negro como ilustração da utilização do código.

7. Exercícios de aplicação

Os exercícios são simples. O código de cores deve ser sempre fornecido e não se deve exigir que o aluno o decore.

- E3** — Em qualquer gráfico $V \times i$ para condutores comuns, a reta obtida no gráfico passa pela origem? Justifique. E no caso da lâmpada?

Comentário:

Muitos alunos não percebem que o fato de o gráfico $V \times i$ iniciar no ponto (zero; zero) é devido à corrente do circuito ser nula quando não há diferença de potencial (tensão) aplicada ao circuito. Portanto, deve ser lembrado ao aluno que o ponto (zero; zero) é sempre conhecido, desde que o circuito em estudo esteja desligado.

8. Sugestões para discussão com os alunos

Exercício prático:

Dado um resistor com o código de cores apagado ou coberto por esparadrapo, 4 pilhas, de 1,5V, amperímetro, voltímetro e papel milimetrado, determine o melhor valor da resistência do resistor.

Comentários:

O melhor valor da resistência é obtido através do coeficiente angular da curva característica $V \times i$ do resistor.

Caso o professor não queira utilizá-lo como exercício prático, poderá pedir aos alunos que escrevam como solucionar o problema e, a seguir, discutir as soluções com os alunos.

9. Sugestões para outras experiências

Construção de um ohmímetro

Construa um ohmímetro utilizando uma pilha, um amperímetro de fundo de escala 600mA e fios de ligação. Para isso, monte o circuito esquematizado na figura E5, que é igual ao utilizado na seção 5-1. Entre os pontos **a** e **b** serão colocados objetos cuja resistência se deseja medir.

Meça o valor da corrente do circuito (ligando os terminais **a** e **b**) e calcule a resistência R_0 do circuito e faça um gráfico de calibração em papel milimetrado $\{(V/i - R_0) \times i\}$.

Cada grupo de alunos deve medir o valor da resistência de um resistor de aproximadamente 10Ω e colocar o valor obtido em uma tabela do tipo mostrado na figura E6.

Comentários:

Os resultados colocados na tabela permitirão uma comparação com o valor indicado e com os valores obtidos pelos outros grupos e servirão para uma discussão sobre a imprecisão do valor indicado do resistor, bem como a erros cometidos pelos alunos como, por exemplo, não subtrair o valor da resistência do circuito, etc.

A tabela mostrada na figura E7 apresenta alguns resultados típicos quando são utilizados uma pilha de 1,5V e um amperímetro com fundo de escala 600mA. Nesse caso, a resistência interna do circuito era de $3,0\Omega$, valor que deve ser subtraído para a determinação correta da resistência. Por isso, para fazer a curva de calibração do ohmímetro (figura E8), foi construída antes a tabela da figura

É interessante discutir com os alunos que o ohmímetro montado dessa maneira (pilha de 1,5V, amperímetro de 600mA e resistência interna de $3,0\Omega$) permite medir resistências com precisão razoável apenas na faixa entre 0 e 50Ω pois, para valores acima de 50Ω , a uma variação da corrente de 10mA (uma divisão) corresponde uma variação muito grande no valor da resistência, tornando difícil fazer uma estimativa razoável de seu valor.

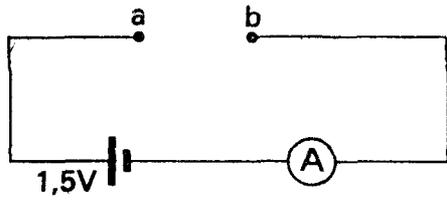


figura E5

grupo	valor obtido R (Ω)	valor indicado
1		
2		
⋮		
n		

figura E6

figura E7

a) valores teóricos	
i (mA)	R (Ω) [V/i]
600	2,5
550	2,7
500	3,0
450	3,3
400	3,8
350	4,3
300	5,0
⋮	⋮
100	15,0
50	30,0
40	37,5
30	50,0
20	75,0
10	150,0
0	∞

b) valores típicos	
i (mA)	(R-R ₀) Ω *
600	
550	
500	0,0
450	0,3
400	0,8
350	1,3
300	2,0
⋮	⋮
100	12,0
50	27,0
40	34,5
30	47,0
20	72,0
10	147,0
0	∞

*R₀ = 3,0 Ω

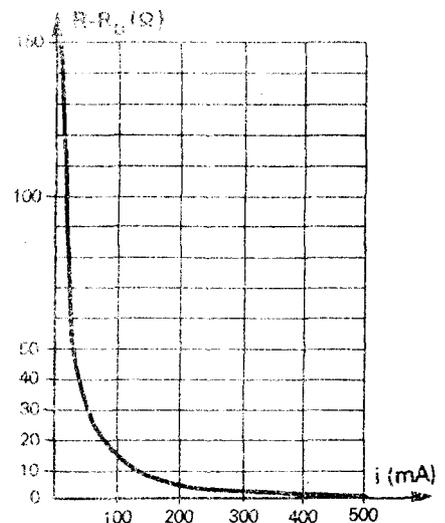


figura E8



Resistência e resistividade

1. Conteúdo

Introdução – 6-1

1. Variação da resistência com o diâmetro do fio – 6-2
2. Variação da resistência com o comprimento do fio – 6-4
3. Medidas com fios de cobre – 6-6
4. Resistividade – 6-8
5. Resistividade e estrutura da matéria – 6-12
6. Exercícios de aplicação – 6-14

2. Objetivos do capítulo

Ao final do capítulo o aluno deverá ser capaz de:

- a) Descrever um problema cotidiano ou uma experiência em Física cuja solução utiliza o método de analisar separadamente cada fator que influi no fenômeno.
- b) Descrever qualitativamente a influência das dimensões (diâmetro e comprimento) de um fio metálico na sua resistência elétrica.
- c) Estabelecer uma relação matemática entre a resistência elétrica de um fio, seu comprimento e a área de sua seção reta.
- d) Dados fios com diferentes dimensões feitos do mesmo material, determinar a relação entre suas resistências.
- e) Definir resistividade e explicar sua relação com a resistência, o comprimento e a área da seção reta de um fio.
- f) Dados fios de diferentes materiais e mesmas dimensões, determinar a razão entre os valores de suas resistências elétricas conhecidas as resistividades.
- g) Calcular a resistência elétrica de um fio, conhecidas sua resistividade e suas dimensões.
- h) Classificar materiais como condutores melhores ou piores, dada a resistividade.
- i) Descrever processos capazes de diminuir ou aumentar a resistividade elétrica de um metal.
- j) Descrever a relação entre a estrutura atômica de um material e sua resistividade.

3. Pré-requisitos

– Capítulos 1, 2, 3, 4 e 5 de Eletricidade.

4. Número de aulas previstas

- a) Para o texto principal: 6
- b) Para os exercícios de aplicação: 3
- c) Para a avaliação: 2

5. Sugestões para avaliação

Objetivo a: E13

Objetivo b: E1, E2, E3, E4 e P1.

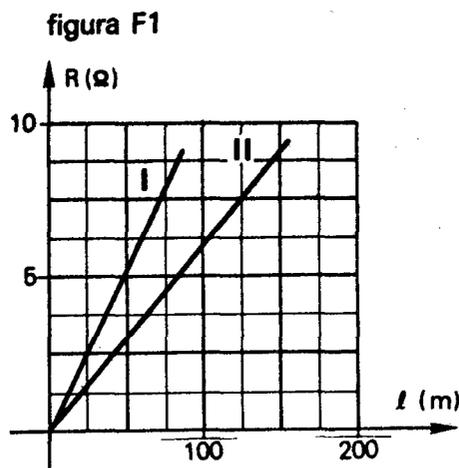
P1 – O que está errado na afirmação abaixo?

“A resistência de um condutor é diretamente proporcional ao seu comprimento e à área de sua seção”.

R1 – Está errado afirmar que a resistência é **diretamente** proporcional à área da seção do condutor.

Objetivo c: E2 e P2.

P2 – Qual é a expressão matemática que relaciona a resistência elétrica de um condutor com seu comprimento e a área de sua seção?



$$R2 \quad R \propto \frac{\ell}{A} \text{ ou } R \propto \rho \frac{\ell}{A}$$

Objetivo d: E14

Objetivo e: E1, E8, E9 e P3

P3 – Como você explicaria o que é resistividade para uma pessoa que entende pouco de eletricidade?

Objetivo f: E14 e P4

P4 – O gráfico $R \times \ell$ da figura F1 foi construído para fios de mesmo diâmetro ($d = 0,32\text{mm}$, $A = 0,08\text{mm}^2$), porém de materiais diferentes. A partir do gráfico determine a resistividade dos materiais I e II.

$$R4 \quad \rho = \frac{RA}{\ell}; R \text{ e } \ell \rightarrow \text{do gráfico}$$

$$\rho_1 = \frac{R_1 A}{\ell_1}; R_1 = 6,00\Omega, \ell_1 = 100\text{m} \rightarrow \rho_1 = 4,8 \times 10^{-9} \Omega\text{m}$$

$$\rho_2 = \frac{R_2 A}{\ell_2}; R_2 = 9,00\Omega, \ell_2 = 100\text{m} \rightarrow \rho_2 = 7,2 \times 10^{-9} \Omega\text{m}$$

Objetivo g: E10, E11, E12, E14, E15, E16, E17, E18, E19, E20, E21, E22, E23, e P5.

P5 – Determine a resistividade de um condutor metálico de comprimento 10^3m e seção $2,8\text{mm}^2$, a partir da tabela de medidas de tensão e corrente mostrada na figura F2.

$$R5 \quad R = \text{tg } \alpha = \frac{AB}{BC} = \frac{10\text{V}}{0,6\text{A}} = 20\Omega \quad (\pm 10\% \text{ devido ao gráfico - figura F3}).$$

Objetivo h: E5, E6, E7 e P6

P6 – A tabela mostrada na figura F4 fornece a resistividade de diversos materiais. Qual deles é o melhor condutor? Qual é o pior?

R6 – Melhor condutor: cromo; pior condutor: mercúrio.

Objetivo i: P7

P7 – Como a irradiação com partículas (por exemplo, prótons) pode modificar a resistividade de um material?

R7 – As partículas incidentes quando colidem com os átomos do cristal deslocam alguns desses átomos de sua posição regular, produzindo irregularidades e modificando a resistividade do material.

Objetivo j: P8

P8 – Se existisse um **condutor ideal**, qual seria sua resistividade? Justifique sua resposta em função da estrutura atômica do condutor.

R8 – Sua resistividade seria nula. O fato de a resistividade desse condutor ideal ser nula pode ser interpretado como decorrente da distribuição dos átomos no "cristal" ser muito regular e não perturbar o movimento dos elétrons.

6

V (v)	20	25	30	35	40
i (A)	0,9	1,3	1,5	1,7	2,0

figura F2

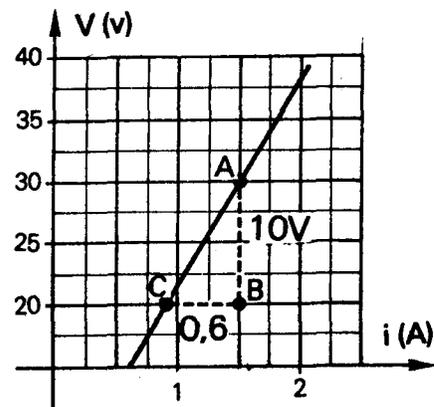


figura F3

a	mercúrio	$0,98 \times 10^{-6} \Omega\text{m}$
b	cromo	$0,027 \times 10^{-6} \Omega\text{m}$
c	tântalo	$0,115 \times 10^{-6} \Omega\text{m}$
d	molibdênio	$0,057 \times 10^{-6} \Omega\text{m}$

figura F4

6. Bibliografia

A bibliografia para este capítulo é a mesma apresentada para o capítulo 5, ou seja:

- 1 – ALONSO, M. & FINN, E. **Física**; um curso universitário. Trad. Giorgio Moscati. São Paulo, E. Blucher, 1972. v.2, cap. 16, seção 10.
- 2 – ALVARENGA, B. G. de & LUZ, A. M. R. da. **Física**. 2. ed. Belo Horizonte, B. Alvares, 1969. v. 3, cap. 5.
- 3 – PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE. **Física**. 6. ed. São Paulo, EDART, 1970. v. 4, cap. 29.
- 4 – RESNICK, R & HALLIDAY, D. **Física**. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1965. v. 2, cap. 31.

7. Comentários sobre o texto

Este capítulo leva os alunos à descoberta da relação matemática entre resistência elétrica de um fio metálico e suas dimensões. Em grande parte do capítulo (seções 1 a 4), o aluno faz medidas e trabalha com resultados experimentais, com ênfase no método de análise da situação experimental. Na parte final, estuda a resistividade teoricamente, do ponto de vista microscópico.

Antes de iniciar o capítulo é conveniente o professor verificar se os alunos sabem utilizar o multímetro para medir resistência. No final do capítulo 9 existe um manual do multímetro que pode ser utilizado. Além disso, o professor pode dar uma explicação rápida sobre o aparelho.

Na seção 3 são feitas medidas com fios de cobre. Caso não disponha desses fios, o professor poderá fornecer os resultados das medidas de resistência, apresentados no comentário da seção 3.

Por outro lado, nas seções 1 e 2, o fio utilizado é de Ni-Cr, por ser mais simples de operar; mas poderão ser utilizados fios de cobre de nº 31, 33, 35, 36 e 37. Embora apresentando alguns inconvenientes — resistividade muito menor, exigindo fios de comprimentos bem maiores para se conseguir boas medidas de resistência, problemas de contato quando da remoção incompleta da capa esmaltada isolante, etc. — é essencial que os alunos façam essas medidas, caso não disponham dos fios de Ni-Cr.

O material experimental que será utilizado neste capítulo é o seguinte:

- 15cm de fio Ni-Cr nº 40
- 15cm de fio Ni-Cr nº 38
- 15cm de fio Ni-Cr nº 36
- 15cm de fio Ni-Cr nº 34
- 1cm de fio Ni-Cr nº 32
- uma régua
- 18m de fio de cobre nº 37
- 6m de fio de cobre nº 37
- 6m de fio de cobre nº 4
- ohmímetro (multímetro)

Introdução

Na introdução são colocadas as idéias gerais do capítulo.

A estória em quadrinhos ilustra bem o método utilizado nas experiências.

É muito útil uma discussão tendo como tema a Q1.

1. Variação da resistência com o diâmetro do fio

Poderão surgir dificuldades na construção dos gráficos quanto à colocação dos valores. Para evitá-las, o professor deve explicar no quadro-negro a colocação dos primeiros pontos.

A discussão inicial poderá ter como tema as questões Q5 e Q6 que levam ao fato da resistência não ser diretamente proporcional ao diâmetro do fio, mas ao inverso do quadrado do diâmetro,

uma vez que o gráfico $R \times \frac{1}{D^2}$ é linear. Para isso, será interessante o professor colocar a tabela 2 na lousa e iniciar o debate após um dos alunos tê-la preenchido com seus resultados. A seguir, com esses valores, o professor poderá fazer os gráficos de

$R \times D$ e $R \times \frac{1}{D^2}$. Após a discussão das conclusões obtidas a partir dos gráficos, será útil discutir também sobre os erros experimentais envolvidos.

No final da seção, será conveniente uma rápida discussão da relação $R \propto \frac{1}{A}$. Alguns alunos poderão ter alguma dificuldade na resposta à Q7. A releitura do texto anterior à questão deve resolver a dificuldade.

Por outro lado, a Q8 poderá ser aproveitada para uma rápida recapitulação da relação $V/i = R$, desenvolvida no capítulo anterior.

2. Variação da resistência com o comprimento do fio

A Q10 poderá dar início à primeira discussão desta seção, reportando-se à discussão inicial sobre o método de análise da situação experimental proposta nesse capítulo. Novamente sugerimos ao professor colocar a tabela 3 na lousa e ter o mesmo procedimento apresentado na seção anterior. A Q14 pode ser o tema para encerrar essa primeira parte.

Após a introdução da relação $R = K \times \frac{l}{A}$, na discussão final dessa seção, deve ser discutido o significado dessa constante de proporcionalidade. É interessante também a resolução da Q16 na lousa e, finalmente, ressaltar a questão formulada no penúltimo parágrafo.

Para a realização dessa experiência é suficiente usar 15cm do fio de Ni-Cr nº 38 ou do nº 40. Como são sugeridas 5 medidas no mínimo, os alunos poderão marcar com lápis em cima da placa que contém os fios, distâncias de 3 em 3cm e fazer as medidas de resistência para esses valores de comprimento.

3. Medidas com fios de cobre

Serão suficientes com apenas dois fios. Eventualmente, se houver tempo, podem ser realizadas mais medidas e construídos gráficos. Os valores das resistências para os vários fios de cobre estão na figura F5. Esses valores só devem ser fornecidos aos alunos caso não haja condições de medirem, no mínimo, dois fios diferentes.

Na discussão final deve ser tratado novamente o significado da constante K, uma vez que para o cobre e os outros metais também é válida a relação $R = K \times \frac{l}{A}$. A seguinte questão

fios de cobre c/6m de compr.					
n.º do fio	31	33	35	36	37
Diâmetro (mm)	0,23	0,18	0,14	0,13	0,11
R (Ω)	2,5	4,5	7,0	8,5	11,5

figura F5

fios de cobre nº 37 (d = 0,11mm)					
comprimento (m)	2	3	4	5	6
R (Ω)	3,5	5,5	7,0	9,0	11,0

figura F6

pode ser discutida: dois fios, um de Ni-Cr e outro de Cu de mesmo comprimento e mesma área de seção, têm a mesma resistência?

Para as medidas da resistência em função da variação do comprimento do fio, podem ser utilizados os carretéis que contêm 6m e 20m de fio de cobre utilizados no capítulo 5 para medidas de tensão e corrente.

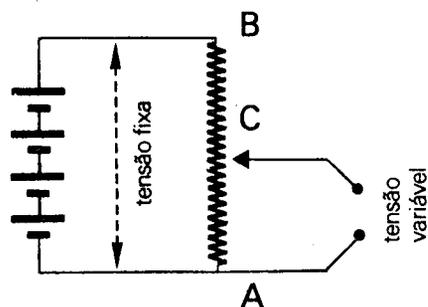


figura F7

4. Resistividade

O professor pode começar pedindo a um ou dois alunos para escrever no quadro os valores encontrados de ρ para os fios de Ni-Cr de dimensões diferentes e fazendo a seguir uma rápida discussão da Q21, considerando os erros experimentais envolvidos e lembrando que se admite que as ligas de Ni-Cr são idênticas.

Novamente, para o caso de fios de cobre, um aluno poderá escrever os valores de ρ . A Q22 poderá ser tema de discussão, fixando a idéia de que o valor de ρ é característico para cada material e de que um material com menor resistividade é melhor condutor.

Será útil resolver na lousa as questões Q29 e Q30 e ressaltar que os valores diferentes das resistividades dos vários materiais estão relacionados com suas estruturas atômicas.

5. Resistividade e estrutura da matéria

Uma sugestão para debate nessa seção é o professor ler cada uma das questões e solicitar a resposta de um ou outro aluno, complementando-o a seguir.

No final será útil fazer um resumo do texto que se segue à Q34.

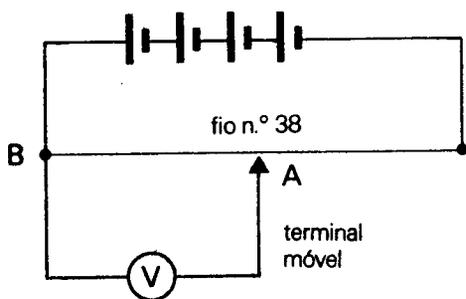


figura F8

6. Exercícios de aplicação

Não há comentários.

8. Sugestões para discussão com os alunos

Problema:

Uma bobina de fio de prata cuja resistividade ρ é $1,6 \times 10^{-8} \Omega m$ e diâmetro 0,08mm possui uma resistência de 200Ω . Como você poderia determinar o comprimento do fio?

Comentário:

Esse exercício é imediato, bastando aplicar a expressão

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

Exercício prático:

O problema acima pode se tornar mais interessante para discussão se for colocado de forma experimental, da seguinte maneira:

Determine o comprimento do fio de cobre enrolado na bobina que você recebeu, utilizando o seguinte material: 5 pilhas, amperímetro, voltímetro e papel milimetrado. A resistividade

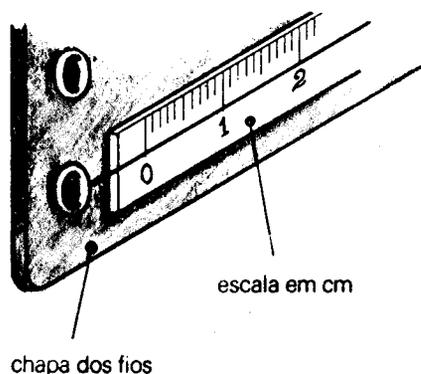


figura F9

do fio de cobre é $1,7 \times 10^{-8} \Omega \text{m}$ e seu diâmetro é . . . (deve ser medido e fornecido pelo professor).

Comentário:

Os fios escolhidos para esse exercício prático devem ser finos ($\sim 0,2\text{mm}$ de diâmetro) e de resistividade alta (Ni-Cr, manganina, constantana, etc.).

É conveniente, antes de apresentar o exercício aos alunos, efetuar as medidas, pois certos materiais apresentam erros de 40% até 60%.

O diâmetro do fio deve ser fornecido aos alunos. Caso o professor não tenha micrômetro, poderá determinar previamente

o diâmetro do fio através da relação $R = \rho \frac{l}{A}$, já que conhece o comprimento do fio.

A determinação da resistência do fio pelos alunos deve ser feita através do gráfico $V \times i$, por ser mais precisa.



Exercício prático:

O fio condutor que você recebeu tem diâmetro de . . . (dado fornecido pelo professor). Identifique o material de que é feito o fio, utilizando o seguinte material: 5 pilhas, amperímetro, voltímetro, régua, papel milimetrado, tabela de resistividade de diversos materiais.

Comentário:

Esse exercício é apenas uma variação do anterior. A tabela de resistividades de materiais encontra-se no texto desse capítulo.

O trabalho do aluno será a construção de um gráfico $V \times i$ para obter o valor da resistência do condutor. O diâmetro do condutor é fornecido e seu comprimento é obtido com a régua. Com esses dados, ele determinará o valor da resistividade e verificará, através da tabela, o material correspondente.

Como no exercício anterior, os fios devem ser finos (diâmetro máximo de $0,2\text{mm}$) e de resistividade alta, de modo a obter uma resistência de 20Ω , no mínimo, com um metro de comprimento.

figura F10

V (v)	l (cm)
0	0
0,5	1
0,7	2
1,5	3
1,6	4
2,0	5
2,3	6
2,6	7
3,1	8
3,7	9
4,1	10
4,4	11
4,8	12
5,1	13
5,5	14
5,8	15

9. Sugestões para outras experiências

Construção de um divisor de tensão

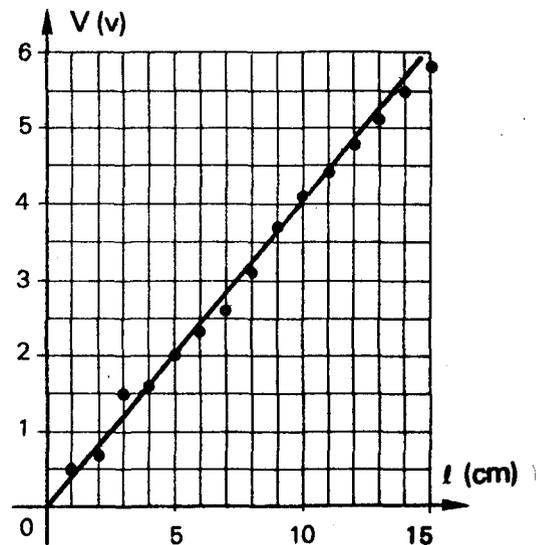
As pilhas utilizadas nas experiências do curso fornecem apenas tensões múltiplas de $1,5\text{V}$. Para se obter valores intermediários é necessário uma fonte de tensão variável ou um divisor de tensão.

O divisor de tensão consiste de uma fonte fixa de tensão (uma ou mais pilhas) conectada a um fio condutor de resistência alta, com acesso possível às suas extremidades e a qualquer posição intermediária, como mostra a figura F7.

Para a construção de um divisor de tensão é necessário o seguinte material:

- voltímetro
- placa do conjunto experimental com fios de Ni-Cr
- papel milimetrado
- pilhas (o número depende da tensão máxima desejada).

figura F11



Procedimentos:

Monte o circuito mostrado na figura F8. No caso, usam-se 4 pilhas, pois se quer tensões de 0 a 6,0V, e o fio de Ni-Cr nº 38. Observe que a fonte é ligada diretamente ao fio de Ni-Cr e que apenas um dos terminais (B) do voltímetro é fixo, enquanto que o outro (A) é móvel.

Deslocando-se o terminal móvel ao longo do fio, pode-se medir a tensão de saída entre A e B, que é variável, pois a resistência do fio depende de seu comprimento.

Construa a curva de calibração do divisor de tensão. Para isso, coloque ou desenhe inicialmente uma escala graduada em centímetros sob o fio de Ni-Cr (figura F9). Em seguida, construa uma tabela da tensão lida no voltímetro em função do comprimento AB do fio. Finalmente, construa em papel milimetrado o gráfico $R \times \ell$.

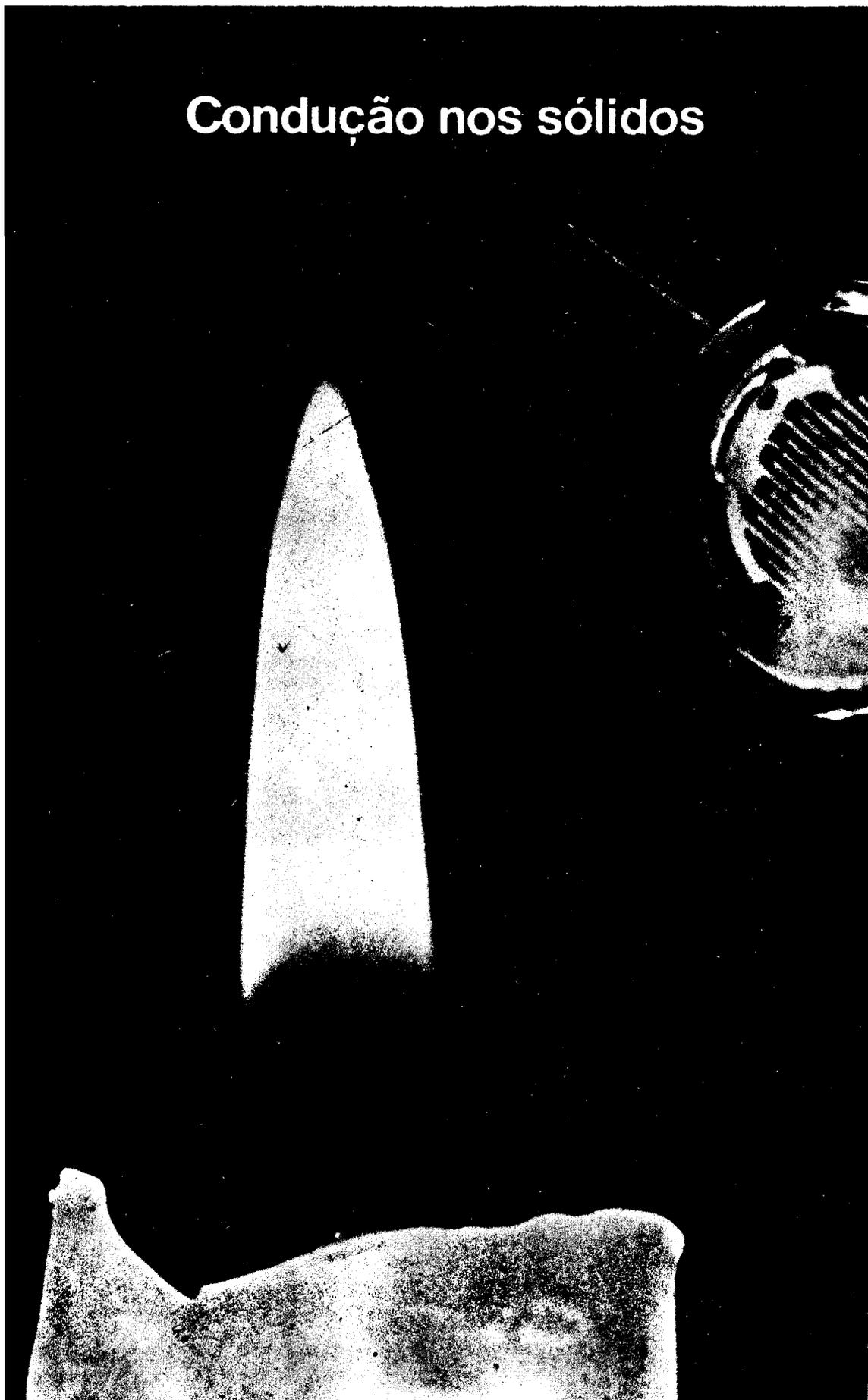
Nas figuras F10 e F11 estão mostrados uma tabela e o respectivo gráfico $V \times \ell$ para um divisor de tensão de 4 pilhas (6V) e um fio de Ni-Cr nº 38.

Observação:

A potência dissipada pelo divisor de tensão é muito grande quando são utilizadas mais de 3 pilhas. Nesse caso, sugere-se fios com comprimentos maiores que 50cm.

Condução nos sólidos

7



1. Conteúdo

Introdução – 7-1

1. Temperatura e resistência elétrica – 7-2
2. Resistor NTC – 7-3
3. Resistência e temperatura: análise microscópica – 7-4
4. Resistência em função da temperatura – 7-6
5. Coeficiente de temperatura – 7-10
6. Resistência e polaridade – 7-12
7. Resistência e iluminação – 7-14
8. Exercícios de aplicação – 7-16

Leitura suplementar:

Resistor NTC – 7-21

2. Objetivos do capítulo

Ao final do capítulo, o aluno deverá ser capaz de:

- a) Descrever e realizar experiências que verifiquem a influência da temperatura, da polaridade, da corrente e da iluminação na resistência elétrica de condutores e semicondutores.
- b) Descrever macroscopicamente e microscopicamente os efeitos da variação de temperatura num resistor metálico e num resistor NTC.
- c) Identificar elementos condutores e semicondutores submetendo-os a diversas temperaturas, medindo as respectivas resistências elétricas e lançando os resultados em gráficos.
- d) Dada a expressão do coeficiente de temperatura e a resistência inicial, calcular o valor da resistência em qualquer temperatura de um condutor.
- e) Descrever o efeito da mudança da polaridade na resistência elétrica de um elemento semiconductor (díodo).
- f) Descrever o efeito da iluminação na resistência de um elemento semiconductor (resistor LDR).

3. Pré-requisitos

Capítulos 1, 2, 3, 4, 5 e 6 de Eletricidade.

4. Número de aulas previstas

- a) Para o texto principal: 6
- b) Para os exercícios de aplicação: 2
- c) Para a avaliação: 1
- d) Para a leitura suplementar: 1

5. Sugestões para avaliação

Os exercícios seguintes podem servir como modelo para a organização de uma prova:

Objetivo **b**: E1, E2, E3, E4, E5, E7, E8, E9, E10, E12, E17 e E18

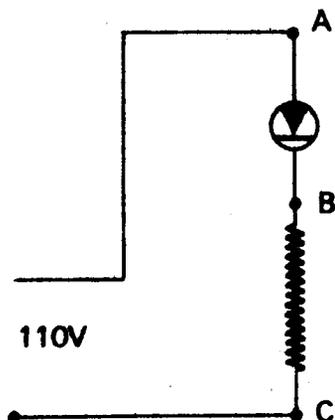
Objetivo **c**: E19

Objetivo **d**: E11

Objetivo **e**: E6, E13, E14, E15, E16 e P1

P1 – Os retificadores são utilizados para converter corrente alternada em corrente contínua. A figura G1 mostra o esquema de um retificador. Explique qual a função do

figura G1



díodo no retificador.

- R1** — O díodo só permite passagem de corrente elétrica em um sentido. Desse modo, a corrente alternada que oscila (os elétrons livres é que oscilam) ora em um sentido, ora em outro, só tem passagem pelo díodo quando o sentido da corrente coincidir com o sentido livre do díodo. Como resultado, a corrente que flui no resistor **R** é sempre no mesmo sentido.

Objetivo **f**: P2

- P2** — Os metais, em geral, obedecem à Lei de Ohm, ou seja, a relação V/i é constante. Por que uma lâmpada incandescente, cujo filamento é metálico, não obedece à lei de ohm?
- R2** — Os metais obedecem à lei de Ohm quando sua temperatura é constante. Na lâmpada, no entanto, a corrente elétrica causa aquecimento do fio e sua temperatura varia.

6. Bibliografia

- 1 — PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE. **Física**. 6. ed. São Paulo, EDART, 1970. v. 4.
Da página 87 a 90, sob o título "A corrente em função da diferença de potencial", é apresentado um resumo sobre os diversos tipos e formas de condução de corrente elétrica.
- 2 — RESNICK, R. & HALLIDAY, D. **Física**. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1965. v. 2.
Na página 860, seção 31-2, é feita uma discussão geral sobre resistência, resistividade e condutividade e uma breve análise da variação da resistência com a temperatura.

7. Comentários sobre o texto

O material experimental que será utilizado neste capítulo é o seguinte:

- resistor de fio de cobre nº 37 (18m de fio com aproximadamente 30 ohms)
- resistor NTC de 50 ohms
- lâmpada de 6V/50mA
- soquete para lâmpada
- 4 pilhas
- 4 porta-pilhas
- fios de ligação
- recipiente para água (250ml)
- sistema para aquecimento de água
- termômetro
- díodo BY-127 (ou equivalente, BY-126)
- LDR
- ohmímetro

A parte experimental desse capítulo é interessante e nova para os alunos.

Aconselhamos os professores a realizarem-na com antecedência, a fim de verificar quais os possíveis problemas. É conveniente verificar se o material para as experiências está completo, pois esse capítulo é inteiramente baseado nelas.

O contato entre os componentes elétricos utilizados é o ponto crítico dessas experiências. Às vezes, os terminais estão

oxidados e não fazem bom contato; nesse caso, aconselha-se lixá-los e fazer um teste com o multímetro.

Para a experiência qualitativa de variação da resistência com a temperatura em um resistor de fio de cobre e um resistor NTC, o circuito utilizado deve ser composto do resistor em questão, uma lâmpada de 6V/50mA e **uma pilha**. Não é necessário usar 4 pilhas como indica o texto, pois a variação da intensidade luminosa da lâmpada será pouco perceptível.

Introdução

1. Temperatura e resistência elétrica

2. Resistor NTC

Para a experiência de variação da resistência com a temperatura será necessário um recipiente (béquer, pirex, etc.) de capacidade 300ml, mais ou menos, para aquecer água até mais ou menos 100°C, além de um termômetro de 0°C a 100°C, **que não é fornecido no conjunto experimental**.

Para aquecer a água poderá ser utilizado um aquecedor elétrico ou um bico de gás. **Em qualquer caso, deve-se tomar bastante cuidado para evitar acidentes. Fogareiros a álcool não devem ser utilizados em hipótese alguma por serem extremamente perigosos.**

Para manter a temperatura da água homogênea, ela deverá ser continuamente agitada.

No final do capítulo há um texto suplementar sobre resistores NTC; sua leitura poderá ser interessante após o término da seção 2.

A discussão de por que a resistência dos metais aumenta com a temperatura, enquanto para o NTC diminui, ao final da seção 2, pode ser utilizada como introdução para a seção seguinte.

3. Resistência e temperatura: análise microscópica

O efeito de variação de resistência com a temperatura é analisado do ponto de vista microscópico. Para ajudar a esclarecer dúvida, poderá ser feito, ao término da seção, um resumo oral das idéias principais apresentadas.

4. Resistência em função da temperatura

A maior dificuldade poderá ser a obtenção dos dados experimentais. Apesar disso, o professor deve tentar que todos os alunos façam a experiência. Não sendo possível, o professor pode realizá-la diante dos alunos e anotar os resultados obtidos na lousa. Só em último caso os alunos devem preencher as tabelas 1 e 2 com os dados fornecidos nas páginas 7 e 8.

Para discussão da experiência o professor pode preencher as tabelas na lousa, construir os gráficos e discutir cada uma das questões dessa seção.

5. Coeficiente de temperatura

Na discussão deve ser dada uma explicação rápida de como se define o coeficiente de temperatura para cada metal a partir do gráfico $R \times T$ e proposta a resolução da Q23, caso os alunos ainda tenham dúvidas.

O coeficiente de temperatura do NTC (negative temperature coefficient), como o próprio nome do resistor indica, é negativo

6. Resistência e polaridade

7. Resistência e iluminação

Mais uma vez o brilho da lâmpada serve como indicador da passagem de maior ou menor corrente. No debate, o fato de uma passar corrente maior quando é menor a resistência e vice-versa, deve ser retomado.

A experiência com o diodo não apresenta maiores problemas, exceto possíveis defeitos de contato entre os componentes.

Para o uso do LDR é necessário que o foco de luz obtido da lâmpada de 6V seja centrado no LDR pois, caso contrário, a luminosidade não será suficiente.

Como muitos alunos utilizam o conjunto experimental pode ser que nesta altura do curso muitas pilhas já estejam descarregadas e devam ser substituídas.

Essa experiência também pode ser feita com duas lâmpadas de 6V/50mA, em lugar das indicadas no texto. Nesse caso, como mostra a figura G2, o circuito é mais simplificado e o resultado é bem melhor.

8. Exercícios de aplicação

Os exercícios são simples e devem ser resolvidos com facilidade pelos alunos.

8. Sugestões para discussão com os alunos

Problema:

O eletrotécnico João possui um diodo em que o símbolo que indica o sentido da corrente está apagado. Como ele deverá proceder para determinar o sentido de passagem da corrente elétrica pelo diodo?

Comentário:

O objetivo desse exercício é fazer o aluno associar a passagem de corrente pelo diodo com sua resistência e perceber que existe um sentido preferencial de corrente correspondente à resistência mínima do diodo.

Uma pilha e uma lâmpada ligadas em série ao diodo fará a lâmpada acender se o sentido da corrente corresponder ao sentido da menor resistência. Se a lâmpada não acender, a corrente estará percorrendo o sentido da resistência maior.

Exercício prático:

O problema do seu João, citado acima, pode ser colocado diretamente ao aluno. Nesse caso, o professor deve fornecer ao aluno um **diodo BY-127** (que acompanha o conjunto experimental) ou o BY-126, com o símbolo que indica a passagem da corrente coberto por esparadrapo ou pintado e com marcas coloridas (azul e vermelho, por exemplo) nas extremidades. Além disso, deve fornecer **5 pilhas, amperímetro, ohmímetro e papel milimetrado**.

As perguntas podem ser as seguintes:

- Como você fará para determinar o sentido da passagem de corrente pelo diodo? Caso usar um circuito, desenhe-o.
- Qual o sentido da passagem de corrente pelo diodo? Do azul para o vermelho ou do vermelho para o azul?

7

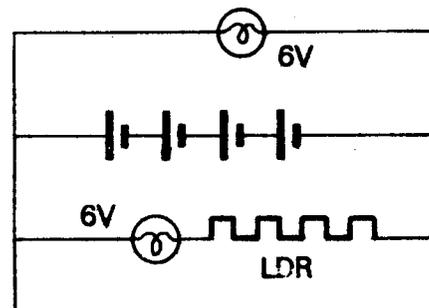


figura G2

V (v)	i (mA)
1.5	30
3.0	80
4.5	120
6.0	140
7.5	180

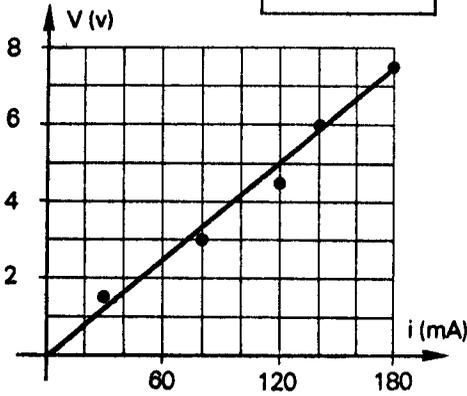
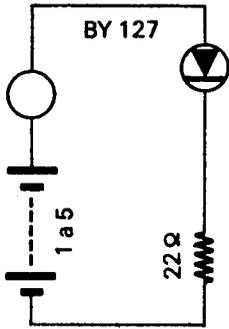


figura G3

- c) Quais os valores da resistência máxima e mínima do díodo.
d) Os fabricantes, em geral, ao colocarem um díodo à venda, distribuem junto uma curva, chamada **curva característica** do díodo. Essa curva característica é um gráfico $V \times i$, que informa as condições de uso do díodo.

Construa a curva $V \times i$ para o díodo em papel milimetrado escolhendo uma escala conveniente que permita leituras de 0,1V e 2mA. Não se esqueça que o díodo é um semiconductor.

Observações:

Para o levantamento da curva é necessário usar um resistor de aproximadamente 20Ω em série com o díodo para evitar que o valor da corrente ultrapasse o fundo de escala do amperímetro.

Na figura G3 estão mostrados a curva característica do díodo BY-127, o circuito utilizado e a tabela $V \times i$, que dão uma idéia dos resultados que os alunos devem obter.

9. Sugestões para outras experiências

Exercício prático:

Determine a temperatura que atinge o NTC quando situado a 10cm da chama produzida por uma vela. Para isso, utilize um ohmímetro e o gráfico $R \times T$ obtido para o NTC.

Comentário:

A figura G4 mostra uma maneira de fazer o arranjo experimental, bem como o esquema do circuito. É conveniente não colocar o NTC diretamente em cima da chama, mas no mesmo plano horizontal.

Para a determinação da temperatura, basta ler a resistência no ohmímetro e procurar no gráfico $R \times T$ o valor correspondente da temperatura.

O gráfico $R \times T$ mostrado na figura G5 permite uma idéia dos valores experimentais que os alunos devem obter.

figura G4

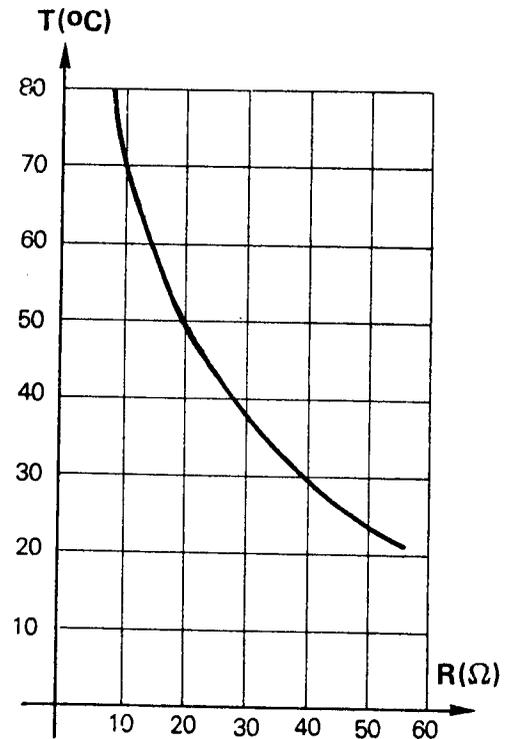
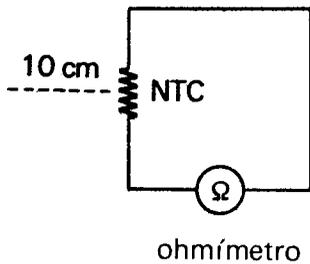
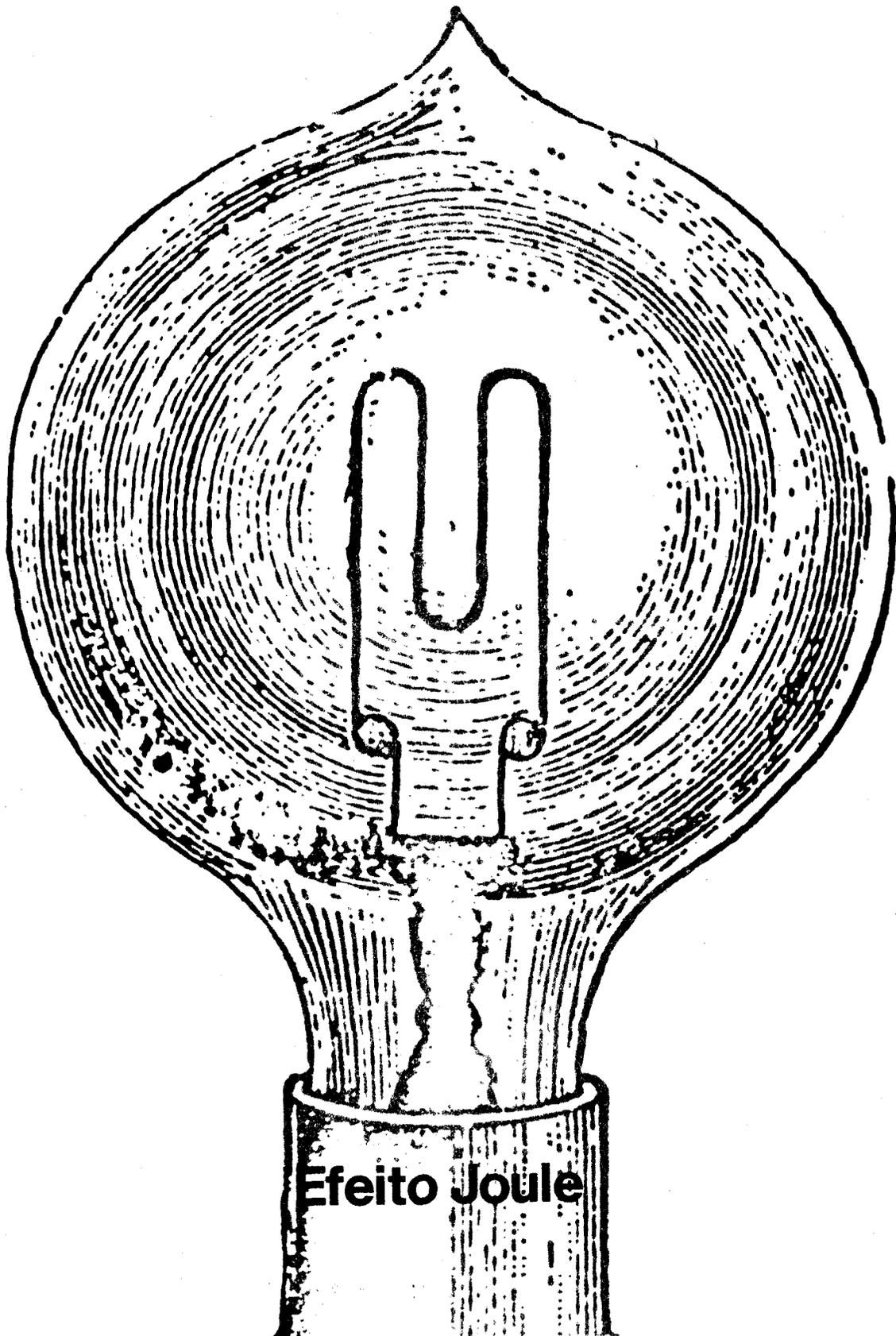


figura G5



1. Conteúdo

Introdução — 8-1

1. Transformações de energia — 8-3
2. Dissipação da energia dos elétrons num metal — 8-3
3. Cálculo da energia térmica produzida — 8-9
4. Potência elétrica — 8-10
5. Efeito Joule — 8-12
6. Exercícios de aplicação — 8-20

Leitura suplementar:

Supercondutividade — 8-26

2. Objetivos do capítulo

- a) Descrever macroscopicamente e microscopicamente o efeito térmico causado por uma corrente que atravessa um condutor.
- b) Deduzir uma relação matemática entre a energia térmica dissipada num condutor, sua resistência elétrica e a corrente que circula por ele.
- c) Dado um circuito composto de resistores, uma fonte de tensão e um multímetro, calcular a energia e a potência dissipada nos resistores.
- d) Determinar experimentalmente a energia térmica transferida a uma certa quantidade de água, a partir de medidas de temperatura.
- e) Descrever e realizar uma experiência onde se verifica que toda a energia elétrica, dissipada num circuito composto apenas de condutores e resistores, é transformada em energia térmica.
- f) Descrever o efeito joule e algumas de suas aplicações.

3. Pré-requisitos

Capítulos 1, 2, 3, 4 e 5 de Eletricidade.

4. Número de aulas previstas

- a) Para o texto principal: 4
- b) Para os exercícios de aplicação: 1
- c) Para a avaliação: 1
- d) Para a leitura suplementar: 1

5. Sugestões para avaliação

Os exercícios seguintes podem servir como modelo para uma avaliação:

Objetivo **a**: E1, E2, E3, E11

Objetivo **b**: E4

Objetivo **c**: E5, E6, E10, E12, E13

Objetivo **d**: E7

Objetivo **e**: E9

Objetivo **f**: E8 e P1

P1 — Quais as características que devem ter um fio para aque-

cimento (resistor de um chuveiro) e um fio para fusível?

- R1** – O fio para aquecimento deve ter uma temperatura de fusão muito alta, para não se fundir quando a corrente percorrida é muito alta. O fio para fusível deve ter uma temperatura de fusão baixa para que, no caso da corrente percorrida ser acima do limite permitido, o fio fundir e abrir o circuito:

6. Bibliografia

- 1 – ALVARENGA, B. G. de & LUZ, A. M. R. da. **Física**. 2. ed. Belo Horizonte, B. Alvares, 1969. v. 3.
No capítulo 5, seção 6, é feita uma discussão sobre a potência em um elemento do circuito e discutidos, com detalhes, dois exemplos de efeito Joule.
- 2 – RESNICK, R. & HALLIDAY, D. **Física**. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1965. v. 2.
No capítulo 31, seção 5, é tratada a transmissão de energia em um circuito. O formalismo é simples e entendível.

7. Comentários sobre o texto

O material experimental que será utilizado neste capítulo é o seguinte:

- fio de Ni-Cr nº 38 ($\pm 15\text{cm}$)
- 4 pilhas
- resistor de 22Ω
- resistor de 47Ω
- termômetro de -10°C a 100°C
- aquecedor elétrico

Introdução

1. Transformações de energia

Esse assunto deve ser conhecido dos alunos. Por isso, será suficiente uma rápida discussão de eventuais dúvidas levantadas por eles.

2. Dissipação da energia dos elétrons num metal

Essa seção descreve o assunto microscopicamente. O movimento de bolinhas de aço no campo gravitacional é comparado ao movimento de elétrons num condutor sob a ação de um campo elétrico.

É proposta uma experiência onde fica evidente o aquecimento do fio pela passagem da corrente.

Para a discussão o professor pode descrever e executar as experiências propostas (aquecimento do fio pela vela e, a seguir, pela corrente elétrica) e discutir as causas desse efeito do ponto de vista microscópico. **A ligação das pilhas ao fio de Ni-Cr deve ser mantida por alguns segundos apenas para evitar descarregar totalmente as pilhas.**

3. Cálculo da energia térmica produzida

Através de um desenvolvimento matemático o aluno chega à relação $E = Ri^2 t$. Para começar a discussão, convém o professor fazer a demonstração desse resultado no quadro-negro.

Nas questões Q17 e Q18 supõe-se que o intervalo de tempo em que as correntes passam é o mesmo para os dois fios.

Na Q21, para ser calculada a energia dissipada nos fios considerados na Q17 e Q18 é necessário conhecer o intervalo de tempo, que poderá ser, por exemplo, de 5 segundos. Será útil o professor resolvê-la no quadro.

A questão formulada no final da página 8-9 poderá ser utilizada para iniciar a discussão que encerra essa seção. O professor poderá desenhar na lousa o circuito que os alunos montaram e, a seguir, com os valores de corrente medidas por um dos alunos, em resposta à Q22 e Q24, calcular as energias dissipadas em ambos os casos, mostrando a necessidade de se entender qualitativamente as relações que se estabelecem entre grandezas físicas.

4. Potência elétrica

Será útil o professor demonstrar no quadro as relações:

$P = Ri^2$, $P = Vxi$, $P = \frac{v^2}{R}$ e resolver algumas das questões de Q29 a Q34.

5. Efeito Joule

O objetivo é fazer uma experiência em que se comprovará que toda energia elétrica despendida num circuito composto apenas de fios condutores e resistores é transformada em energia térmica.

Para se calcular a energia, a partir da temperatura da água na qual é mergulhado o resistor, é necessário conhecer a relação

$$r = cm \Delta T.$$

Para a realização da experiência proposta será necessário um local onde haja tomadas de 110V e água. Apesar de ser trabalhosa, havendo condições, o professor deve incentivar os alunos a fazê-la. Em caso contrário, o professor poderá fazê-la diante dos alunos.

A realização da experiência dará oportunidade de discussão de muitos aspectos relacionados com a experiência em si, como, por exemplo, as perdas de calor para o meio, o que justifica a diferença nos valores de energia calculados a partir do resistor e a partir da água.

A percentagem de energia perdida para o meio pode ser estimada deixando o sistema esfriar após a experiência e medindo a temperatura da água em intervalos de tempo fixos. Se, por exemplo, a temperatura cai inicialmente à razão de 1°C em 5 minutos, e se o experimento durou 15 minutos estima-se que a quantidade de calor perdida é correspondente a cerca de 3°C de diferença de temperatura.

6. Exercícios de aplicação

Os exercícios são simples e não causam dificuldades.

8. Sugestões para discussão com os alunos

Calcule quanto custa um longo banho de chuveiro, considerando que o chuveiro dissipa uma potência de 2800 watts e que o preço por Kw-hora é de Cr\$ 1,00.

$$(1\text{Kw-hora} = 1000 \text{ watt} \times 3600\text{s} = 3600000\text{j} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}):$$

Solução:

Vamos considerar que um banho longo demora 30 minutos.
2800 watts = 2800 J/s
Em 30 minutos serão gastos:
 $30 \times 60 \times 2800 \text{ J} = 5040000 \text{ J}$.
Se $3,6 \times 10^6 \text{ J}$ custa Cr\$ 1,00, então 5040000 J ($5,04 \times 10^6 \text{ J}$) custarão Cr\$ 1,40.

Quantos litros de água por minuto devem passar através de um chuveiro elétrico de potência 2800 watts para que a temperatura de saída da água seja de 35°C, supondo que a temperatura inicial da água seja 10°C.

Solução:

Vamos calcular inicialmente quantas calorias o chuveiro fornece por segundo.

$$\frac{Q}{s} = \frac{2.800 \text{ J}}{4,18} = 669,9 \frac{\text{calorias}}{\text{segundo}}$$

$$Q = M_{\text{água}} C_{\text{água}} \Delta T$$

$$m_{\text{água}} = \frac{Q}{C_{\text{água}} \Delta T} = \frac{669,9}{25} \text{ g}$$

$$m_{\text{água}} = 27 \text{ g}$$

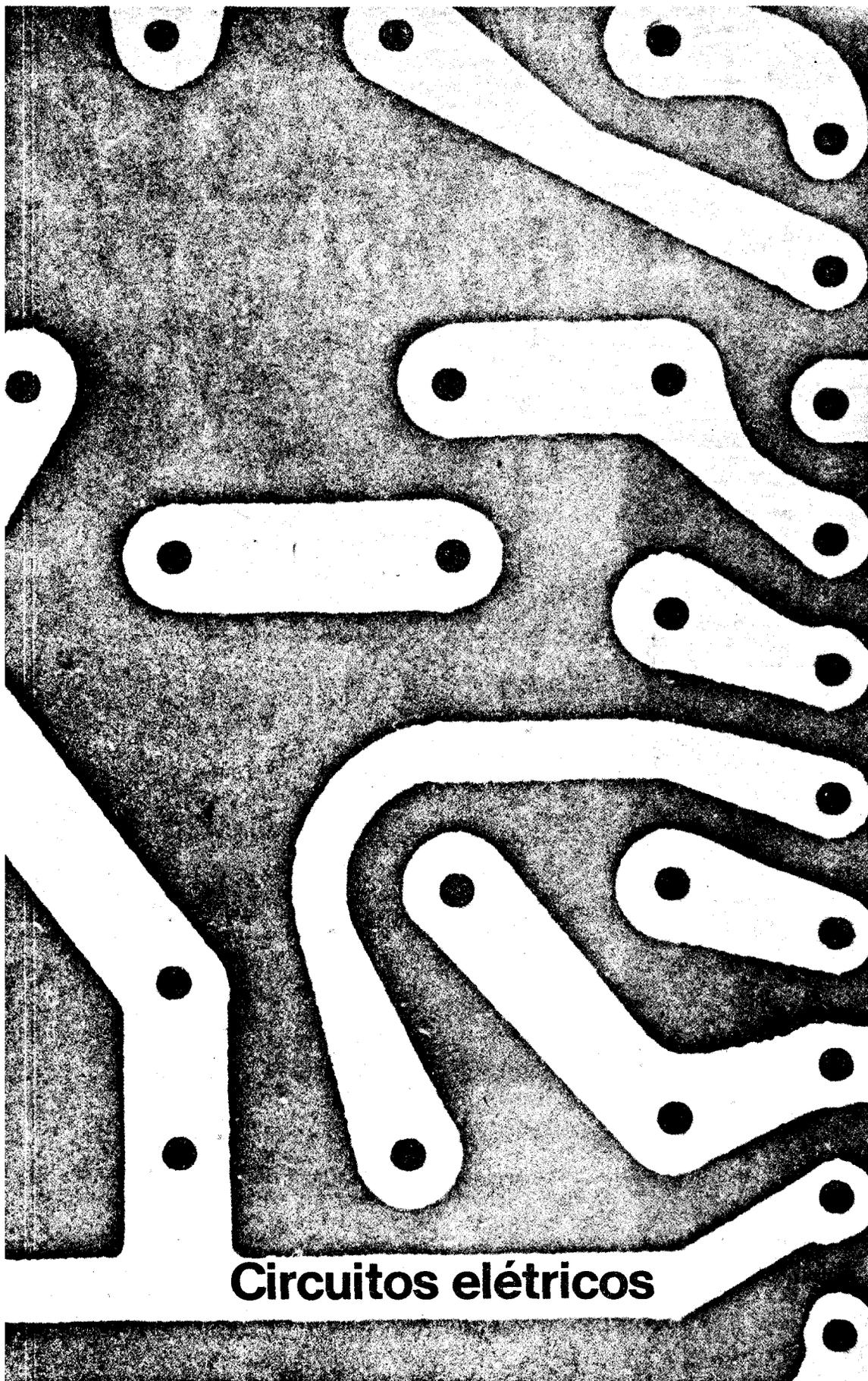
Portanto, um chuveiro pode aquecer de 10°C até 35°C ($\Delta T = 25^\circ\text{C}$) uma massa de água de 27g em um segundo. Sendo a densidade da água igual a 1, o volume de água aquecida por segundo será 0,027 l/s.

Portanto, o volume de água que deve passar através do chuveiro por minuto será:

$$V = 60 \times 0,027 = 1,6 \text{ litros.}$$

9. Sugestões para outras experiências

Não há sugestões.



Circuitos eléctricos

1. Conteúdo

Introdução – 9-1

1. Circuito com lâmpadas – 9-2
 2. Medidas de V e i – 9-4
 3. Tensões no circuito – 9-6
 4. Distribuição da corrente no circuito – 9-6
 5. Resistência equivalente (previsão do comportamento do circuito) – 9-8
 6. Circuitos não-redutíveis – 9-10
 7. Potência do circuito – 9-12
 8. Exercícios de aplicação – 9-12
 9. Conclusão – 9-15
- Guia do multímetro – 9-17

2. Objetivos do capítulo

- a) Dado um circuito composto de lâmpadas ligadas em série e em paralelo e uma fonte de tensão, realizar experiências para demonstrar qualitativamente as propriedades da corrente nos vários ramos do circuito.
- b) Dado um circuito composto de resistores ôhmicos associados, uma fonte de tensão variável e um multímetro, realizar experiências para demonstrar que o multímetro, como um todo, comporta-se como um único resistor ôhmico.
- c) Dado um circuito com vários resistores ôhmicos associados e uma fonte de tensão, descrever a distribuição de corrente e de tensão nos vários trechos do circuito.
- d) Demonstrar a relação entre a resistência equivalente de um circuito e a resistência dos resistores que o compõe, quando associados em paralelo e em série.
- e) Dado um circuito redutível composto de resistores associados em série e/ou em paralelo, determinar analiticamente sua resistência equivalente.
- f) Estabelecer a relação entre a potência total dissipada em um circuito e a potência dissipada em cada um de seus componentes.

3. Pré-requisitos

Capítulos 1, 2, 3, 4, 5 e 8 de Eletricidade

4. Número de aulas previstas

- a) Para o texto principal: 6
- b) Para os exercícios de aplicação: 2
- c) Para a avaliação: 1

5. Sugestões para avaliação

Os seguintes exercícios podem servir como modelo para a organização de uma prova:

Objetivo **c**: E1

Objetivo **d**: E4 e E5

Objetivo **e**: E1, E2 e E3

Objetivo **f**: E6, E7, E8 e E9

6. Bibliografia

- 1 – ALVARENGA, B. G. de & LUZ, A. M. R. da. **Física**. 2. ed. Belo Horizonte, B. Alvares, 1969. v. 3.

No capítulo 5, seção 4, é tratada a associação de resistores através de inúmeros esquemas e dois exemplos bem detalhados.

Caso o professor queira discutir com os alunos circuitos não-redutíveis, ou seja, aqueles que necessitam da aplicação das Leis de Kirchhoff, o capítulo 6 trata de força eletromotriz e circuitos simples.

- 2 – RESNICK, R. & HALLIDAY, D. **Física**. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1965. v. 2.

No capítulo 32, as seções 3, 4 e 5 tratam de circuitos de malhas simples e malhas múltiplas. O tratamento é de nível superior mas, com pequenas modificações, é possível apresentá-lo em nível secundário. O principal requisito é conhecer determinantes.

9

7. Comentários sobre o texto

O material utilizado neste capítulo é o seguinte:

- 5 pilhas
- 5 porta-pilhas
- 2 resistores de 33 ohms/1watt
- 2 resistores de 68 ohms/1watt
- resistor de 22 ohms/1watt
- resistor de 47 ohms/1watt
- resistor de 100 ohms/1watt
- multímetro
- 3 lâmpadas de 6V/50mA
- 3 soquetes para lâmpadas

Neste capítulo, o aluno monta alguns circuitos e analisa-os a partir de medidas de tensão, corrente e resistência; considerando a lei de Ohm, chega às propriedades dessas grandezas no circuito.

É conveniente fazer uma recapitulação rápida das seções 1 e 2 do capítulo 5, que trata da lei de Ohm, antes de iniciar este capítulo.

O multímetro é muito utilizado; muitas medidas são feitas num circuito composto com vários elementos causando, de início, algumas dificuldades. Essas medidas, entretanto, servem para desenvolver uma maior habilidade na operação do aparelho, além de fixar os diversos conceitos já estudados.

Introdução

1. Circuito com lâmpadas

Essa seção baseia-se essencialmente na análise qualitativa do comportamento de um circuito. A utilização de lâmpadas tem o objetivo de dar, através de seu maior ou menor brilho, uma visualização do que ocorre com a intensidade da corrente em cada ramo do circuito. É importante lembrar, embora possa parecer óbvio, que as lâmpadas funcionam como resistores.

Para debate, é útil desenhar o esquema do circuito no quadro-negro, simular as operações propostas no texto de ligar ou desligar esta ou aquela lâmpada e pedir a resposta das questões à classe.

2. Medida de V e i

Pode ocorrer alguma dificuldade na montagem do circuito,

nesse caso, cabe ao professor acompanhar e orientar os diversos grupos.

Para iniciar o debate, o professor poderá desenhar a tabela 1 no quadro-negro e solicitar que um aluno a preencha com os resultados que obteve; a seguir, a construção do gráfico $V \times i$, por ser linear, comprova facilmente que o circuito composto de resistores ôhmicos se comporta como um único resistor ôhmico.

3. Tensões no circuito

O professor deve inicialmente desenhar o esquema do circuito na lousa e, com o multímetro na mão, indicar onde e como são feitas as medidas de tensão.

A seguir, deve solicitar a um aluno para anotar no esquema desenhado, ao lado de cada resistor, o valor da tensão medida entre terminais correspondentes do circuito montado. A soma das tensões entre os pontos **A** e **E** do circuito, seguindo os caminhos ABE, ACE e ADE, é a mesma, qualquer que seja o caminho considerado.

Deverão aparecer pequenas diferenças causadas pelas condições da experiência, imprecisões nas medidas, etc. É útil uma discussão destacando esses aspectos.

4. Distribuição da corrente no circuito

Será útil fazer o desenho do esquema do circuito no quadro-negro e anotar a corrente elétrica de cada trecho e a corrente total. A seguir, verificar que $i_T = i_1 + i_3 + i_5$ e que $i_1 = i_2$, $i_3 = i_4$, $i_5 = i_6$ e que a corrente que entra em um ponto do circuito é igual à corrente que sai desse mesmo ponto.

As medidas de corrente não são feitas diretamente pois o amperímetro deve ser ligado em série com cada trecho do circuito cuja corrente se quer medir. Além disso, ao se ligar o amperímetro em série, sua resistência interna se adiciona à resistência do resistor e, se a resistência do circuito for pequena, os resultados poderão ser sensivelmente diferentes da corrente que existe sem o medidor. Por outro lado, será bastante útil, havendo tempo e condições, solicitar que os alunos façam diretamente as medidas de corrente de alguns trechos e as comparem com os valores calculados, a partir da relação $R = V/i$, e discutam as diferenças encontradas.

5. Resistência equivalente

Inicialmente são montados dois circuitos simples, em que se medem os valores de tensão, e calculadas as correntes, já que são conhecidos os resistores utilizados.

Na discussão é interessante colocar as tabelas 3 e 4 no quadro-negro, assim como os esquemas dos circuitos (figs. 8 e 9 do texto), e verificar se as conclusões, já tiradas nas seções anteriores a respeito da distribuição das correntes e tensões, são confirmadas.

A seguir, é útil resolver a Q16 no quadro. Isso deve ser feito também com a dedução da relação (3):
$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

A obtenção do valor da resistência equivalente de um circuito através das relações obtidas, em geral, difere um pouco dos valores medidos; isso se deve ao fato de que os erros experimentais não aparecem nos cálculos, o que ocorre com as medidas.

No segundo parágrafo, após a Q19, devem ser resolvidos os

exercícios E1 e E2.

Será bom o professor lembrar aos alunos sobre erros experimentais e solicitar, quando da discussão dessa seção, que um ou dois alunos resolvam no quadro esses exercícios.

6. Circuitos não-redutíveis

Para a resolução do circuito proposto nessa seção, como está colocado no texto do aluno, são necessários mais alguns conhecimentos, como a Lei das Malhas de Kirchhoff. Se o professor tiver interesse ou achar esse assunto conveniente, poderá consultar os livros indicados na bibliografia.

7. Potência do circuito

As conclusões aqui são facilmente obtidas pelos cálculos dos produtos $\mathbf{V} \times \mathbf{i}$, que devem estar anotados na 4ª linha da tabela 2 do texto do aluno.

8. Exercícios de aplicação

Os exercícios são fáceis e não devem causar dificuldades.

9. Conclusão:

A conclusão do curso. É uma boa sugestão para discussão com os alunos.

Guia do multímetro

Esta parte do texto deve ser utilizada sempre que houver indicações como, por exemplo, no capítulo 3 em medidas de tensão etc. O objetivo desse Guia é dar instruções de como utilizar os diversos tipos de multímetros encontrados no comércio. Para isto, procura-se definir fundo de escala, escolha de escala, ajuste de zero para medidas de resistência, como ler a medida no visor etc. Cada seção é acompanhada de alguns exercícios que ajudam a treinar o uso do multímetro.

8. Sugestões para discussão com os alunos

Não há sugestões para esse capítulo.

9. Sugestões para outras experiências

Não há sugestões para esse capítulo.

Eletromagnetismo

0

Introdução

O curso de Eletromagnetismo procura dar aos alunos um conhecimento básico das leis e conceitos do Eletromagnetismo através de *uma análise qualitativa dos fenômenos e sua interpretação microscópica*.

A estrutura da matéria e alguns conceitos de Eletricidade são pré-requisitos para o curso, entretanto, se o professor pretende dar Eletromagnetismo antes de Eletricidade, é possível, com algumas aulas, preencher estes requisitos pois exigem pouca profundidade, como pode ser visto pelos pré-requisitos levantados para cada capítulo.

Este curso pretende também levar aos alunos fatos históricos sobre o desenvolvimento do Eletromagnetismo, bem como as teorias atuais e o desenvolvimento de pesquisas no campo do Eletromagnetismo. As leituras suplementares são optativas, mas em nível de entendimento ao alcance dos alunos do secundário; os assuntos tratados nessas leituras são os seguintes:

Capítulo 1: **Uma teoria para os ímãs**

Capítulo 2: **A deriva dos continentes e os materiais magnéticos**

Capítulo 3: **Campos magnéticos do Universo**

Capítulo 4: **Experiência de Ampère**

Capítulo 5: **Michael Faraday – O Bétraton**

Capítulo 6: **Tecnologia Elétrica**

1. Objetivos gerais do curso

Os objetivos relacionados abaixo devem ser atingidos pelos alunos que terminaram o curso, tendo realizado todas as atividades propostas, incluindo os textos optativos e as leituras suplementares.

- a) Estabelecer a relação entre efeitos magnéticos e correntes elétricas.
- b) Interpretar as propriedades magnéticas dos materiais, utilizando o modelo de domínios magnéticos.
- c) Trabalhar com os conceitos fundamentais do Eletromagnetismo e aplicá-lo em algumas situações.
- d) Utilizar o material experimental adequadamente, levando em conta as observações a serem feitas.
- e) Montar dispositivos simples utilizando correntes elétricas e campos magnéticos.
- f) Explicar o funcionamento do motor elétrico de corrente contínua, do medidor de corrente e do transformador de tensão a partir dos conceitos fundamentais do Eletromagnetismo.
- g) Aplicar o modelo de campo magnético produzido por correntes para interpretar o campo magnético terrestre.
- h) Conhecer alguns aspectos do desenvolvimento histórico do Eletromagnetismo e de pesquisas atuais.

2. Programa de Eletromagnetismo

I – Eletricidade e ímãs

1. Interação entre ímãs e uma bússola
2. Interação entre ímãs
3. Interação entre corrente elétrica e uma bússola
4. Ímãs e solenóides
5. Exercícios de aplicação

Leitura suplementar: Uma teoria para os ímãs
(L. Infeld e A. Einstein)

II – Estrutura dos ímãs

1. Materiais magnéticos
2. Propriedades magnéticas dos átomos
3. Domínios magnéticos
4. Magnetização e desmagnetização
5. Exercícios de aplicação I
6. Outras formas de desmagnetizar
 - ações mecânicas
 - ações térmicas
7. Ímãs e eletroímãs
8. Exercícios de aplicação II
9. Magnetismo da Terra (optativo)

Leitura suplementar: A deriva dos continentes e os materiais magnéticos
(Igor Gil Pacca – IAGUSP)

III – O campo magnético

1. Campo magnético criado por ímãs
2. Linhas de campo
3. Superposição de campos
4. Vetor indução magnética
5. Campos produzidos por correntes – lei de Ampère
6. Exercícios de aplicação

Leitura suplementar: Campos magnéticos do Universo
(J.A. de Freitas Pacheco – IAGUSP)

IV – Correntes em campos magnéticos

1. Força sobre um condutor retilíneo
2. Intensidade da força
3. Definição da unidade de \vec{B}
4. Intensidade da força sobre condutores em função do ângulo
5. Cargas elétricas em movimento num campo magnético
6. Exercícios de aplicação I
7. Intensidade da força sobre cargas em função do ângulo
8. Espira num campo magnético
9. Força entre dois condutores paralelos
10. Exercícios de aplicação II

Leitura suplementar: Experiências de Ampère
(José Goldemberg – IFUSP)

V – Indução eletromagnética

1. Corrente induzida
2. Indução de corrente num condutor
3. Indução pela variação da quantidade de campo
4. Fluxo de indução magnética
5. Variação do fluxo magnético pelo movimento
6. Variação do fluxo magnético por campos variáveis
7. Sentido da corrente induzida – lei de Lenz
8. A criação do campo elétrico

9. Exercícios de aplicação

Leitura suplementar: Michael Faraday (R. Kondo)
O bétatron (Giorgio Moscati)

VI – Aplicações do Eletromagnetismo

1. Motor elétrico
2. Medidor de corrente
3. Transformador

Leitura suplementar: Tecnologia elétrica
(Feynman)

3. Número de aulas previstas

Capítulo	Texto	Avaliação	Texto optativo e suplementar	Total
1	3	-	1	4
2	3	1	2	6
3	6	1	1	8
4	8	1	3	12
5	8	1	2	11
6	6	-	1	7
Total	34	4	10	48

4. Programação do curso

Normalmente, o curso de Eletromagnetismo deve ser dado através de seus seis capítulos. Entretanto, dependendo do interesse ou disponibilidade de tempo, o professor pode arranjar a seqüência dos capítulos de maneira diferente, pois o capítulo 2 (Estrutura dos ímãs) não é pré-requisito para os demais e o capítulo 6 (Aplicações do Eletromagnetismo) pode ser dividido em duas partes: a 1ª pode ser colocada imediatamente após o capítulo 4 e a 2ª ao final do capítulo 5.

5. O laboratório de Eletromagnetismo

Relação do material experimental

O material experimental é vendido acondicionado em uma caixa de papelão nos postos da FENAME, juntamente com instruções em uma folha impressa. Normalmente, é necessária uma caixa para cada grupo de 3 a 5 alunos.

- 1 – Ímã em forma de ferradura
- 2 – Arruela
- 3 – Carretel de plástico
- 4 – Núcleo de ferrite
- 5 – Bússola
- 6 – Ímãs de barra
- 7 – Frasco com limalha de ferro
- 8 – Lâmpada néon
- 9 – Suporte de rotores

- 10 — Chapa de níquel-cromo
- 11 — Barra de alumínio
- 12 — Barra de latão
- 13 — Pregos
- 14 — Pilha
- 15 — Porta-pilhas
- 16 — Placa de plástico
- 17 — Fios com garras jacaré
- 18 — Vela
- 19 — Fios

Esse material é simples e, em geral, não apresenta problemas de reposição. Entretanto, em alguns locais, pode ser mais difícil encontrar bússolas, ímãs, núcleos de ferrite e fios de níquel-cromo.

A apresentação do material e a forma dos suportes utilizados nas experiências são um pouco diferentes das encontradas nas fotos e esquemas que aparecem no texto. No entanto, isso não será motivo para dificuldades no reconhecimento e montagem das experiências. Para eliminar completamente esta possibilidade, a caixa de material inclui um folheto com instruções sobre a montagem de alguns dispositivos.

Caso o professor ache mais conveniente e econômico, poderá comprar o material experimental no comércio, principalmente em cidades que possuam boas lojas de material elétrico e eletrônico.

Nesse caso, as indicações seguintes podem ser úteis:

Ímã em forma de ferradura — Este ímã não é essencial, podendo ser substituído por um arranjo com dois ímãs de barra, como pode ser visto neste Guia, quando trata do capítulo 4.

Carretel de plástico — Não é essencial e pode ser substituído por um cilindro de plástico ou de papelão. Deve-se adaptar ao núcleo de ferrite. A bobina a ser construída deve conter 400 voltas de fio de cobre nº 30.

Núcleo de ferrite — Este material é utilizado para as experiências do capítulo 5. Pode ser substituído facilmente por um pedaço de antena de rádio de pilha. Essa antena geralmente é formada por um bastão de ferrite de aproximadamente 10 cm. Um tarugo de 5 cm com a bobina de 400 voltas reproduz exatamente as experiências descritas no texto.

O ferrite para antena é vendido em bastões cilíndricos de aproximadamente 20 cm de comprimento em casas de material de eletrônica.

Bússola — É indispensável, pois será utilizada durante todo o curso. As bússolas devem ter aproximadamente 5 cm de diâmetro e a agulha deve movimentar-se livremente no eixo de sustentação. São encontradas em papelarias e casas de importação.

Ímãs de barra — São indispensáveis. Suas magnetizações devem ser suficientes para desviar a bússola de 45° a uma distância de aproximadamente 15 cm. Seus comprimentos devem ter aproximadamente 5 cm.

Pedaços de ímãs de autofalantes podem ser utilizados, desde que seus pólos estejam localizados nos extremos de uma barra e possuam a intensidade de magnetização especificada acima.

Limalha de ferro — Qualquer limalha pode ser utilizada; as mais finas, entretanto, são melhores. Cinquenta gramas são suficientes para cada grupo de alunos.

Lâmpada néon — É conhecida nas casas de material eletrônico como "camarão"; seu preço não é alto.

Suportes de rotores — Podem ser construídos com qualquer material bom condutor **não-ferromagnético** e não-oxidável: latão, alumínio, cobre e ligas desses materiais. Os suportes devem ser cortados em tiras de 1 cm de largura e 7 cm de comprimento e

dobrados como mostra a figura.

Chapa de níquel-cromo — Pode ter qualquer dimensão. Sua espessura deve permitir que seja facilmente dobrável. É difícil encontrar no comércio uma chapa cuja liga seja adequada ao curso, ou seja, possa ser desmagnetizada através de pequenos choques e possua uma temperatura de Curie em torno de 1300°C .

Entretanto, as fitas de Ni-Cr utilizadas nos resistores de ferros elétricos podem ser utilizadas; de uma única peça pode-se construir 10 tiras de comprimento 12 cm. Se possível, deve-se escolher resistores de ferro elétrico que possuam a maior largura possível, pois facilita sua utilização. Resistores de chuveiros também podem ser utilizados, apesar do inconveniente de sua forma cilíndrica.

Barras de alumínio e de latão — Qualquer pedaço desses materiais pode ser utilizado; as barras devem ser de $1 \times 5\text{ cm}^2$.

Pregos — Devem ser usados pregos de ferro que não se mantenham magnetizados muito tempo. A maneira de escolhê-los é realizar a experiência descrita no capítulo 2 do texto.

Placa de plástico — Pode ser substituída por eucatex, madeira, ou qualquer material isolante.

Fios de cobre — São necessários 12 m de fio esmaltado n^o 22 e 2 m de fio esmaltado n^o 18.

Fios de latão — 0,5 m de fio n^o 17.

Fio de Ni-Cr n^o 40 — Usado para a experiência de magnetização e desmagnetização. Não é necessário que o fio seja de Ni-Cr, mas deve ser fino e flexível e capaz de suportar o calor da chama de uma vela.

Suportes para os ímãs — Poderão ser blocos de madeira ou caixas de fósforos.

Pilhas — São recomendadas pilhas grandes de lanterna (1,5 V).

6. Instruções de montagem dos dispositivos para os capítulos 4 e 6

Material:

- 1) 15 cm de fio de latão BWG n^o 17
- 2) 20 cm de fio de cobre esmaltado n^o 18
- 3) 80 cm de fio de cobre esmaltado n^o 22

1) Condutor de latão

Dobre em forma de "U" o fio de latão n^o 17, nas dimensões indicadas na figura 01.

2) Espira retangular

Dobre o fio de cobre n^o 18 formando um retângulo de modo que as pontas do fio possam servir para equilibrá-lo num suporte, de acordo com a indicação da figura 02.

As extremidades do fio devem ser desencapadas com uma lixa para fazer bom contato com os suportes metálicos (veja detalhes no capítulo 4).

Para reproduzir facilmente este dispositivo, utilize uma tabuinha com 6 preguinhos fixos para dobrar o fio (figura 03).

3) Rotor para o motor

Dobre o fio de cobre n^o 22 formando 5 espiras retangulares superpostas e amarradas com uma volta do próprio fio; as dimensões estão indicadas na figura 03.

Uma das extremidades do rotor deve ser totalmente desencapada, a outra deve ficar com uma lista longitudinal de verniz isolante (veja detalhes no capítulo 6).

A tabuinha com pregos mostrada na figura 03 também pode ser utilizada para esta montagem.

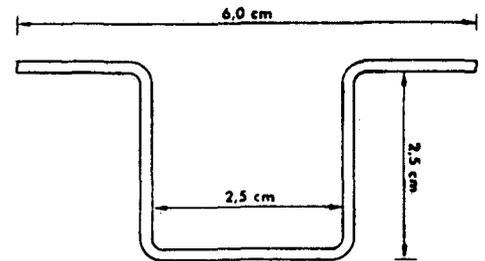
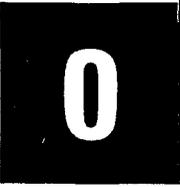


fig. 01

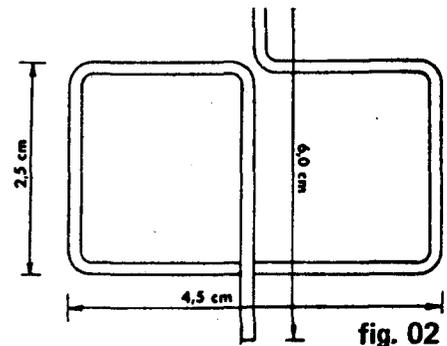


fig. 02

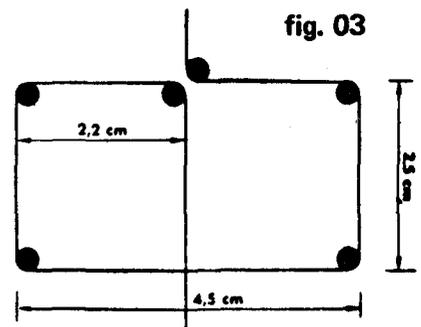
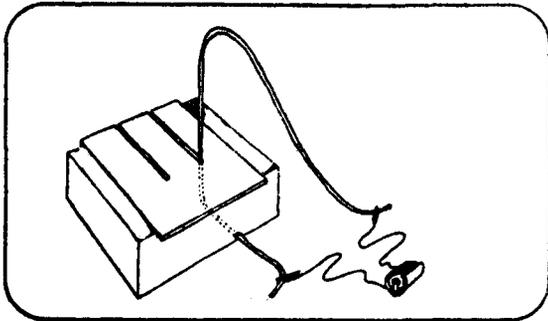
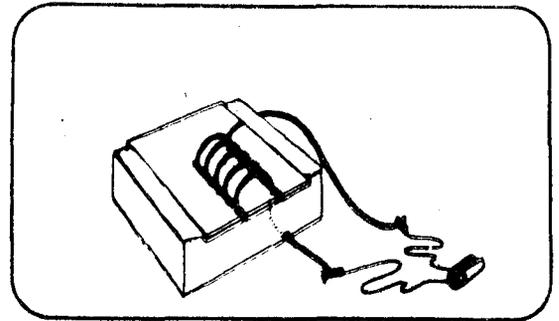


fig. 03

7. Indicações de algumas montagens das experiências descritas no texto

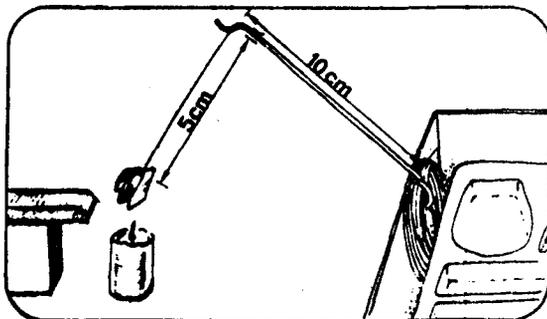


Interação entre corrente elétrica e uma bússola (capítulo 1)

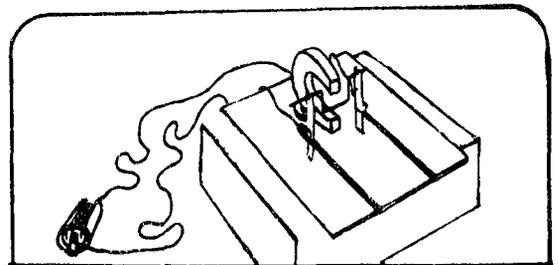


Solenóides e ímãs (capítulo 1)

Efeito da temperatura sobre a magnetização (capítulo 2)



Força sobre condutores retilíneos (capítulo 4)



8. Teste de pré-requisitos

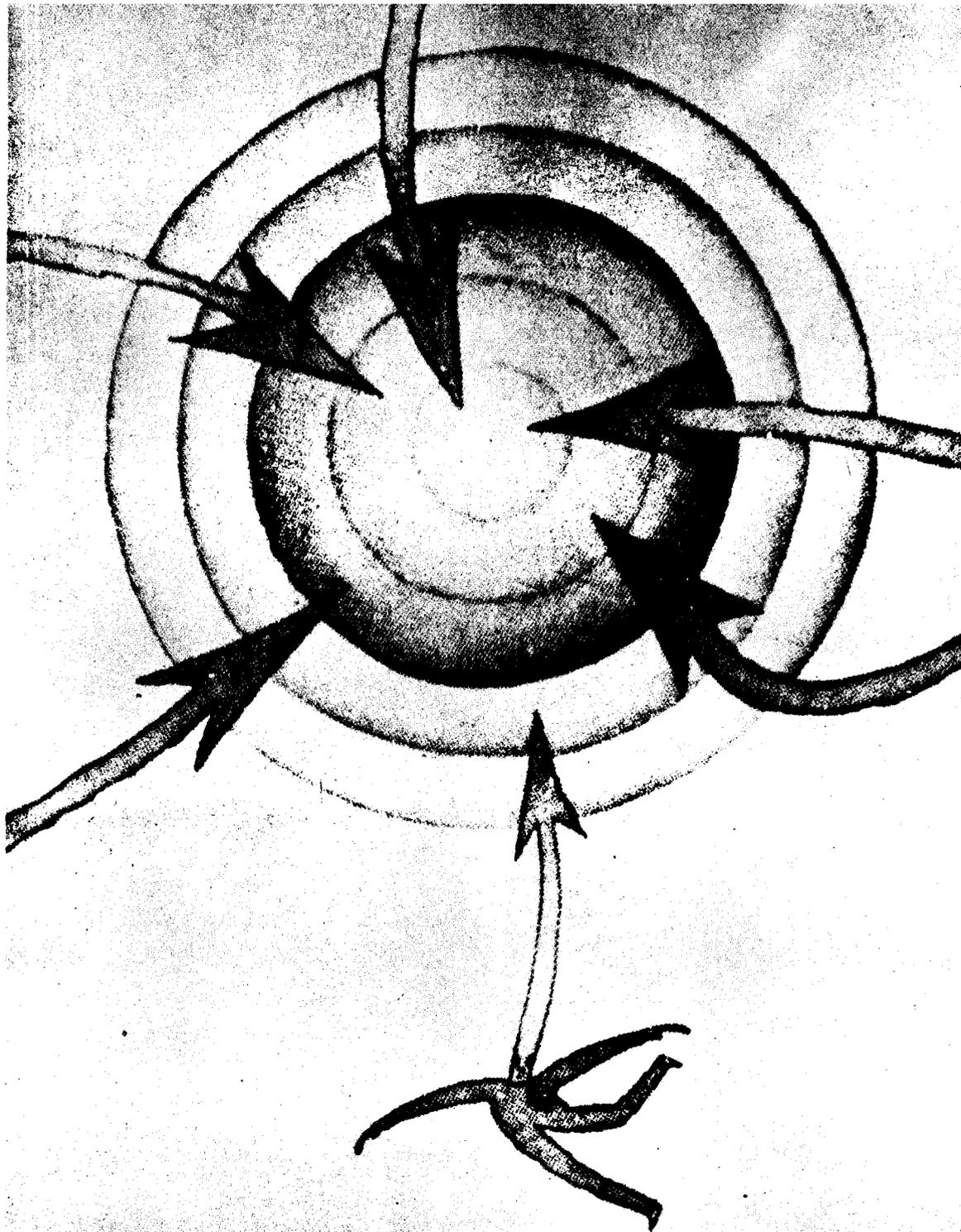
Antes de iniciar o curso de Eletromagnetismo, é conveniente que os alunos sejam submetidos a um teste dos pré-requisitos apontados para cada capítulo de Eletromagnetismo.

Esse teste deve ser elaborado ao nível dos cursos de Mecânica e Eletricidade do PEF. Os pré-requisitos de Geometria não são tratados nos cursos de Mecânica e Eletricidade; caso os alunos não tenham esses pré-requisitos, o professor deverá preencher essa lacuna.

Os pré-requisitos de Geometria são os seguintes:

- Identificar retas paralelas, perpendiculares e ortogonais.
- Distinguir entre retas perpendiculares e retas não-perpendiculares a planos.
- Localizar o eixo de simetria de uma espira e de um cilindro.
- Traçar a tangente a uma curva.
- Traçar retas perpendiculares a planos.

1



Eletricidade e ímãs

1. Conteúdo

Introdução – 1-1

1. Interação entre ímãs e uma bússola – 1-2
2. Interação entre ímãs – 1-4
3. Interação entre corrente elétrica e uma bússola – 1-5
4. Ímãs e solenóides – 1-8
5. Exercícios de aplicação – 1-10

Leitura complementar:

Uma teoria para os ímãs (L. Infeld e A. Einstein) – 1-13

2. Objetivos do capítulo

No final do capítulo 1 o aluno deve ser capaz de descrever efeitos magnéticos dos ímãs e relacioná-los com fenômenos elétricos já conhecidos.

Especificamente, o aluno deve:

- a) Determinar e descrever qualitativamente as propriedades de um ímã (atrair certa classe de objetos, possuir dois pólos magnéticos, apontar a direção N–S geográfica).
- b) Identificar os pólos magnéticos N e S de uma bússola.
- c) Verificar a existência de efeitos magnéticos em uma região, utilizando uma bússola.
- d) Descrever os tipos de interação entre dois ímãs e entre ímã e bússola.
- e) Descrever a interação entre uma bússola e a corrente elétrica em um fio reto, em uma espira e em um solenóide.
- f) Reconhecer a equivalência entre uma espira (ou solenóide) e um ímã, quanto aos seus efeitos magnéticos.

3. Pré-requisitos

Para iniciar o capítulo 1 o aluno deve ser capaz de:

- a) Montar um circuito elétrico simples.
- b) Reconhecer o sentido da corrente elétrica em um circuito ligado a uma pilha.
- c) Identificar retas paralelas, perpendiculares e ortogonais.
- d) Distinguir entre retas perpendiculares e retas não-perpendiculares a planos.
- e) Localizar o eixo de simetria de uma espira e de um solenóide.
- f) Reconhecer a existência de uma força agindo sobre um corpo, quando se produz deslocamento ou tendência à rotação.

Existem também pré-requisitos quanto à forma de trabalho: o aluno deve ser capaz de interpretar um texto pequeno e comparar suas respostas com as apresentadas no texto, somente depois de ter escrito a **sua** resposta. Para isso, veja a introdução geral do Guia.

4. Número de aulas previstas

- a) Para o texto principal: 3
- b) Para a avaliação: nenhuma
- c) Para a leitura complementar: 1

5. Sugestões para avaliação

Devido ao caráter descritivo do capítulo 1 sugere-se como avaliação apenas uma ou duas questões no final de uma aula, considerando-se o acerto ou discussão da questão como indicativo de participação em classe.

Caso o professor queira fazer uma prova no final do capítulo 1, deve prepará-la dentro dos objetivos propostos, no nível dos exercícios de aplicação; estes exercícios estão ligados aos objetivos do capítulo 1 da seguinte forma:

Objetivo **a**: E9
Objetivo **c**: E1, E2 e E8
Objetivo **d**: E3, E6 e E7
Objetivo **e**: E5

6. Bibliografia

1. FUNDAÇÃO Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências. **Como funciona o eletroímã**: conjunto experimental. São Paulo, FUNBEC / s.d. / (Coleção Eletricidade Mirim)
2. GILBERT, W. **De magnete**. Trans. by P. Fleury Mottelay. New York, Dover, 1958. 368 p.
Este texto é muito interessante, contém aspectos históricos e descrições das primeiras experiências e conclusões do eletromagnetismo.
3. HALLIDAY, D. & RESNICK, R. **Física**. Trad. de Rogério Cantarino Trajano da Costa. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1965. v. 2.
Na página 1.033, o texto apresenta uma analogia entre dipolo magnético e dipolo elétrico e define momento de dipolo magnético.
4. PHYSICAL Science Study Committee. **Física**. 6. ed. São Paulo, EDART, 1970. v. 4. p. 108.
Neste texto é feita uma analogia interessante entre solenóides e ímãs.

7. Comentários sobre o texto

No capítulo 1 será utilizado o seguinte material:

- 1 bússola
- 2 ímãs de barra
- 1 pilha
- 1 suporte
- 1 metro de fio de cobre nº 19
- 1 porta-pilhas
- 2 fios de ligação com jacarés nas pontas

Observação importante:

O material que consta do conjunto experimental tem forma diferente da que aparece nas montagens das fotos do texto; entretanto, o funcionamento e resultados finais não serão diferentes em nada. O professor deve dar esta informação aos alunos e lembrar que a caixa do material contém as informações necessárias para as montagens com o novo material. Na introdução do Eletromagnetismo dada neste Guia, estas informações aparecem em detalhe.

Cuidados com o material:

É bastante importante que os contatos estejam bons. Os fios de cobre devem ser descascados nas pontas para retirar o esmalte isolante. Isto pode ser feito colocando a extremidade do fio sobre a chama de um fósforo e, posteriormente, raspando-a com gilete ou lixa.

O fio deve ser raspado ou lixado cada vez que for utilizado, mesmo que já tenha sido descascado anteriormente.

Introdução

A introdução pretende colocar para o aluno os objetivos gerais do curso de Eletromagnetismo e os objetivos específicos do capítulo 1. É conveniente que o professor chame a atenção para isso, podendo sugerir que os alunos identifiquem e sublinhem no texto esses objetivos.

Ao fim do capítulo, pode ser feito um debate que relacione os objetivos propostos com o que os alunos aprenderam.

1. Interação entre ímãs e uma bússola

O texto procura mostrar como se usa uma bússola. O professor deve insistir depois da Q5 que é sempre necessário tomar o cuidado de afastar objetos que contenham ferro e possam influenciar a experiência.

O professor também deve verificar se os alunos sabem indicar o norte da agulha de sua bússola.

2. Interação entre ímãs

3. Interação entre corrente e bússola

Na experiência com o fio retilíneo o professor deve observar se os alunos estão fazendo a montagem correta, com a agulha da bússola apontando para o fio antes de ligá-lo à pilha.

Na experiência com o solenóide (ou espira), a agulha deve apontar a direção perpendicular ao eixo da espira, antes de ser fechado o circuito. **É muito importante que o eixo da espira não esteja paralelo à direção N–S geográfica.** Caso isto ocorra, o desvio da agulha da bússola talvez seja imperceptível, uma vez que o campo da espira em seu eixo tem a mesma direção do campo magnético da Terra.

Q10 – O que acontece com a bússola quando você liga o circuito?

Observação importante:

Na experiência em que se observa o campo magnético produzido por um fio reto percorrido por corrente, a agulha da bússola assume a direção do campo resultante $\vec{B}_{\text{corrente}} + \vec{B}_{\text{Terra}}$ (figura A). Como o campo produzido pela corrente no local é mais intenso que o campo da Terra, a direção assumida pela agulha da bússola é aproximadamente ortogonal ao fio.

O professor deve verificar se os alunos estão realmente traçando a direção da agulha e não somente afirmando que a agulha se movimenta.

Se os alunos insistirem que a agulha não chega a girar 90° o professor pode propor uma inversão da corrente (embora sem dar explicações em termos de soma vetorial de campos). Nesse caso, o aluno verá que a agulha se movimenta em sentido contrário e que a posição média entre as duas orientações da agulha da bússola é ortogonal ao fio (figura B).

4. Ímãs e solenóides

Esta última parte pode ser suprimida caso o professor não vá utilizar o capítulo 2, de acordo com uma das seqüências sugeridas na introdução do Eletromagnetismo.

Para se tratar da estrutura de domínios magnéticos dada no capítulo 2, é necessário associar a propriedade magnética de um ímã à soma dos efeitos de pequenos solenóides ou de espiras.

A direção da agulha da bússola coincide com a direção do campo resultante.

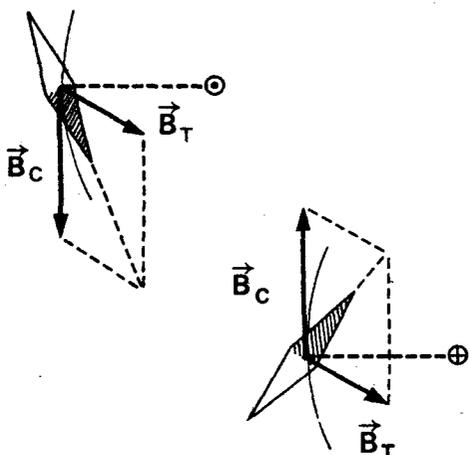


figura A

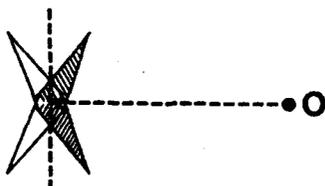


figura B

Q14 — Em que posição se deveria colocar um ímã para produzir o mesmo efeito sobre a bússola? (Exp. da espira.)

Comentário:

Esta questão é fundamental, caso o professor pretenda utilizar o capítulo 2 (Estrutura dos ímãs).

Em caso de dúvida, será conveniente que os alunos coloquem o ímã de barra "dentro" da espira (desligada da pilha, é claro) de forma que a direção N—S do ímã coincida com o eixo da espira e, usando a bússola, verifiquem que os efeitos são análogos.

Q15 — Trace sobre o papel a direção assumida pela agulha da bússola em cada ponto, localizando também as extremidades N e S.

Comentário:

É necessário que o sentido da corrente seja mantido durante a experiência e que o centro da bússola seja colocado exatamente sobre o ponto escolhido, devendo-se marcar a direção norte—sul antes de retirar a bússola.

Em todos os pontos, a direção assumida pela bússola será aproximadamente paralela ao eixo do solenóide, apesar da interferência do campo da Terra (vide a observação sobre a **Q10**). Nos pontos **C** e **D** a orientação será oposta à obtida nos pontos **A** e **B**.

Caso o professor tenha construído o seu próprio material experimental, deve lembrar que o tamanho da bússola é importante nesta experiência.

5. Exercícios de aplicação

E2 — A extremidade norte. Se a Terra tem propriedades semelhantes a um ímã de barra, o pólo magnético norte da Terra deve estar próximo ao pólo sul geográfico.

E3 — Antes de ligar o fio à pilha, a agulha da bússola indica a direção N—S da Terra em qualquer um dos pontos **B**, **C** ou **D** em que ela seja colocada. Quando o fio é ligado à pilha, a agulha assume uma direção aproximadamente ortogonal ao fio. Nesta situação, conforme o sentido da corrente, a agulha da bússola pode girar de 90° , 180° ou mesmo não se movimentar. Este é o motivo pelo qual a agulha da bússola deve estar apontando inicialmente para o fio.

E7 — Na 1ª edição de Eletromagnetismo, não estão marcados os pólos nos ímãs. O professor, nesse caso, deve indicá-los.

8. Sugestões para discussão com os alunos

As sugestões que seguem podem ser colocadas na forma de questões abertas a todos os alunos no momento em que o assunto estiver sendo tratado. O professor pode utilizar estas questões quando perceber interesse por parte dos alunos ou como recurso para motivação.

P1 — O que acontece com a bússola de um avião que sobrevoa o pólo sul da Terra?

Comentário:

Esta questão poderá ser retomada e mais bem aproveitada no capítulo 3, quando o aluno tiver formado o conceito de linha de campo.

Analisar as linhas de campo magnético nos pólos terrestres pode dar a resposta.

Neste ponto, com os conhecimentos dados no capítulo 1, os alunos poderiam simular o que ocorre colocando a bússola próxima do pólo de um ímã que representaria a Terra. Para tornar mais concreto o problema, o ímã poderia ser encerrado em uma bola de isopor.

P2 — Suponham que vocês sejam soldados de uma patrulha de reconhecimento andando na mata à noite e que tenham que ir para o norte. Normalmente a patrulha tem um homem-facão que abre o caminho e um homem-bússola (muito folgado, que não carrega armamento). O homem-bússola indica a direção norte e o homem-facão abre caminho até uns 7 metros à frente e pára; o resto da patrulha o alcança e assim sucessivamente. Por que o homem-bússola não carrega armamento? Por que tanto trabalho, se o homem-facão poderia abrir caminho e carregar a bússola?

Comentário:

Esta questão procura mostrar a importância de se trabalhar com um instrumento levando em conta as condições externas que influem no seu funcionamento. A inexistência de material magnético (ferro, por exemplo) nas proximidades da experiência é fundamental para que se façam observações corretas com a bússola.

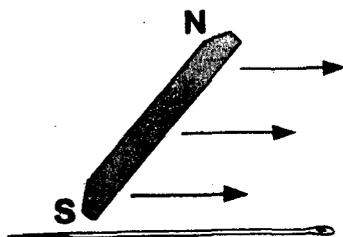


figura C

P3 — Por que na experiência do solenóide é sugerido arrumar o suporte antes de ligar a pilha, de forma que a agulha da bússola aponte em uma direção perpendicular ao eixo do solenóide?

Comentário:

Esta questão é útil para mostrar que o arranjo da experiência pode melhorar a observação a ser feita, agora que os alunos conhecem o resultado da experiência com o solenóide.

9. Sugestões para outras experiências

a) Construção de uma bússola:

O material sugerido a seguir pode substituir a bússola ou ser apresentado aos alunos como complementar.

Material:

1 tampa de ampola de injeção (1 cm de altura) que pode ser obtida em qualquer farmácia.

1 agulha, lâmina de barbear, pedaço de clipe ou pedaço de fio de aço.

1 alfinete de cabeça.

1 tampa de plástico de vidro de remédio (2 cm de diâmetro).

1 pedaço de papel-cartão onde se desenha a rosa-dos-ventos.

1 pedaço de fita adesiva.

A agulha (ou lâmina) é magnetizada por contato com um ímã de barra, tomando-se o cuidado de afastar o ímã da agulha, conforme mostra a figura C.

Em seguida, prende-se a agulha à ampola com fita adesiva de forma que a parte superior da ampola fique o mais próximo possível do centro da agulha (pode-se usar também a lâmina).

Finalmente, fura-se a tampa de plástico com o alfinete de forma que, quando esta estiver colocada sobre uma mesa, o alfinete ficará na vertical (figura D).

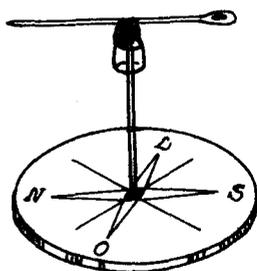


figura D

b) Algumas das experiências deste capítulo podem ser realizadas pelos alunos em casa; os alunos podem magnetizar lâminas de barbear em classe, utilizando o ímã de barra do conjunto experimental, e levá-las para casa, pois as lâminas permanecem magnetizadas por um tempo bastante grande.

Com lâminas magnetizadas, podem ser realizadas algumas experiências: por exemplo, utilizando duas lâminas magnetizadas e um prato raso com água, verificar a atração e repulsão entre elas (no caso funcionam como pequenos ímãs) e verificar que duas lâminas juntas se comportam como um único ímã.

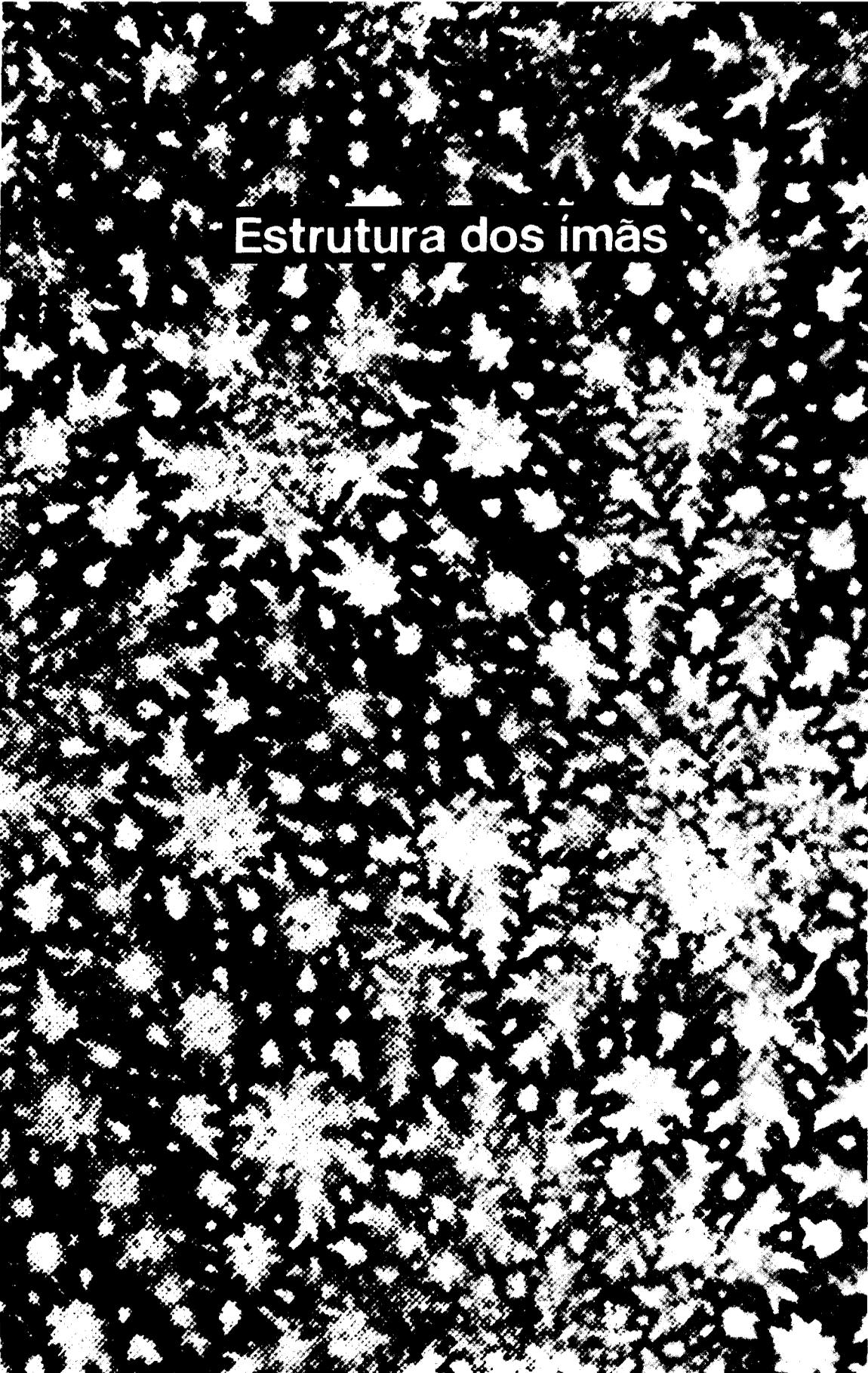
Observe que para magnetizar as lâminas procede-se da mesma forma que para magnetizar a agulha.

c) Atividade suplementar:

Caça aos objetos magnetizados em casa ou na escola (tesouras, canos, bicicletas, carros, etc.).

Após a descoberta de objetos magnetizados, pode-se propiciar uma discussão a partir da questão:

“Como saber se um objeto está magnetizado ou se é apenas ferromagnético?”



Estrutura dos ímãs

2

1. Conteúdo

Introdução – 2-1

1. Materiais magnéticos – 2-2
2. Propriedades magnéticas dos átomos – 2-2
3. Domínios magnéticos – 2-4
4. Magnetização e desmagnetização – 2-6
5. Exercícios de aplicação I – 2-8
6. Outras formas de desmagnetizar – 2-9
7. Ímãs e eletroímãs – 2-12
8. Exercícios de aplicação II – 2-13
9. Magnetismo da Terra 2-14

Leitura suplementar:

A deriva dos continentes e os materiais magnéticos (Igor Gil Pacca – IAGUSP) – 2-18

2. Objetivos do capítulo

No final do capítulo o aluno deve interpretar as propriedades magnéticas dos ímãs usando o modelo atômico e o modelo dos domínios magnéticos.

Especificamente, o aluno deve:

- a) Reconhecer experimentalmente materiais magnéticos e não-magnéticos.
- b) Aplicar o modelo de domínios magnéticos para explicar a existência de materiais magnéticos e não-magnéticos.
- c) Descrever a magnetização e desmagnetização em termos de orientação dos domínios magnéticos do objeto.
- d) Descrever o que ocorre com os domínios magnéticos de um objeto quando ele é colocado em um campo magnético externo; quando é golpeado; quando é aquecido.
- e) Definir temperatura de Curie e interpretá-la em termos do modelo atômico da matéria.

3. Pré-requisitos

Para este capítulo serão necessárias noções de estrutura da matéria, ao nível do capítulo 1 de Eletricidade do PEF.

4. Número de aulas previstas

- a) Para o texto principal: 3
- b) Para a avaliação: 1
- c) Para o texto optativo e suplementar: 2

5. Sugestões para avaliação

É conveniente fazer uma prova ao final do capítulo 2 para verificar se os objetivos do capítulo foram alcançados. As questões dessa prova devem estar ao nível dos exercícios de aplicação.

Os exercícios se relacionam com os objetivos do capítulo da seguinte forma:

- Objetivo a: E2 e E3
Objetivo b: E1 e E4
Objetivos c e d: E5, E6, E7, E11 e E12
Objetivo e: E8, E10, E11 e E13

A seguir, apresentamos duas questões diferentes das que estão no texto e que se referem aos objetivos do capítulo. Essas questões poderão ser utilizadas para avaliação ou para discussão em classe.

Objetivos c, d e e:

P1 – Suponha que você faça a seguinte experiência: aqueça um pedaço de níquel-cromo até a temperatura de 4000°C , na presença de um ímã. Quando ele estiver bem quente, você afaste o Ni-Cr da chama e do ímã e o leve até uma torneira com água corrente, resfriando-o rapidamente. Depois disso, você espera que o níquel-cromo esteja magnetizado? Justifique sua resposta descrevendo o que ocorre com os domínios magnéticos do material.

Comentário:

Esta questão deve levar o aluno a perceber que acima da temperatura de Curie, que é diferente para cada material, os domínios magnéticos são destruídos. Além disso, ele deve perceber também que a existência de domínios é fundamental para haver magnetização; enquanto o material estiver quente, o campo externo do ímã poderia orientar átomos individualmente, mas a agitação térmica não permitirá a formação de domínios.

Como o material foi resfriado longe da influência do ímã, ao final da experiência não deve ter seus domínios orientados em uma direção preferencial.

Observação: Na verdade existe influência do magnetismo da Terra na hora do resfriamento; no entanto, esta interferência não é suficientemente grande para ser observada com o material disponível em classe e nas condições da experiência. Este efeito pode ser observado com rochas magnéticas: veja a leitura suplementar deste capítulo.

Objetivo e:

P2 – Suponha que você aqueça um pedaço de disprósio (temperatura de Curie: -168°C) e depois o deixe esfriar na presença de um ímã até a temperatura ambiente. O que acontece quando você aproxima esse pedaço de disprósio de uma bússola? Por quê?

Comentário:

Como a temperatura ambiente é maior que -168°C o material não apresentará magnetização; pois acima da temperatura de Curie os domínios magnéticos são destruídos.

6. Bibliografia

Os textos de mesmo nível do curso secundário, em geral, não tratam deste assunto.

Em nível de curso básico universitário, sugerimos os seguintes textos:

1 – BEISER, A. **Conceitos de física moderna**. Trad. Gita K. Ghinsberg. São Paulo, Polígono, 1969.

As partes 2 e 3 deste texto trazem muitos detalhes sobre estrutura da matéria; este assunto é pré-requisito para o capítulo, embora deva ser tratado com menos profundidade.

2 – BERKELEY. **Curso de física**. São Paulo, E. Blücher; Brasília, INL, 1973. v. 2.
Na página 365, trata de materiais ferromagnéticos.

3 – FEYNMAN, R. P. **Física**. Trad. Carlos Alberto Heras e Juan Martin y Marfil. Bogotá, Fondo Educativo Interamericano, 1971. v. 2.

O capítulo 34 discute com profundidade o diamagnetismo e o paramagnetismo.

O capítulo 37 trata de materiais magnéticos, descrevendo em detalhe o ferromagnetismo.

4 – RESNICK, R. & HALLIDAY, D. **Física**. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1965. v. 2.

Na página 1.039 e seguintes, o texto trata de materiais magnéticos, dando detalhes de paramagnetismo e diamagnetismo.

Na página 1.050, trata de domínios magnéticos e tem algumas fotos e esquemas mostrando as paredes limites.

7. Comentários sobre o texto

O capítulo 2 não é pré-requisito para os demais, apesar de na seção 3 do capítulo 3 se mencionar domínios magnéticos. É suficiente que o aluno saiba que os ímãs são constituídos de pequenas regiões magnetizadas chamadas domínios e que, quando a maioria desses domínios estão orientados predominantemente em uma direção, o ímã como um todo apresenta-se magnetizado.

O material usado no capítulo 2 é o seguinte:

1 m de fio de cobre (nº 18), fio de Ni-Cr (nº 40),
1 pedaço de vela de 4 cm de altura, 1 lâmina de Ni-Cr,
1 prego, 1 pilha, 2 fios de ligação com jacarés,
1 barrinha de latão, 1 barrinha de alumínio.

Vários materiais podem ser utilizados nas experiências sobre materiais magnéticos e não-magnéticos. Entretanto, as experiências de magnetização e desmagnetização necessitam do níquel-cromo. A barrinha de níquel-cromo pode ser encontrada no comércio e suas dimensões não necessitam ser rigorosamente as do material original. O critério para a escolha do níquel-cromo é o resultado que se obtém nas experiências descritas no texto.

Introdução

Novamente, como no capítulo 1, são apresentados os objetivos do capítulo. Seria conveniente que os alunos localizassem e sublinhassem esses objetivos.

1. Materiais magnéticos e 2. Propriedades magnéticas dos átomos

Os materiais que interessam ao curso são os **ferromagnéticos**. O texto se refere a materiais magnéticos subentendendo somente os ferromagnéticos; no entanto, o aluno pode se interessar em saber alguma coisa mais sobre os materiais magnéticos.

Informações adicionais sobre o assunto são encontradas nos comentários da bibliografia sugerida. O professor poderá apresentar uma classificação um pouco mais detalhada, subdividindo os materiais em ferromagnéticos, paramagnéticos e diamagnéticos.

O paramagnetismo corresponde a um efeito magnético bastante fraco pois os átomos de materiais paramagnéticos, apesar de apresentarem efeitos magnéticos isoladamente, não se agrupam em domínios magnéticos.

O diamagnetismo é um efeito magnético que aparece em todos os átomos mas que é bastante fraco e, em geral, mascarado quando o material é ferromagnético ou paramagnético. O diamagnetismo só poderá ser explicado depois do conceito de indução eletromagnética que será visto no capítulo 5.

3. Domínios magnéticos e 4. Magnetização e desmagnetização

Quando os alunos terminarem de responder a questão 7, seria conveniente um debate. Assim se teria uma visão geral do assunto tratado.

Esse debate seria levado nos seguinte sentido: os átomos de muitos elementos têm direções norte-sul magnéticas bem deter-

minadas. Apesar disso, amostras desses materiais, longe da influência de um ímã, não apresentam propriedades magnéticas pois à temperatura ambiente esses átomos se orientam ao acaso.

No entanto, alguns elementos como **Fe, Ni e Co** são ferromagnéticos à temperatura ambiente, ou seja, os átomos desses materiais se alinham em regiões que chamamos domínios magnéticos.

Quando os domínios tiverem orientações quaisquer, não aparecem efeitos magnéticos na amostra do material e quando os domínios tiverem orientações aproximadamente iguais os efeitos se somam; assim, o material se apresenta magnetizado. Dependendo do material, isto pode ocorrer de forma permanente como nos ímãs; para um prego, entretanto, os domínios se orientam na presença do ímã e quando afastamos o ímã eles novamente se distribuem ao acaso; portanto, o material como um todo perde ou diminui sua magnetização.

5. Exercícios de aplicação I

E1 – Somente os materiais ferromagnéticos apresentam domínios ou regiões onde grande número de átomos tem a mesma orientação e os efeitos magnéticos nesses casos são grandemente intensificados.

Na presença de um ímã, os outros materiais apresentam em cada instante apenas alguns de seus átomos orientados. Enquanto novos átomos tendem a se orientar, outros são desorientados devido à agitação térmica, não havendo efeitos resultantes significativos a ponto de serem observados com a bússola; portanto, para que um material apresente propriedades magnéticas observáveis no laboratório deste curso, é necessário que apresente domínios magnéticos.

E6 – No caso **a** aparecem pólos magnéticos porque os domínios magnéticos se alinham conforme o ímã.

No caso **b** o material não é ferromagnético e portanto não possui domínios que possam se orientar, não se observando pólos magnéticos.

6. Outras formas de desmagnetizar

Q14 – Por que o fio que suspende o níquel-cromo fica inclinado, fora da vertical?

Comentário:

O Ni-Cr é atraído pelo ímã. Como não há movimento, a soma vetorial das forças peso (\vec{P}), força de atração provocada pelo ímã (\vec{F}) e tração do fio (\vec{T}), é nula, conforme mostra a figura E. Nessa situação a posição do fio é inclinada em relação à vertical.

Q19 – A que você atribui o fato da atração do ímã pelo níquel-cromo desaparecer quando esse último é aquecido?

Comentário:

Com o aquecimento acima da temperatura de Curie os domínios magnéticos são destruídos e, conseqüentemente, a força de atração provocada pelo ímã diminui muito: com essa diminuição, o Ni-Cr tende a executar o movimento de um pêndulo amortecido. No entanto, durante esse movimento o material esfria e os domínios são novamente restaurados **pois o resfriamento se dá**

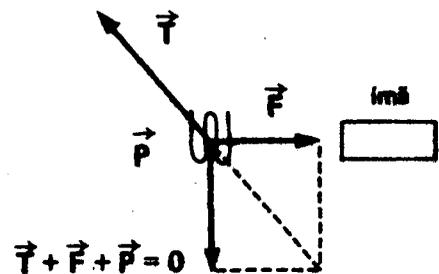


figura E

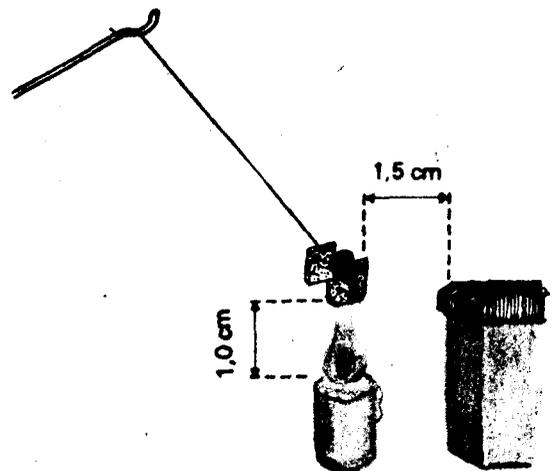


figura F

na presença de um ímã. Como os domínios se orientam, o Ni-Cr retorna a sua posição inicial e é novamente aquecido a uma temperatura superior à temperatura de Curie.

Observe que na tabela 1, na página 2-11, disprosio, gadolínio, níquel, ferro e cobalto são elementos químicos enquanto que níquel-cromo é uma liga e magnetita é um mineral de ferro (Fe_3O_4).

Os materiais acima são ferromagnéticos para temperaturas inferiores às indicadas na tabela 1. O fato de um material se apresentar como ferromagnético depende da sua estrutura, pois a existência ou não de domínios magnéticos depende do arranjo dos átomos ou íons na rede cristalina. Por esta razão, aparece uma influência grande da temperatura.

Acima da temperatura de Curie o movimento dos átomos ou íons não permite a formação dos domínios e o material então apresenta propriedades paramagnéticas, pois alguns dos átomos, pelo menos, são individualmente magnéticos.

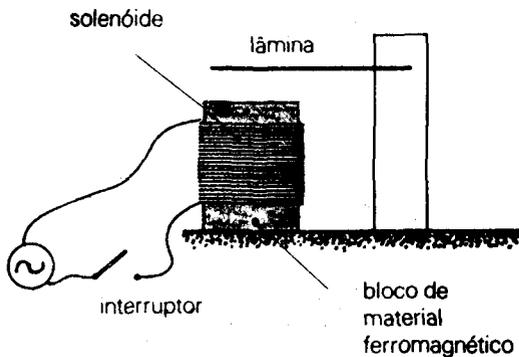


figura G

Experiência de desmagnetização do Ni-Cr

A montagem desta experiência é diferente da que aparece na figura 10 do texto. A montagem correta é a que aparece na introdução deste Guia e no folheto que acompanha o conjunto experimental.

Para que o pedaço de Ni-Cr execute um movimento periódico, será aconselhável que a geometria da experiência seja aproximadamente a da figura F.

Deve-se tomar o cuidado de não aquecer o ímã de barra (vide comentário da Q19).

7. Ímãs e eletroímãs

Uma seção curta caracterizando ímãs e eletroímãs. Não apresenta problemas para o trabalho do aluno.

8. Exercícios de aplicação II

São questões simples e diretas cujas respostas estão no próprio texto.

9. Magnetismo da Terra (texto optativo)

Uma leitura que pretende ser motivadora para o aluno. Apresenta uma explicação moderna sobre o magnetismo terrestre.

8. Sugestões para discussão com os alunos

Suponha que se dispõe de um dispositivo como a da figura G, que consta de:

- lâmina flexível de material ferromagnético
- bloco fixo de material ferromagnético
- solenóide percorrido por corrente alternada, ou seja, a corrente muda de sentido várias vezes por segundo.
- interruptor

O que acontece quando ligamos o interruptor?

Comentário:

O dispositivo funciona como um eletroímã. Quando a corrente tem um sentido, a lâmina é atraída; logo em seguida, a corrente se inverte e, durante essa mudança, a lâmina volta a sua posição inicial. Quando a corrente se inverte novamente, o bloco é

magnetizado e atrai a lâmina outra vez: assim, a lâmina executa um movimento oscilatório. Este movimento produz som e ao dispositivo se dá o nome de campainha ou cigarra.

Este dispositivo poderá também ser montado pelos alunos que puderem conseguir o material necessário.

9. Sugestões para outras experiências

Um modelo de domínios magnéticos

Objetivo:

Verificar experimentalmente que as propriedades magnéticas de um ímã podem ser entendidas como o somatório dos efeitos de pequenos domínios orientados e que, quando desorientamos esses domínios (efeito da temperatura ou choque), o ímã como um todo perde suas propriedades magnéticas.

Material:

1 caixa de limalhas (ou frasco de vidro com limalhas)
1 bússola, 1 ímã de barra

Execução:

Coloque próximo do ímã de barra o frasco de limalhas, deitado na posição horizontal, com o lado paralelo ao eixo do ímã. Afaste rapidamente o ímã de forma que a limalha não perca totalmente a sua magnetização.

Verifique com a bússola se ainda existem vestígios dos pólos magnéticos criados pelo ímã.

Agite o frasco de forma que as limalhas tomem agora qualquer orientação.

Verifique com a bússola o que aconteceu.

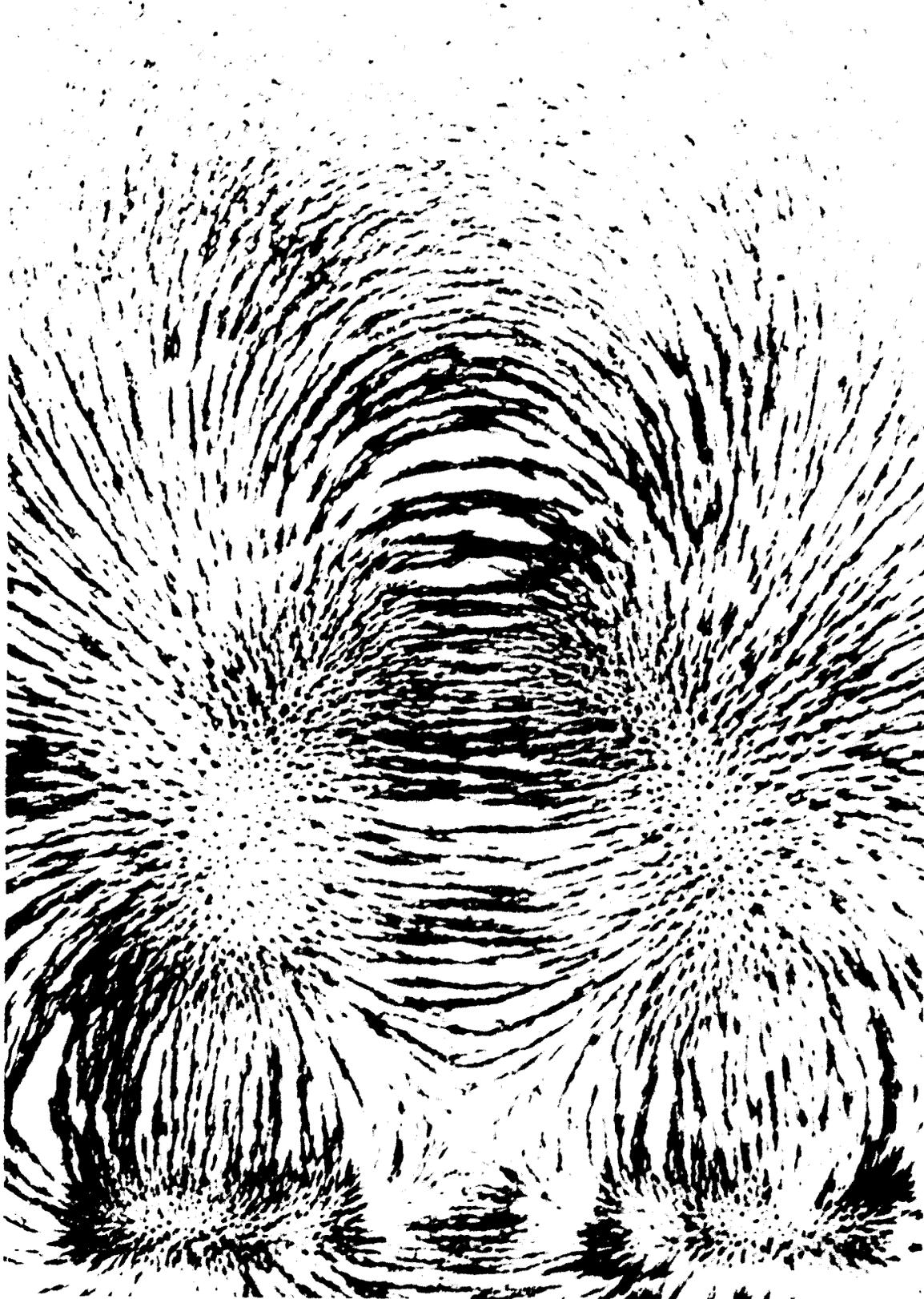
Questão: Qual a relação entre esta experiência e as experiências de desmagnetização que você realizou (choque mecânico, aquecimento)?

Comentário:

Cada pedaço da limalha pode ser interpretado como um domínio magnético e o fato de agitar o frasco pode ser interpretado como a **agitação térmica** que desorganiza as orientações dos domínios. No entanto, é bom chamar a atenção que este arranjo é um **modelo** e que cada pedacinho de ferro pode ter, na verdade, muitos domínios; em geral, os domínios magnéticos são muito menores do que os pedaços de ferro da limalha.

O campo magnético

3



1. Conteúdo

Introdução – 3.1

1. Campo magnético criado por ímãs – 3-1
2. Linhas de campo – 3-5
3. Superposição de campos – 3-5
4. Vetor indução magnética – 3-6
5. Campos produzidos por correntes – Lei de Ampère – 3-8
6. Exercícios de aplicação – 3-13

Leitura suplementar:

Campos magnéticos do Universo (J. A. de Freitas Pacheco – IAGUSP) – 3-18

2. Objetivos do capítulo

O objetivo geral é o estudo dos efeitos magnéticos através do conceito de campo magnético.

Especificamente, o aluno deve ser capaz de:

- a) Desenhar a configuração do campo magnético em uma região, usando uma bússola ou limalha de ferro.
- b) Dada a configuração das linhas de campo em uma região, marcar a direção que a agulha da bússola assumiria em um dado ponto.
- c) Representar a configuração de linhas do campo resultante de associação de dois ímãs de barra em várias posições.
- d) Determinar a direção e o sentido do vetor indução magnética em um ponto próximo a um fio retilíneo, conhecido o sentido da corrente no fio.
- e) Calcular a intensidade de \vec{B} em um ponto próximo a um fio retilíneo a partir de $B2\pi d = Ci$.
- f) Enumerar as condições em que é válida a relação $Bd = Ci$

3. Pré-requisitos

- Representar vetores usando uma escala para os módulos.
- Somar vetores.
- Traçar a tangente a uma curva.
- Capítulo 1 do Eletromagnetismo – PEF.

4. Número de aulas previstas

- a) Para o texto principal: 6
- b) Para a avaliação: 1
- c) Para o texto optativo e suplementar: 1

5. Sugestões para avaliação

Como nos outros capítulos, uma prova com questões ao nível dos exercícios de aplicação deve verificar se os objetivos foram alcançados.

Os exercícios de aplicação estão ligados aos objetivos da seguinte forma:

- Objetivo **a**: E1 e E2
Objetivo **b**: E8, E9 e E10
Objetivo **c**: E5, E6 e E7
Objetivo **d**: E4, E5, E6, E7 e E8
Objetivo **e**: E3, E4, E9 e E10

Caso o professor utilize desenhos ou esquemas nas provas ou nas aulas deve tomar alguns cuidados.

Por exemplo, a questão: “Qual a direção e o sentido do campo magnético no centro da espira circular da figura H?”

O aluno poderá responder que a orientação do campo é para a direita ou para a esquerda ao longo do eixo. As duas respostas

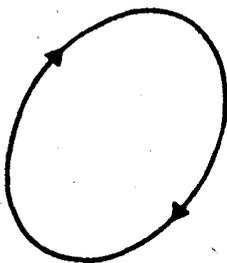


figura H

estarão corretas pois o desenho pode ter duas interpretações: pode-se ver a corrente percorrendo a espira no sentido horário ou no anti-horário, cada uma correspondendo a uma percepção visual.

Para evitar este tipo de problema, as figuras devem estar sempre acompanhadas de planos ou referências. A figura H da questão acima poderia ser trocada pela figura I.

Este é o principal motivo de se usar fotografias no texto de Eletromagnetismo. Problemas semelhantes também ocorrem na maioria das figuras representadas em perspectiva cavaleira sem uma outra referência.

6. Bibliografia

1 – ALVARENGA, B. G. de & LUZ, A. M. R. da. **Física**. 2. ed. Belo Horizonte, B. Alvares, 1969, v. 3.

Na página 135, o texto faz uma aplicação da Lei de Ampère, calculando o campo magnético da Terra.

2 – BERKELEY. **Curso de física**. São Paulo, E. Blücher; Brasília, INL, 1973, v. 2.

Nos capítulos 5 e 6 o campo magnético é tratado de maneira bastante profunda. A interligação entre campo elétrico e magnético é discutida, considerando cargas elétricas paradas ou em movimento.

3 – FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO DO ENSINO DE CIÊNCIAS. **Descobrimos a bússola**: conjunto experimental. São Paulo, FUNBEC. (Eletricidade Mirim)

4 – FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO DO ENSINO DE CIÊNCIAS. **Gilbert**: conjunto experimental. São Paulo, Abril, FUNBEC. (Os Cientistas).

5 – PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE. **Física**. 6. ed. São Paulo, EDART, 1970, v. 4.

Na página 98, o campo magnético e a superposição de campos são tratados de forma bastante física; o caráter vetorial do campo é visto geometricamente.

6 – RESNICK, R. & HALLIDAY, D. **Física**. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1965, v. 2.

O capítulo 33 trata do campo magnético.

O capítulo 34 trata da Lei de Ampère e traz muitas aplicações.

7. Comentários sobre o texto

O material utilizado no capítulo é o seguinte:

1 suporte

1 metro de fio de cobre nº 19

1 pilha

2 fios de ligação

1 porta-pilhas

2 ímãs de barra

1 bússola

limalha de ferro

A caixa que contém o material experimental permite trabalhar com a limalha de ferro dentro da tampa; para isto deve-se

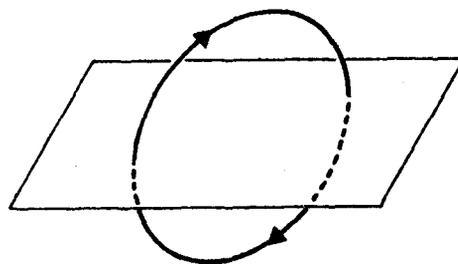


figura I

forrar a tampa com uma folha de papel onde se possa traçar as linhas do campo. O ímã pode ficar fora, sob a tampa.

O material necessário para este capítulo pode ser facilmente substituído. A característica importante dos fios condutores a ser mantida é a resistência baixa, o que permite a passagem de correntes elétricas altas; só assim o campo magnético será observável com limalhas de ferro. Este é o motivo pelo qual a pilha estraga em pouco tempo, devendo ser substituída.

Introdução

O início do capítulo 3 procura levar o aluno a reconhecer a existência ou não de um campo magnético em um determinado ponto de uma região do espaço, sem procurar, no entanto, definir precisamente campo magnético. No final deste capítulo, é suficiente que o aluno tenha idéia da configuração do campo e saiba representá-lo usando linhas de campo.

1. Campo magnético criado por ímãs

O aluno verifica a interação entre um ímã e uma bússola e relaciona a direção da agulha com o campo magnético do ímã.

2. Linhas de campo

Seria aconselhável que os alunos resolvessem o exercício E1, logo após a questão 6. O professor deve complementar a questão pedindo também a orientação das linhas de campo em torno de todo o ímã. Neste caso, eles obteriam uma configuração como a indicada na figura J.

Q4 — Que relação existe entre as direções que você traçou com a bússola e estas linhas obtidas com limalha?

Comentário:

A direção assumida pela agulha da bússola é tangente à linha de campo no ponto considerado. No caso do ímã de barra, o campo resultante observável por meio da bússola ou da limalha é ligeiramente deformado pelo campo da Terra; no entanto, próximo do ímã de barra o campo produzido pelo próprio ímã é muito mais intenso que o campo da Terra. O campo produzido pelo ímã em um ponto distante aproximadamente 20 cm de si é da mesma ordem de grandeza do campo da Terra.

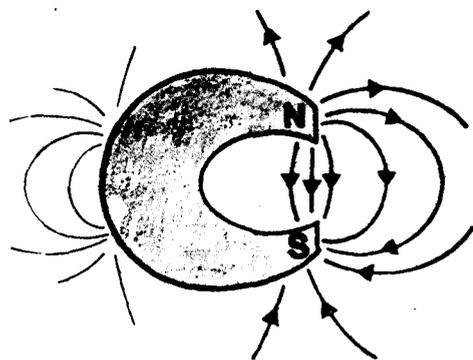


figura J

3. Superposição de campos

Introdução ao vetor campo magnético. Discute a superposição de campos para justificar a introdução de vetores.

4. Vetor indução magnética

Depois da questão 12, onde o aluno já sabe representar o vetor indução magnética (\vec{B}) em um ponto, o professor pode provocar um debate para caracterizar bem o campo magnético em uma região.

O debate deve ser dirigido de forma que os alunos percebam que o vetor indução magnética representa uma propriedade de um ponto, enquanto o conjunto de todos os vetores indução magnética em uma região do espaço representa o campo magnético.

Caso os alunos não saibam traçar tangentes, esse é um bom momento para o professor mostrar como tracá-las; pode aproveitar a situação e mostrar que as tangentes traçadas serão ortogonais ao fio.

5. Campos produzidos por correntes

É importante que o aluno saiba utilizar a regra da mão direita de maneira eficiente, pois ela será utilizada em outras situações, por exemplo, o campo produzido por uma espira, por um solenóide, etc.

É conveniente que o professor refaça a dedução de $B2\pi d = Ci$, válida para pontos próximos a um fio retilíneo percorrido por corrente, chamando a atenção para o fato de que $C_1 = \frac{C}{2\pi}$ é constante e que pode ser determinado experimentalmente.

É objetivo do texto que o aluno conheça e aplique o caso particular da lei de Ampère expresso pela relação (1).

A parte do texto que trata da lei de Ampère, de forma geral, pode ser considerada optativa, apesar de não ser apresentada em tipo menor, como o costume; o aluno não vai utilizar durante o curso a relação $\sum_{j=1}^n B_j \Delta l_j = Ci$, nesta forma.

Errata: R15 (página 3-14)

R15 — Como a corrente i é constante, temos que $B_1 d_1 = Ci$ no primeiro ponto e $B_2 d_2 = Ci$ no segundo ponto; logo $B_1 d_1 = B_2 d_2 \rightarrow 2 \text{ Tesla} \times 1 \text{ cm} = B_2 \times 3 \text{ cm} \rightarrow B_2 = \frac{2}{3} \text{ Tesla} = 0,7 \text{ Tesla}$. A direção de \vec{B}_2 é ortogonal ao fio no ponto P_2 . Observe que a resposta 0,666... T deve ser dada como 0,7 Tesla, usando os algarismos significativos corretos. A escala usada é de 1 cm: 1 Tesla, nesse caso o vetor \vec{B}_2 fica representado conforme a figura L.

Errata: R16 (página 3-14)

R16 — É conveniente expressar a resposta em termos da razão $\frac{B_1(x)}{B_2(x)} = 3$ ou $\frac{B_2(x)}{B_1(x)} = \frac{1}{3}$, lembrando que a razão é um número sem unidades.

6. Exercícios de aplicação

E1 — Este exercício pode ser ampliado conforme está descrito no início dessa seção (comentários sobre o texto), onde se pede também a orientação das linhas de campo.

E3 — Para resolver este exercício o aluno utilizará a regra da mão direita que dá o sentido das linhas de campo. A partir do sentido das linhas de campo se obtém o sentido do vetor indução magnética em cada ponto.

E4 — Dificilmente o aluno poderá resolver satisfatoriamente o exercício E4, apenas usando os dados do problema. Apesar de o

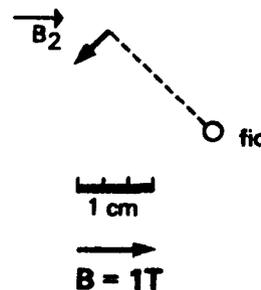


figura L

ponto **C** se encontrar mais próximo do fio, no ponto **E** existe superposição dos campos produzidos por cada pedacinho da espira, o que torna o campo total no ponto **E** maior. A sugestão que cabe aqui é eliminar o ponto **C** do exercício e comparar a intensidade do campo nos pontos **E** e **F**. Neste caso haverá uma intensidade maior do campo magnético no ponto **E**, devido à maior proximidade do centro da espira.

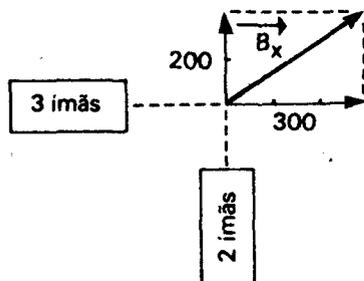


figura M

E7 — É necessário ressaltar no enunciado do problema que B_0 é a intensidade do campo produzido a 2 cm de cada ímã, segundo a direção norte-sul do ímã. É necessário ressaltar também que B_0 é um valor arbitrário e que se pode utilizar uma escala qualquer para representá-lo, por exemplo $1 \text{ cm} = 1 B_0$. Assim, o esquema vetorial fica como na figura M.

Somando os vetores:

$$B_x^2 = (2 B_0)^2 + (3 B_0)^2 = 4 B_0^2 + 9 B_0^2 = 13 B_0^2 \rightarrow B_x =$$

$$= \sqrt{13} B_0$$

E9 — Caso os alunos tenham dificuldades, o professor pode propor problemas semelhantes mudando a geometria e lembrando que uma corrente de 1 ampère em um fio retilíneo provoca o aparecimento de um vetor indução magnética de módulo $2 \times 10^{-3} \text{ T}$, à distância de um metro ao fio. Um problema semelhante seria:



figura N

A figura N representa esquematicamente um fio retilíneo perpendicular ao papel percorrido por uma corrente que está entrando no papel. Sabendo que no ponto **X** o valor é de 10^{-2} T , qual o módulo, a direção e o sentido do vetor indução magnética no ponto **Y**?

8. Sugestões para discussão com os alunos

O professor poderá propor o seguinte problema:

Um aluno arranjou uma bússola velha, mas tão velha, a coitada, que não aparece mais a rosa-dos-ventos. Esse aluno diz aos colegas do grupo que, estando ainda magnetizada a agulha, a bússola pode ser usada durante o curso sem nenhum problema. Outro aluno do grupo diz que a bússola nesse estado não serve para fazer as experiências mostradas nas figuras 4 e 6.

Quem está com a razão?

Comentário:

O objetivo desta questão é lembrar que a rosa-dos-ventos não vai ser utilizada durante as experiências; aliás, em texto anterior já foi dada a sugestão de substituir a bússola por um alfinete magnetizado. No entanto, como nas fotografias 4 e 6 as direções N-S da rosa-dos-ventos coincidem com a direção N-S da bússola, pode haver alguma confusão.

9. Sugestões para outras experiências

Se houver tempo e material disponíveis o professor pode preparar uma experiência reunindo experiências anteriores, o que normalmente motiva bastante os alunos.

Material:

Uma placa de isopor de aproximadamente 15cm x 15cm x 2 cm, papel-cartão de mesmo tamanho da placa e dois ímãs de barra (os ímãs que acompanham o conjunto experimental se prestam bem à experiência).

Com uma gilete são feitos buracos do tamanho dos ímãs no isopor, conforme, por exemplo, uma das disposições indicadas na figura 0.

Os ímãs são introduzidos nos buracos e o papel-cartão é colado de forma a escondê-los.

O aluno ou o grupo recebe a placa acompanhada das instruções:

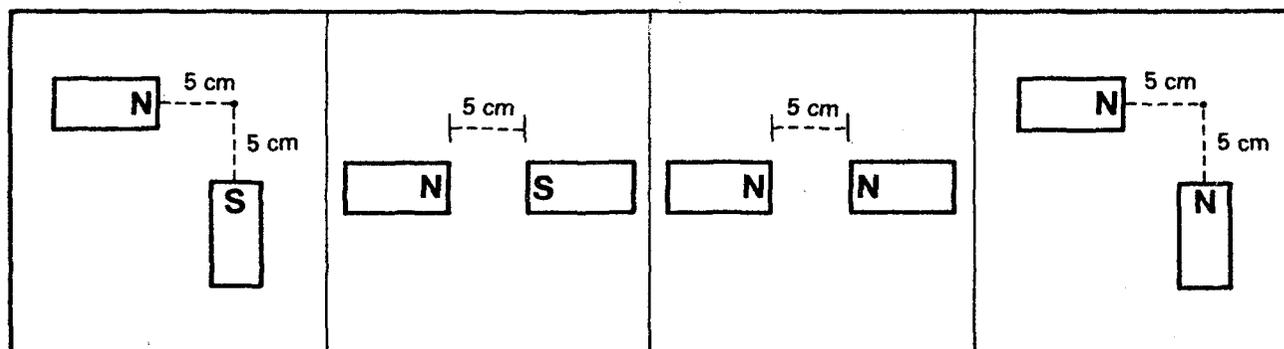
Dentro deste "plano" existem ímãs de barra colocados em várias posições.

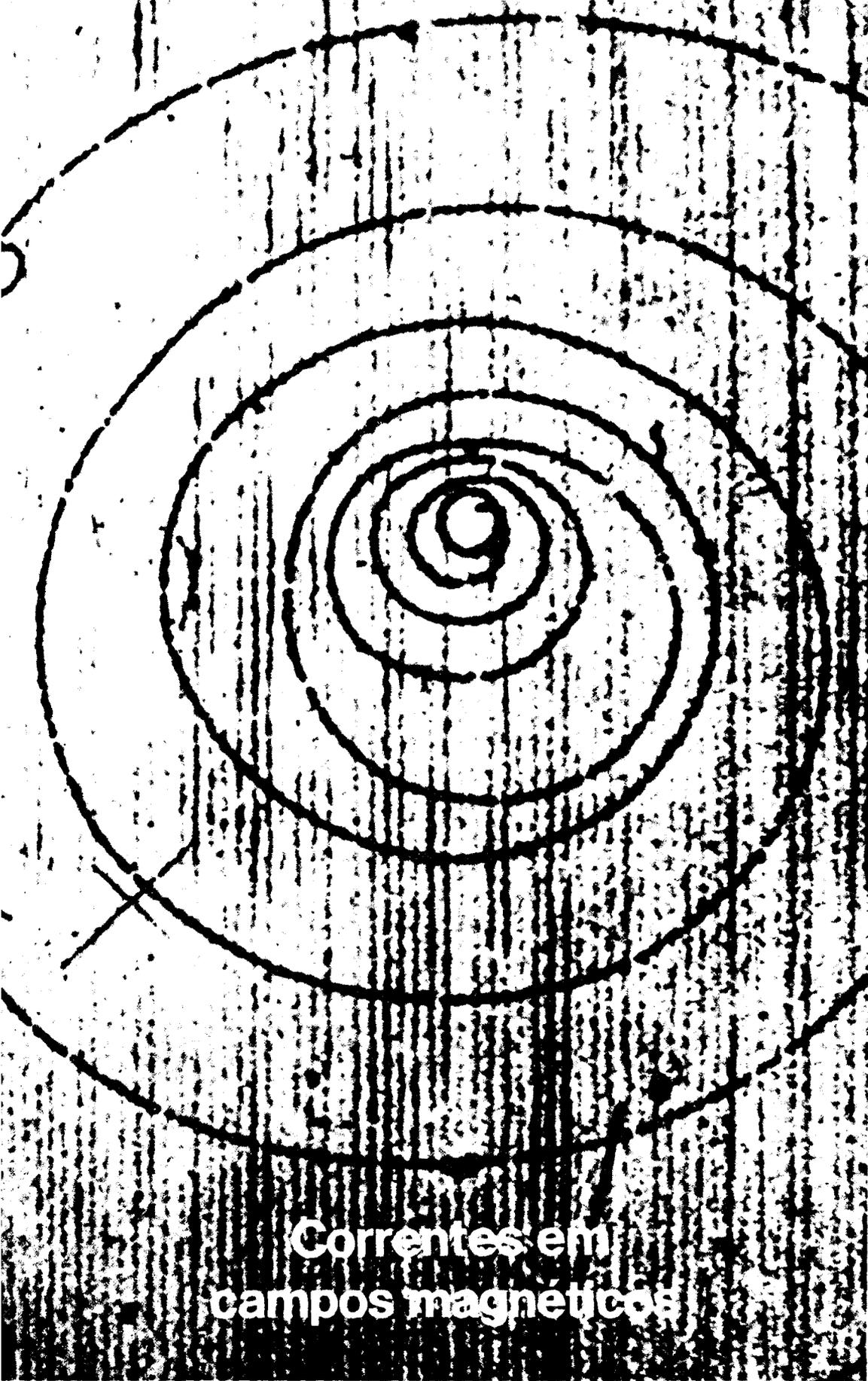
Coloque uma folha de papel sobre plano na qual você pode desenhar e descubra quantos ímãs existem, quais suas posições relativas e onde estão os pontos N e S.

Uma discussão posterior poderia versar sobre o plano de trabalho dos alunos ou sobre como se tira conclusões ou se levanta hipóteses a partir de efeitos ou medidas indiretas, etc.

Durante a experiência o professor pode verificar se os alunos utilizam linhas de campo. Caso o professor queira explorar o assunto linhas de campo, pode pedir que seja representado o vetor indução magnética em um ponto do plano, por exemplo, o ponto central (esta pode ser a única instrução dada aos alunos).

figura 0





Correntes em
campos magnéticos

1. Conteúdo

Introdução – 4-1

1. Força sobre um condutor retilíneo – 4-1
2. Intensidade da força – 4-5
3. Definição da unidade de \vec{B} – 4-6
4. Intensidade da força sobre condutores, em função do ângulo – 4-6
5. Cargas elétricas em movimento num campo magnético – 4-8
6. Exercícios de aplicação I – 4-10
7. Intensidade da força sobre cargas, em função do ângulo (texto optativo) – 4-12
8. Espira num campo magnético (texto optativo) – 4-14
9. Força entre dois condutores paralelos (texto optativo) – 4-17
10. Exercícios de aplicação II (texto optativo) – 4-19

Leitura complementar:

Experiências de Ampère (José Goldemberg – IFUSP) – 4-20

2. Objetivos do capítulo

No final do capítulo 4, o aluno deve saber calcular a força que aparece em um fio condutor percorrido por corrente quando colocado em um campo magnético. Deve também ser capaz de explicar o aparecimento dessa força em termos da ação do campo magnético sobre as cargas elétricas em movimento dentro do fio.

De forma mais específica, o aluno deve ser capaz de:

- a) Identificar experimentalmente a direção e o sentido da força sobre um fio retilíneo percorrido por corrente e imerso em um campo magnético uniforme, perpendicular ao fio.
- b) Calcular a força magnética que aparece em um fio percorrido por corrente e imerso em um campo magnético uniforme, perpendicular ao fio.
- c) Utilizar de forma adequada a **regra da mão direita** que determina as orientações relativas da força, do campo e da corrente em um fio.
- d) Calcular a força quando o fio retilíneo percorrido por corrente forma um ângulo θ com o campo magnético.
- e) Calcular o módulo, direção e sentido da força sobre uma carga em movimento em um campo magnético uniforme.
- f) Identificar as condições geométricas para as quais a força magnética é máxima ou mínima.

As seções 7, 8 e 9 são optativas e tem os seguintes objetivos:

- g) Calcular a força magnética sobre uma carga em movimento com velocidade que forma um ângulo θ com o campo magnético.
- h) Descrever o movimento de uma espira percorrida por corrente quando imersa em um campo magnético uniforme.
- i) Calcular a força magnética em cada lado de uma espira quadrada imersa em um campo magnético e a força resultante sobre a espira.
- j) Calcular o torque resultante sobre essa espira e relacioná-lo com o movimento da espira.
- k) Reconhecer a interação entre dois fios percorridos por corrente e calcular as forças que aparecem em cada um deles.

Observações:

A seção 8 é pré-requisito para a primeira parte do capítulo 6

que descreve a montagem e o funcionamento do motor. Sendo atingida esta parte do capítulo 4, os alunos terão condições de passar para a parte do capítulo 6 que trata do motor elétrico, se o professor desejar.

A leitura suplementar deste capítulo pode apresentar dificuldades para o aluno que não estudar as seções 7, 8 e 9.

3. Pré-requisitos

- Capítulos 1, 2 e 3 de Eletromagnetismo.
- Corrente elétrica, sua definição e interpretação microscópica.
- Alguns conceitos de Geometria – retas perpendiculares a planos e eixos triortogonais.
- Conceito de torque (para as seções 7, 8 e 9). O aluno deve trabalhar com o torque como um conceito que está ligado à rotação que uma força pode produzir em relação a um eixo fixo. O cálculo do torque é dado como informação no próprio texto e não precisa ser tratado com maior profundidade.

4. Número de aulas previstas

- a) Para o texto principal: 8
- b) Para a avaliação: 1
- c) Para o texto optativo e suplementar: 3

5. Sugestões para avaliação

A avaliação deve ser planejada de forma a verificar se os objetivos foram alcançados ao nível dos exercícios de aplicação.

Os exercícios se relacionam com os objetivos da seguinte maneira:

- Objetivo a: E1
- Objetivo b: E3 e E4
- Objetivo c: E2
- Objetivo d: E5 e E6
- Objetivo e: E8, E9, E10 e E11
- Objetivo f: E7
- Objetivos h e i: E14
- Objetivo j: E12 e E13
- Objetivo k: E15, E16 e E17

6. Bibliografia

- 1 – BERKELEY, Curso de Física. São Paulo: E. Blücher, Brasília, (Br), 1973, v. 2.

O capítulo 6 trata, de maneira sucinta, da força entre condutores, as propriedades do campo magnético são apresentadas através de um formalismo matemático complexo demais para o curso secundário, mas que pode ser útil para o professor.

- 2 – FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO DO ENSINO DE CIÊNCIAS. **Como funciona o eletroímã:** conjunto experimental. São Paulo, FUNBEC. (Eletricidade – Mirim).

- 3 – PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE. Física. 6. ed. São Paulo, EDART, 1970, v. 4.

Na página 109, o texto descreve com clareza a regra da mão direita.

Na página 114 e seguintes, o texto discute forças entre condutores e forças sobre cargas elétricas em campos magnéticos. Além disso, contém material interessante para complementar o PEF, por exemplo, na página 119 – Utilização de Campos Magnéticos para medir Massas de partículas carregadas.

7. Comentários sobre o texto

Para as experiências deste capítulo será utilizado o seguinte material:

- 1 ímã em forma de ferradura
- 1 arruela de ferro para apoio do ímã em forma de ferradura
- 2 ímãs de barra
- 2 suportes de material condutor
- 1 mesa de trabalho (placa com duas fendas)
- 1 pilha (com porta-pilhas)
- 2 fios de ligação (com jacarés)
- 1 U de latão
- 1 espira retangular

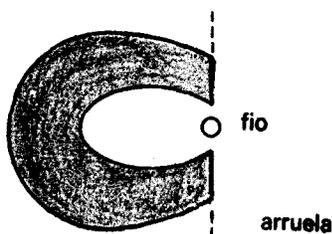


figura P

Para a montagem da mesa de trabalho e construção da espira e do condutor de latão em forma de U, veja a introdução do Guia.

O ímã em forma de ferradura deve ser apoiado na arruela de tal modo que o fio de latão passe entre seus polos, como mostra a figura P.

O ímã em forma de ferradura pode ser substituído por um arranjo com os dois ímãs de barra. Um pedacinho de madeira, ou uma caixa de fósforos, pode servir para amarrar os dois ímãs de barra de modo que fiquem paralelos e com os polos livres distanciados de aproximadamente 2 cm. Veja a figura Q.

O campo magnético criado por este arranjo é aproximadamente igual ao do ímã em forma de ferradura e pode ser considerado uniforme na região em que será colocado o condutor de latão.

Para a experiência com a espira quadrada devem ser providenciados suportes para os ímãs de barra (servem caixas de fósforos). A altura desses suportes deve ser tal que os ímãs fiquem aproximadamente no plano da espira, conforme mostra a figura R. Desta forma se consegue um campo razoavelmente uniforme e intenso na região da espira.

A montagem da experiência deve ser feita sobre os suportes metálicos que aparecem em uma figura do Guia (pág. 186) ou do folheto que acompanha o material experimental.

Observações:

- a) Os jacarés devem ser colocados do lado oposto ao ímã em forma de ferradura para evitar que sejam atraídos pelo ímã e modifiquem a geometria da experiência durante o trabalho.
- b) Para que a mesa de trabalho não se desloque durante a experiência podem ser colocados dentro da caixa alguns objetos pesados, mas que **não sejam ferromagnéticos**. Uma mesa de trabalho bem fixa facilita a execução da experiência.

Introdução

São apresentados os objetivos gerais do capítulo 4. Este é um bom momento para se fazer um resumo dos resultados experimentais obtidos nos capítulos anteriores, especialmente nos capítulos 1 e 3.

1. Força sobre um condutor retilíneo

O trabalho dos alunos neste capítulo necessita da montagem de dois dispositivos. Aqui será necessário montar um dispositivo de material condutor contendo um trecho reto (U de latão). Veja na introdução deste Guia indicações para a montagem. O folheto

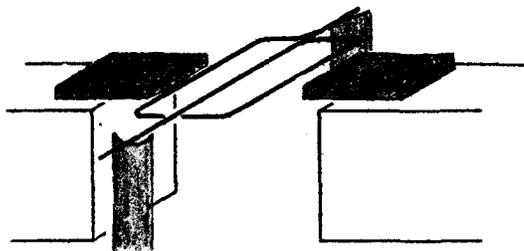


figura R

que acompanha o material experimental contém indicações de montagem para os alunos.

Os alunos montarão a experiência com o dispositivo de latão em forma de U. Esta é a primeira vez em que eles utilizarão os contatos de cobre, portanto devem tomar o cuidado de lixar estes contatos, bem como as extremidades do dispositivo de latão. Um bom resultado experimental depende essencialmente do cuidado nessa preparação.

Parte do material que consta do conjunto experimental não é exatamente o que aparece nas ilustrações do texto.

Os suportes metálicos condutores que aparecem nas figuras do texto foram substituídos por duas peças de latão que devem ser encaixadas nas fendas da prancha (veja a introdução).

Assim que os alunos terminarem de responder a questão 11, é conveniente que retomem a figura 6 e, com o auxílio da mão direita (também pode ser a esquerda), verifiquem que as orientações de \vec{F} , \vec{B} e \vec{l} nas situações **a**, **b** e **c** são equivalentes. Neste ponto, o professor deve lembrar que olhar simplesmente as figuras pode levar a enganos e que é conveniente utilizar os dedos como se estes indicassem os vetores \vec{F} , \vec{B} e \vec{l} .

O professor e os alunos devem adotar a mesma convenção para as orientações de \vec{F} , \vec{B} e \vec{v} .

Caso o professor utilize figuras e desenhos nas provas, deve tomar o cuidado de verificar se estes não têm dupla interpretação; as representações em 3 dimensões podem produzir confusões e estas representações são bastante freqüentes neste capítulo.

Para representar vetores perpendiculares ao plano do papel o texto usa os seguintes sinais convencionais:

⊙ no caso do vetor "sair" do plano; ⊗ no caso do vetor "entrar" no plano.

É bastante importante que os alunos já estejam familiarizados com estes sinais antes de uma prova para que a avaliação não seja prejudicada por seu desconhecimento.

2. Intensidade da força

Q13 — De que forma você espera que **F** varie com **i** ?

R13 — **F** deve variar proporcionalmente à corrente **i**, pois verificou-se experimentalmente que $\frac{F}{i\ell B} = \text{constante}$.

Escrevendo-se esta expressão de outra forma, obtém-se:

$$F = k\ell Bi$$

Para um dado comprimento do fio imerso em um campo magnético constante, o produto $k\ell B$ é constante; portanto, $F = Ki$ ou **F** é diretamente proporcional a **i**.

3. Definição da unidade de \vec{B}

Q15 — Determine a força que age sobre um condutor de 0,2m, pelo qual flui uma corrente de 0,3A, quando colocado num campo magnético uniforme de intensidade igual a 2T, perpendicularmente às linhas de campo.

R15 — Na 1ª edição de Eletromagnetismo, a resposta a esta questão não está dada no texto e há uma confusão com a resposta da **Q16**. A correção é a seguinte:

$$F = i\ell B = 0,3 \times 0,2 \times 2 = 0,12N$$

figura S1

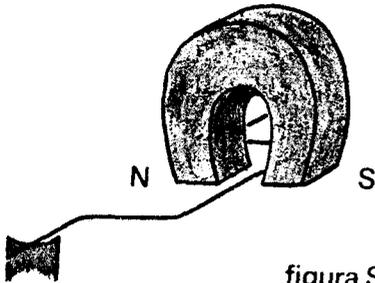
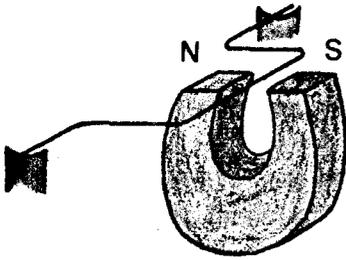


figura S2

Q16 – Determine a intensidade do campo magnético necessário para equilibrar o condutor AB da figura. Seu comprimento é 0,1m e ele é percorrido por uma corrente igual a 1,5A. O campo gravitacional produz em AB uma força de 0,8N. Em que posição deve ser colocado um ímã em forma de ferradura para que se obtenha esse equilíbrio?

Na 1ª edição de Eletromagnetismo, não existe resposta impressa para a questão **16**. Observe que o cálculo apresentado na **R16** corresponde na verdade à resposta da questão **15**.

A resposta correta é a seguinte:

$$P = F = i\ell B \rightarrow P = 0,8 = 1,5 \times 0,1 \times B \rightarrow B = \frac{0,8N}{1,5 \times 0,1Am} = B \cong 5,3 \text{ Tesla na direção indicada na figura S1.}$$

O ímã em forma de ferradura também pode ser colocado, por exemplo, na posição indicada na figura S2.

4. Intensidade da força sobre condutores em função do ângulo

Na expressão $F = i\ell B \sin\theta$, para $\theta \neq \pi/2$, $\vec{\ell}$ e \vec{B} não são mais perpendiculares, mas \vec{F} continua sendo perpendicular tanto a $\vec{\ell}$ como a \vec{B} , ou seja, \vec{F} é sempre perpendicular ao plano determinado por $\vec{\ell}$ e \vec{B} , qualquer que seja o ângulo entre eles.

Desta forma pode-se utilizar a regra da mão direita para determinar a direção e sentido de \vec{F} .

5. Cargas elétricas em movimento num campo magnético

A expressão $F = qvB$ é análoga a $F = i\ell B$ e a regra da mão direita utilizada até agora continua aplicável, bastando trocar ℓ por v . No entanto, esta é a convenção para **cargas positivas**; caso se queira a força sobre cargas negativas, deve-se utilizar a mesma regra e inverter o sentido da força no final.

O aluno deve estar ciente deste fato para que não faça confusões ou fique inventando regras adicionais.

6. Exercícios de aplicação I

- E3** – Na última parte deste exercício o aluno compara o valor da força sobre o fio com a força-peso de um grão de feijão. É interessante que o professor leve os alunos a fazerem comparações desse tipo para dar melhor idéia de ordem de grandeza; este recurso pode ser explorado em outros exercícios.
- E4** – Se o novo campo tiver a metade da intensidade do campo anterior, a força será a metade da anterior, ou seja, $F = 1 \times 10^{-3} \text{ N}$. Daí, para manter constante a força sobre o condutor, em qualquer uma das regiões, é necessário duplicar o valor da corrente no momento em que o condutor mudar de região.
- E5** – O campo \vec{B} e a corrente i são constantes, no entanto o ângulo θ entre eles varia senoidalmente; isto implica que a força $F = i\ell B \sin\theta$ também varia, tendo valor máximo para $\theta = 90^\circ$ e mínimo para $\theta = 0, =$
- E6** – É interessante discutir a resposta deste exercício com os alunos porque em geral não fica claro que a direção e o

sentido da força não se alteram. É conveniente lembrar também que, no caso da rotação, no instante em que a força é nula, a velocidade não o é, a menos que o fio seja abandonado nessa posição.

- E7** — A força sobre uma carga elétrica em um campo magnético é dada por $\mathbf{F} = q\mathbf{vB} \sin\theta$, portanto existirá força sempre que $v \neq 0$ e $\theta \neq 0 + 2\pi n$ onde n é um inteiro qualquer. O início do capítulo dá a informação necessária para a resposta, mas a partir das informações do item 7 é que a resposta pode ficar mais clara, com a análise algébrica da equação em função do ângulo.
- E9** — Vale a pena discutir o problema com os alunos mostrando que a inversão da velocidade não restitui o caminho de volta. Veja também os problemas 10 e 11.

7. Intensidade da força sobre cargas em função do ângulo

8. Espira num campo magnético

9. Força entre dois condutores paralelos e

10. Exercícios de aplicação II

As seções 7, 8, 9 e 10 são optativas. No entanto, a seção 7 é uma generalização para o movimento de cargas em campos magnéticos. Se o aluno estiver familiarizado com as funções **seno** e **co-seno** e se conhece bem a decomposição de vetores, esta seção não apresenta dificuldades.

A seção 8 facilita o entendimento do motor apresentado na primeira parte do capítulo 6; portanto, se o professor, por falta de tempo, não tratar as seções 7, 8 e 9, deverá voltar a esta parte quando for tratar do motor.

A seção 9 não é pré-requisito para a continuidade do curso e, caso não haja tempo, pode ser suprimida ou, pelo menos, discutida de forma a se analisar quantitativamente os resultados experimentais.

Os exercícios que constam da seção 10 referem-se especificamente à parte optativa. São, em geral, aplicações diretas do conteúdo tratado no texto e não oferecem dificuldades para os alunos que estudaram as seções 7, 8 e 9.

8. Sugestões para discussão com os alunos

Baseado nos resultados de experiências anteriores, o professor poderá discutir com a classe as seguintes questões:

- P1** — Que tipo de movimento apresentaria uma carga elétrica lançada com velocidade v ao longo do eixo de um solenóide percorrido por corrente?

Comentário:

Nos capítulos anteriores verificou-se que o campo produzido por um solenóide ao longo do seu eixo é paralelo ao eixo. Portanto, a velocidade da carga tem direção paralela ao eixo e não sofre a influência de força magnética.

Caso tenha sido discutida a seção 7, esta conclusão pode ser obtida a partir de $\mathbf{F} = q\mathbf{vB} \sin\theta$, pois $\theta = 0$ ou π , resultando em $\sin\theta = 0$ e $\mathbf{F} = 0$.

- P2** — Que movimento apresentaria uma pequena espira colocada no centro de um grande solenóide, ambos percorridos por corrente? Existe alguma semelhança com uma bússola colocada no lugar da espira?

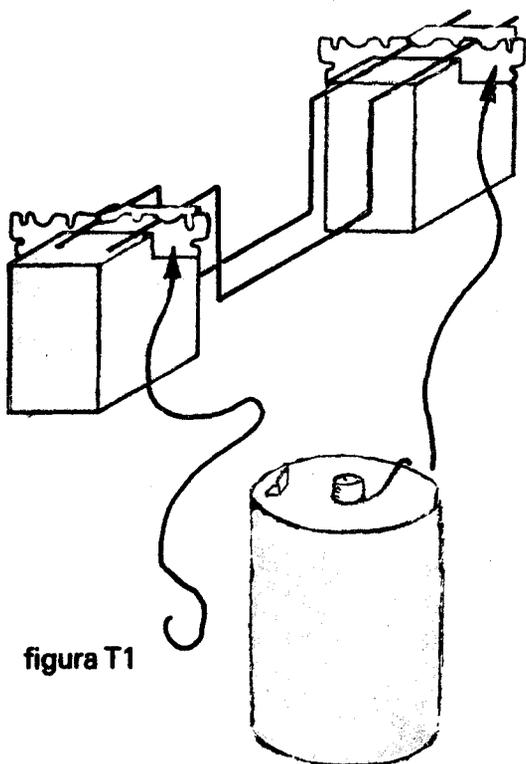


figura T1

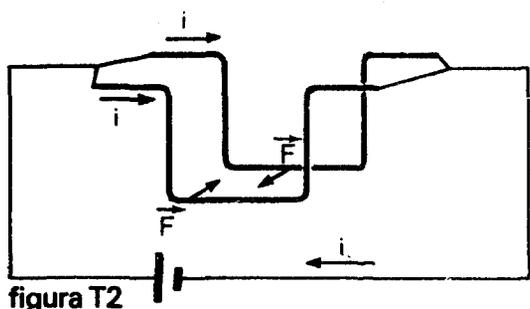


figura T2

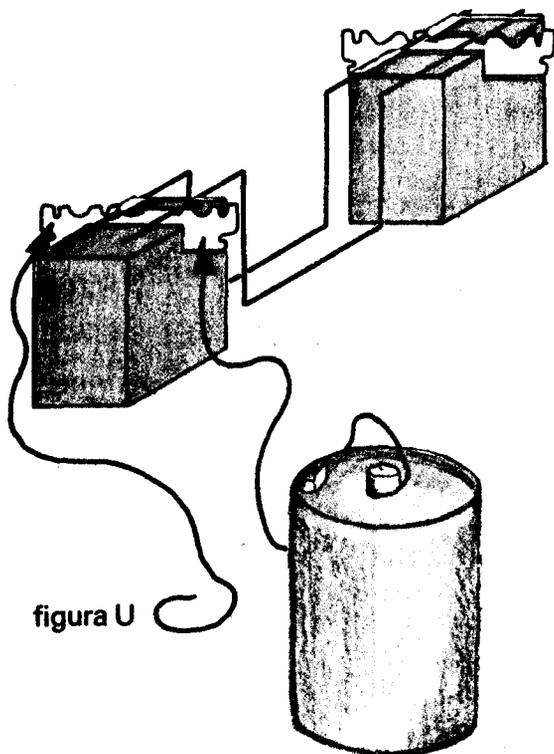


figura U

Comentário:

Nesta questão não foi determinada a posição da espira em relação ao solenóide. Isto pode possibilitar ao professor orientar uma discussão com o grupo de forma a reunir as soluções dadas pelos alunos a partir de posições particulares da espira.

Se o solenóide tiver dimensões bem maiores que a espira, podemos dizer que o campo magnético, na região onde a espira é colocada, é uniforme.

Se a espira estiver perpendicular às linhas de campo do solenóide, o torque é zero e ela não girará. Para chegar a este resultado basta subdividir a espira em pequenos trechos percorridos por corrente e determinar a força que agirá sobre cada trecho.

Se a espira estiver paralela às linhas de campo, ela girará até a posição em que fique perpendicular às linhas de campo.

P3 — Compare a situação da questão acima com a de uma bússola colocada no lugar da espira.

Determinada a direção N-S do campo da espira, a identificação com a agulha da bússola fica clara. A agulha da bússola tende a se alinhar com o campo, indicando que apareceu um torque sobre a agulha da bússola em relação ao eixo de sustentação.

Os movimentos da espira são os mesmos da agulha da bússola. No caso da bússola aparecerá a situação em que ocorre equilíbrio instável. Este caso corresponde ao alinhamento das direções N-S do solenóide e da espira, com os dois nortes coincidindo.

O torque resultante é zero mas uma pequena rotação da espira provoca um giro de 180° .

9. Sugestões para outras experiências

Força entre dois condutores paralelos

O material do conjunto experimental permite a montagem de um dispositivo para tratar de forma qualitativa a experiência de Ampère. Para isso será necessário obter uma pilha capaz de fornecer maior corrente do que as utilizadas no curso; por exemplo, uma pilha de telefone ou uma bateria de automóvel.

O material necessário é o seguinte: 2 condutores em forma de U, uma lâmina de barbear, fios de ligação e 1 pilha de telefone.

Monte os dois condutores em U, que foram construídos para o trabalho deste capítulo, sobre suportes metálicos como mostra a figura T1. Os suportes são pedaços da lâmina encaixados em madeira. A distância entre os dois condutores deverá ser aproximadamente 3 milímetros.

Ligue os fios de ligação aos extremos de cada suporte e a um dos pólos da pilha, deixando uma das pontas sem ligar à pilha. Ajuste bem as posições dos suportes e condutores, fazendo com que fiquem paralelos, e espere até que eles fiquem parados, em equilíbrio.

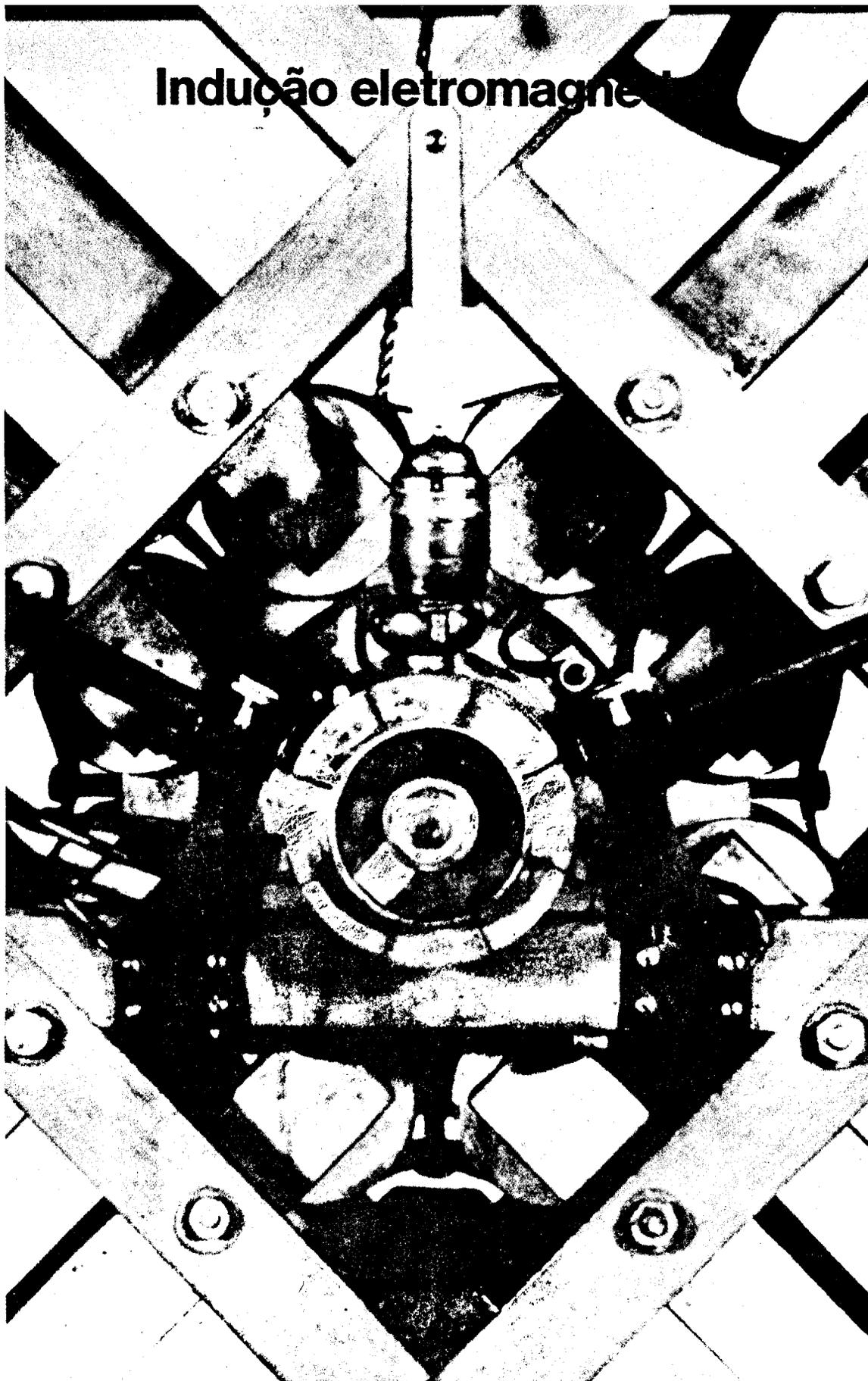
Fazendo contatos rápidos da ponta que estava desligada, com a pilha, é possível notar que os condutores se atraem.

A corrente circula no mesmo sentido através dos dois condutores paralelos (veja a figura T2), o que produz uma força de atração entre eles.

Também pode ser feita uma experiência em que as correntes fluem em sentidos opostos, produzindo uma força de repulsão entre os condutores; veja o esquema na figura U.

Indução eletromagnética

5



1. Conteúdo

Introdução — 5-1

1. Corrente induzida — 5-1
2. Indução de corrente num condutor — 5-4
3. Indução pela variação da quantidade de campo — 5-7
4. Fluxo de indução magnética — 5-8
5. Variação do fluxo magnético pelo movimento — 5-8
6. Variação do fluxo magnético por campos variáveis — 5-9
7. Sentido da corrente induzida — Lei de Lenz — 5-12
8. A criação do campo elétrico — 5-14
9. Exercícios de aplicação — 5-15

Leitura suplementar:

- Michael Faraday (R. Kondo) — 5-21
O bétatron (Giorgio Moscati) — 5-26

2. Objetivos do capítulo

- a) Identificar as condições em que é induzida corrente elétrica em um fio condutor.
- b) Explicar, do ponto de vista microscópico, a corrente induzida em um fio que se move em um campo magnético.
- c) Calcular a tensão induzida no fio em termos de ℓ , \mathbf{v} e \mathbf{B} .
- d) Calcular a corrente induzida que aparece em um condutor a partir de \mathbf{v} , ℓ , \mathbf{B} e \mathbf{R} .
- e) Distinguir, entre várias condições de campo magnético, aquelas em que aparece corrente induzida numa espira.
- f) Definir fluxo magnético através de uma espira.
- g) Calcular a variação do fluxo magnético através de uma espira e relacioná-la com a corrente induzida.
- h) Identificar o sentido da corrente induzida (aplicar a Lei de Lenz).
- i) Enumerar as possíveis formas de alterar o fluxo magnético através de uma espira.
- j) Aplicar a lei de conservação de energia para fenômenos de indução eletromagnética.

3. Pré-requisitos

- Campo elétrico
- Diferença de potencial
- Corrente elétrica
- Força elétrica sobre uma carga em um campo elétrico
- Lei de Ohm
- Efeito Joule
- Conservação de energia
- Sistemas isolados e não-isolados

4. Número de aulas previstas

- a) Para o texto principal: 8
- b) Para a avaliação: 1
- c) Para o texto optativo e suplementar: 2

5. Sugestões para avaliação

Os exercícios de aplicação estão relacionados aos objetivos do capítulo da seguinte maneira:

- E1: objetivo a
E2: objetivos c e h
E3: objetivos c, e, f e g

- E4: objetivos **b, c e e**
- E5: objetivos **h e d**
- E6, E7 e E8: objetivo **f**
- E9: objetivos **h e f**
- E10: objetivos **d, f e g**
- E11: objetivos **c, f e g**
- E12: objetivos **c, d, f e g**
- E13: objetivos **e e f**



É fundamental verificar se o aluno entende que a simples existência de um campo magnético na região onde se situa o circuito **não é** suficiente para o aparecimento de uma corrente induzida, mas sim que a corrente induzida está diretamente relacionada com a variação do fluxo magnético, seja pela variação do campo magnético ou pela variação da área da espira dentro do campo magnético.

Para verificar tais conceitos, o professor pode recorrer à descrição de uma situação experimental (ou simulação de uma experiência) em que os alunos devem indicar a existência ou não da corrente induzida e o respectivo sentido de percurso no circuito.

6. Bibliografia

- 1 – ALVARENGA, B. G. de & LUZ, A. M. R. da. **Física**. 2. ed. Belo Horizonte, B. Alvares, 1969. v. 3.

Este texto tem ilustrações interessantes e que podem ser úteis no entendimento do conceito de indução.

- 2 – BERKELEY. **Curso de física**. São Paulo, E. Blücher; Brasília, INL, 1973. v. 2.

A indução eletromagnética está discutida no capítulo 7. O formalismo matemático é complexo demais para o aluno do curso secundário; para o professor, entretanto, é uma boa referência se quiser adquirir uma visão melhor do assunto.

- 3 – FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO DO ENSINO DE CIÊNCIAS. **Faraday**: conjunto experimental. São Paulo, Abril [s.d.]. (Os Cientistas).

- 4 – PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE. **Física**. 6. ed. São Paulo, EDART, 1970. v. 4.

Na página 128 e seguintes é discutida a indução eletromagnética e a f.e.m. induzida através de uma abordagem muito semelhante à do PEF.

- 5 – RESNICK, R. & HALLIDAY, D. **Física**. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1975. v. 2.

O capítulo 35 é bastante recomendado se o professor quiser aprofundar-se um pouco mais no assunto. A abordagem é bastante física e a matemática usada é simples.

7. Comentários sobre o texto

Neste capítulo é utilizado o seguinte material:

- 8 m de fio de cobre esmaltado nº 22
- 1 ímã de barra
- 1 bússola

1 núcleo de ferrite
1 bobina de fio de cobre nº 30 (carretel de plástico) enrolada com aproximadamente 400 voltas.

1. Corrente induzida

As primeiras questões que aparecem (questões 1, 2 e 3) têm um caráter diferente das outras questões apresentadas, mesmo em capítulos anteriores. Essas questões são bastante amplas e colocam o aluno em uma posição bem próxima daquela de um experimenter que precisa imaginar uma experiência, levando em conta as possibilidades de execução e o fenômeno a ser observado.

É conveniente que o professor faça neste ponto um levantamento das sugestões e respostas dos alunos. Antes de continuar a leitura do texto, pode inclusive sugerir ou coordenar um debate sobre o assunto.

Este também é o momento propício para se fazer um levantamento das experiências feitas anteriormente e lembrar quais foram os objetivos dessas experiências e como elas foram executadas.

São motivadoras para os alunos principalmente as discussões que enfatizam o caráter experimental da Física, além de servirem como revisão de assuntos anteriores.

Observe que na questão 4 é pedida uma previsão do resultado da experiência sobre indução: é interessante dar tempo para os alunos expressarem suas opiniões e discuti-las a fim de compará-las com os resultados obtidos posteriormente na experiência. Afinal, o resultado não é intuitivo e o próprio Faraday comenta este fato nos seus apontamentos (veja a leitura suplementar: **Michael Faraday** (R. Kondo).

Este tipo de discussão com os alunos enfatiza, mais uma vez, o caráter experimental da Física.

Na execução da experiência sobre indução o aluno vai manipular várias vezes o que o texto chama de bobinas I e II. Para evitar problemas as bobinas podem ser numeradas utilizando-se um pedaço de fita adesiva, sendo conveniente que toda a classe utilize a mesma convenção.

Lembramos aqui que se deve verificar se a pilha está boa e substituí-la, se for o caso. Os contatos também devem ser verificados, para se obter bons resultados.

Na primeira experiência de indução, o professor deve prevenir os alunos que a bússola colocada na bobina II **não deve** estar orientada ao longo do eixo da bobina, pois, caso apareça uma corrente no fio, esta provocará um campo magnético ao longo do eixo da bobina.

Na segunda experiência de indução, o professor pode informar aos alunos que basta enrolar 6 voltas de fio sobre a bobina do carretel de plástico: desta forma eles não encontrarão dificuldades para introduzir as peças de ferrite no carretel. Além disso, será bom prevenir os alunos para que não forcem a entrada das peças de ferrite no carretel, pois essas peças são bastante frágeis e não suportarão muita pressão.

2. Indução de corrente num condutor e

3. Indução pela variação da quantidade de campo

Na discussão sobre o movimento dos elétrons no condutor é utilizado o conceito de campo elétrico desenvolvido na Eletricidade. O professor pode fazer uma breve recapitulação sobre campo elétrico sem, no entanto, se estender muito, para não quebrar a seqüência do texto.

Se os alunos desconhecem o assunto, o professor pode definir campo elétrico a partir da força elétrica entre cargas elétricas, bastando para o entendimento do texto que se interprete a relação $\vec{E} = \vec{F}/q$. Nesse caso será útil que os alunos revejam o capítulo 2 de Eletricidade do PEF.

A observação acima também se aplica para o conceito de diferença de potencial, sendo suficiente a interpretação da relação $\Delta v = Ed$ ao longo de um circuito. No caso da Lei de Ohm, basta que os alunos façam uma interpretação clara da relação $V = RI$.

Nessa seção não é conveniente que o professor mencione ou defina o fluxo magnético, pois é preferível que os alunos interpretem o fenômeno de indução em termos da densidade de linhas de campo e se acostumem cedo com essa idéia. O conceito de fluxo será introduzido mais explicitamente na seção seguinte.

4. Fluxo de indução magnética e 5. Variação do fluxo magnético pelo movimento

É bastante conveniente que os alunos (ou o professor) compreendam a demonstração matemática que aparece nesta seção, discutindo as passagens e substituições envolvidas. É conveniente também que o professor exemplifique com um exercício ou peça para os alunos resolverem um exercício neste momento (ver Exercícios de Aplicação no texto).

6. Variação do fluxo magnético por campos variáveis

Ao final da seção 6 se comenta que a expressão $V = \Delta\phi/\Delta t$ é de validade geral. Se o professor dispuser de tempo, deve mostrar que esta relação explica o resultado obtido na primeira experiência de indução vista no início do capítulo.

7. Sentido da corrente induzida

A leitura da seção 7 só deve ser realizada se os alunos conhecem o princípio de conservação de energia ou se o professor, utilizando material suplementar, suprir este pré-requisito. Satisfeitas essas condições, os alunos podem ler e discutir o texto que tem como papel central a análise da figura 13.

É conveniente que a figura 13 seja reproduzida no quadro e que o sistema físico representado pela espira e o ímã seja bem delimitado. Neste ponto cabe uma discussão sobre o que significa sistema isolado, não-isolado, forças internas e externas ao sistema que são conceitos indispensáveis para uma aplicação correta do princípio de conservação de energia.

Se os alunos não estão acostumados a utilizar o princípio de conservação de energia e se o professor não julgar conveniente tratar o assunto com profundidade nesta altura do curso pode dar como informação o enunciado da Lei de Lenz:

Se o fluxo magnético, através de uma espira, aumentar ou diminuir, a corrente induzida tem um sentido tal que o campo magnético criado por ela tende a conservar constante o fluxo magnético inicial através da espira.

Vejamos um exemplo que ilustra a aplicação da Lei de Lenz: Uma espira penetra com velocidade \vec{u} em uma região onde existe um campo magnético \vec{B} de forma que \vec{u} é perpendicular a \vec{B} conforme mostra a figura V1.

figura VI

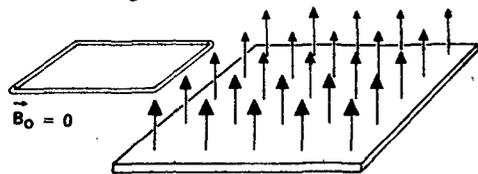


figura V2

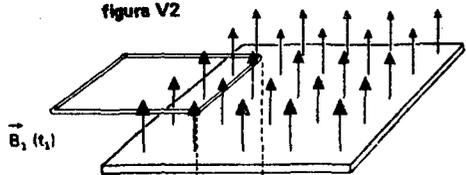
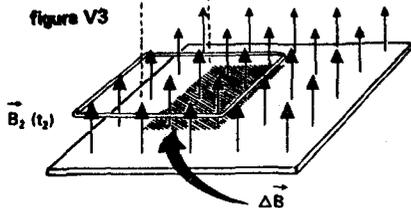


figura V3



Evidentemente, antes da espira entrar na região marcada na figura, o campo \vec{B}_0 que atravessa a espira é nulo. Quando a espira começa a entrar na região de campo magnético (veja a figura V2) o campo total que atravessa a espira em um instante t , depende da área da espira que está dentro da região onde existe campo e pode ser representado por um vetor $\vec{B}_1(t_1)$.

Quando a espira estiver quase totalmente dentro da região de campo, pode observar-se que o campo total que atravessa a espira aumentou (figura V3) e pode ser representado por $\vec{B}_2(t_2)$.

Para verificar que houve um aumento no campo total que atravessa a espira, enquanto ela penetrou na região de campo, basta calcular $\Delta\vec{B}$ ou seja $\vec{B}_2 - \vec{B}_1$, que também é um vetor apontado para cima.

A Lei de Lenz estabelece que o fluxo inicial, através da espira, tende a permanecer constante. Para tanto, é necessário que apareça uma corrente induzida que provoque um campo $-\Delta\vec{B}$.

Resta agora saber qual o sentido da corrente induzida que provoca este campo $-\Delta\vec{B}$, cujo sentido é para baixo. Pela regra da mão direita (veja a figura X), corresponde ao sentido horário.

8. A criação do campo elétrico

A conclusão e fechamento do curso. Procura mostrar a relação estreita entre Magnetismo e Eletricidade, através da unificação dos campos elétrico e magnético.

9. Exercícios de aplicação

E2 — Observe no item c que o campo magnético produzido pela corrente induzida (\vec{B}_L) tem que ser coerente com a Lei de Lenz, ou seja, o sentido de \vec{B}_L (saindo do papel) é contrário ao sentido de $\Delta\vec{B}$ (variação do campo através da espira entrando no papel):

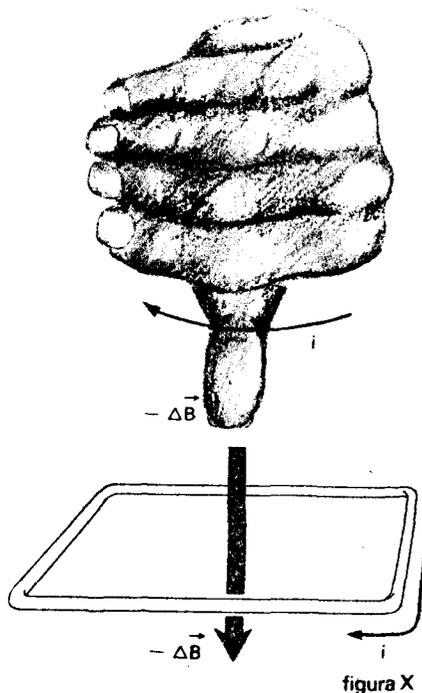
E5 — Observe no item j que a energia é despendida tanto durante a entrada da espira na região, onde existe campo, quanto na saída. Este fato é observado pelo sinal positivo do trabalho em ambas as situações e pelo fato de o trabalho total ser igual à soma dos trabalhos em cada uma das situações; isto equivale a dizer que é necessária uma força externa para introduzir a espira na região do campo e que também é necessária uma força externa para retirá-la dessa região.

E6 — Aparece corrente na espira que gira em uma região onde existe campo magnético porque varia o fluxo magnético na espira. No entanto, é bom lembrar que a espira só penetrará na região de campo magnético se girar em torno do lado **AB**. Por outro lado, a corrente induzida terá um sentido, enquanto a espira penetra na região do campo, e terá sentido contrário, enquanto sai da região do campo: dessa forma, em cada volta completa aparece corrente nos dois sentidos possíveis.

E8 — O texto não trata de corrente alternada. No entanto, é suficiente a informação de que a corrente que passa no eletroímã muda seu sentido várias vezes por segundo (por isso é **alternada**) fazendo com que seja variável o campo magnético criado por ela.

8. Sugestões para discussão com os alunos

O professor pode discutir as experiências descritas por Faraday e que estão no texto suplementar deste capítulo no artigo publicado originalmente por R. Kondo em 1953 — **Michael Faraday**.



Uma discussão sobre o assunto pode ser iniciada com a seguinte pergunta aos alunos:

“Por que Faraday ficou desapontado com o resultado da experiência em que usara o núcleo de ferro e as bobinas?”

E ainda: “Qual foi a atitude de Faraday frente ao resultado encontrado?”

Aproveitando a mesma leitura suplementar e utilizando também o texto sobre o bétatron, o professor pode coordenar uma discussão sobre o aproveitamento prático das descobertas científicas (tecnologia). Essa discussão pode ser iniciada com a seguinte pergunta:

“Quais as aplicações práticas das descobertas de Faraday?”

Nesta questão as sugestões dos alunos devem ser orientadas para se chegar à construção dos dispositivos para comunicação que foram importantes para a sociedade daquela época.

9. Sugestões para outras experiências

Na experiência de indução o professor poderá substituir o núcleo de ferrite em forma de E, que acompanha o conjunto, por um pedaço de ferrite comum de forma cilíndrica que é utilizado em rádios e facilmente encontrável no comércio.

Dependendo do material disponível, o professor poderá fazer uma variação nas experiências de indução, substituindo a lâmpada de néon por um galvanômetro para indicar a passagem de corrente. O material apresentado pela coleção **Os Cientistas** da Abril Cultural – FUNBEC também pode ser utilizado.

Aplicações do Eletromagnetismo

6



1. Conteúdo

1. Motor elétrico – 6-1
2. Medidor de corrente – 6-7
3. Transformador – 6-12

Leitura suplementar:

A tecnologia elétrica – 6-18

2. Objetivos do capítulo

No final do capítulo 6, o aluno deve conhecer o princípio de funcionamento do medidor de corrente, do motor elétrico de corrente contínua e do transformador de corrente.

Especificamente, o aluno deve ser capaz de:

1. Motor elétrico

- a) Representar as forças que aparecem em cada lado da espira quadrada.
- b) Reconhecer quais forças são responsáveis pelo movimento de rotação da espira.
- c) Identificar para que lado a espira vai girar, conhecendo o sentido da corrente, a posição da espira e o sentido de campo magnético.
- d) Explicar o funcionamento do comutador.
- e) Explicar o funcionamento do motor, descrevendo o que ocorre em uma volta completa.

2. Medidor de corrente

- a) Reconhecer a situação em que existe equilíbrio do U de latão.
- b) Analisar um esquema vetorial que representa a força resultante sobre o U de latão.
- c) Descrever qualitativamente a dependência do ângulo de deflexão com a corrente.
- d) Descrever as etapas da calibração do medidor.

3. Transformador

- a) Identificar a bobina primária e a secundária.
- b) Explicar o aumento de tensão no secundário a partir da relação entre tensão e corrente nas duas bobinas.
- c) Identificar as condições necessárias para que apareça corrente na bobina secundária. Analisar o que ocorre com $\Delta\phi/\Delta t$.
- d) Calcular a diferença de potencial na bobina secundária, conhecendo o número de espiras e a tensão aplicada.
- e) Descrever o funcionamento do transformador, utilizando o conceito de fluxo através das bobinas.

3. Pré-requisitos

O capítulo 6 está dividido em duas partes com pré-requisitos distintos.

O motor e o medidor de corrente têm como pré-requisitos essenciais o capítulo 4 e em especial as experiências: Espira num campo magnético e Força sobre um condutor retilíneo.

Portanto, dependendo do tempo disponível ou dos objetivos do professor, os alunos podem passar diretamente do capítulo 4 para a primeira parte do capítulo 6 e depois voltar ao capítulo 5.

O transformador tem como pré-requisito o capítulo 5, em especial a experiência: Variação do fluxo magnético por campos variáveis.

4. Número de aulas previstas

- a) Para o texto principal: 6
- b) Para o texto optativo e suplementar: 1
- c) Para a avaliação: nenhuma

5. Sugestões para avaliação

Este capítulo tem um caráter distinto dos capítulos anteriores pois trata dos aspectos técnicos da aplicação dos conceitos desenvolvidos em capítulos anteriores.

Não foram elaborados exercícios de aplicação que, de uma forma ou de outra, orientam os alunos e os professores na definição do nível de uma prova. De qualquer forma, uma avaliação sobre o capítulo deve verificar se os alunos atingiram os objetivos especificados; para isto o professor pode orientar-se pelas questões que constam do próprio texto, se quiser, e elaborar uma prova.

Por ser o último capítulo e constar somente de aplicações, que em geral são motivadoras para os alunos, não julgamos necessário fazer prova escrita.

A montagem dos dispositivos poderia ser considerada pelo professor como uma maneira para atribuir notas.

6. Bibliografia

- 1 – ALVARENGA, B. G. de & LUZ, A. M. R. da. **Física**. 2. ed. Belo Horizonte, B. Alvares, 1969. v. 3.
Na página 152 é descrito o funcionamento do transformador.
- 2 – FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO DO ENSINO DE CIÊNCIAS. **Faraday**: conjunto experimental. São Paulo, Abril Cultural. (Os Cientistas).
A experiência **F** – “Construindo um transformador” e a **D** – “Fabricando um Eletroímã” podem ser realizadas como aplicações dos conceitos tratados.
- 3 – ————. **Gerador elétrico**: conjunto experimental. São Paulo, FUNBEC [s.d.] (Eletricidade Mirim).
- 4 – ————. **Gilbert**: conjunto experimental. São Paulo, Abril [s.d.] (Os Cientistas).
A experiência **D** – “A bússola de inclinação magnética” utiliza conceitos estudados no capítulo 5.
- 5 – ————. **Medindo a eletricidade**: conjunto experimental. São Paulo, FUNBEC [s.d.]. (Eletricidade Mirim).
- 6 – ————. **Motor elétrico**: conjunto experimental. São Paulo, FUNBEC [s.d.] (Eletricidade Mirim).

7. Comentários sobre o texto

1. Motor elétrico

Q7 – Supondo que a espira continue em rotação, em que nova posição a corrente deverá ser invertida para que a rotação se mantenha no mesmo sentido?

Comentário:

É fundamental que todos os alunos saibam a resposta correta desta questão, pois é na inversão da corrente que se baseia to-

da a discussão seguinte. Para garantir que todos entenderam a figura 4, o professor pode coordenar uma discussão e pedir exemplos de situações análogas aos descritos no texto.

Para a construção do rotor é fundamental que se observe a forma correta de descascar o fio de cobre, pois o bom funcionamento do motor reside essencialmente neste fato. É importante também que o rotor, quando colocado no suporte, tenha um equilíbrio indiferente, isto é, não gire, qualquer que seja a posição em que ele esteja colocado.

2. Medidor de corrente

Q12 — Com uma experiência desse tipo, você pode determinar o sentido da corrente que flui através do circuito? De que forma?

Comentário:

Essa questão pode ser respondida com base em uma observação experimental; basta, para isso, que o aluno repita a primeira experiência sugerida no capítulo 4.

Deste ponto em diante a construção do medidor se torna mais difícil e é necessário maior cuidado e habilidade.

Na página 6–9, observe que a razão i e Θ não é constante. Não há necessidade de explicar a relação entre i e Θ , bastando que se analise com cuidado a figura 16, onde se pode notar que i e Θ variam mas não são proporcionais.

Na página 6–10, observe que a calibração experimental da escala do medidor de corrente necessita de material suplementar (multímetro, resistências, pilhas); se este material estiver à disposição vale a pena fazer a calibração. Caso se disponha de um multímetro ou amperímetro, é interessante fazer algumas medidas de corrente e interpretar a escala do medidor, a título de ilustração.

3. Transformador

Q18 — Se a bobina secundária tiver n' espiras, qual será o valor da diferença de potencial V' , entre os extremos da bobina secundária?

Comentário:

Observe que $\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ é o mesmo para ambas as bobinas e que este fato é essencial para a interpretação do funcionamento do transformador.

É conveniente que os alunos reconstruam os passos necessários para se obter a relação $\frac{V}{n} = \frac{V'}{n'}$.

8. Sugestões para discussão com os alunos

Nessa parte do curso as discussões devem girar em torno de assuntos mais gerais, podendo mesmo se incentivar o aluno a fazer um levantamento dos conceitos estudados e que se aplicam na montagem do motor, do medidor e do transformador.

O professor pode também pedir que os alunos pesquisem outros tipos de motores existentes e seu funcionamento e, posteriormente, fazer uma apresentação e discussão em classe.

9. Sugestões para outras experiências

A montagem do medidor de corrente necessita de material suplementar: um multímetro e algumas pilhas para se obter correntes de diferentes intensidades, além de fio de cobre fino (nº 40 ou outro de espessura próxima) para melhorar o contato do circuito. Este material é disponível no conjunto experimental de Eletricidade do PEF.

Outras experiências podem ser realizadas utilizando outros materiais como, por exemplo, os existentes nos conjuntos experimentais **Os Cientistas** da Abril Cultural – FUNBEC, indicados na bibliografia.

A coleção **Eletricidade Mirim** da FUNBEC apresenta no número 8 (Medindo a eletricidade) um multímetro que pode ser efetivamente utilizado como amperímetro, voltímetro e ohmímetro, sendo que o princípio de funcionamento pode ser facilmente interpretado pelos alunos.

Na coleção **Eletricidade para crianças** da FUNBEC existe o material necessário para a construção de um dínamo. O princípio de funcionamento também pode ser facilmente interpretado pelos alunos; no entanto, a linguagem apresentada no texto é muito simples (para crianças) de forma que não deve ser apresentada para alunos do curso colegial; neste caso, o professor poderia utilizar somente o material experimental e elaborar questões do tipo das que aparecem no texto dos capítulos estudados.

Esta obra foi impressa pela
M & J Impressores Associados Ind. Com. Ltda.
Rua Cordovil, 175, Parada de Lucas – Rio de Janeiro – RJ
para a
Fundação Nacional de Material Escolar
Rua Miguel Ângelo, 96 – Maria da Graça – Rio de Janeiro – RJ
República Federativa do Brasil.



Ministerio da Educação e Cultura
Fundação Nacional de Material Escolar

Preço único em todo
o Brasil: Cr\$ 245,00.