BIOLOGIA

LICENCIATURA

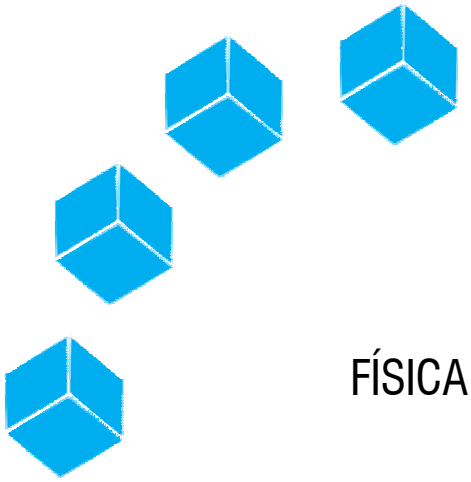
Física Básica

Hamilton Germano Pavão

Campo Grande, MS - 2009

EDITORA UFMS

BIOLOGIA



FÍSICA BÁSICA

Hamilton Germano Pavão

Campo Grande, MS - 2009

LICENCIATURA

EDITORA UFMS

PRESIDENTE DA REPÚBLICA
Luiz Inácio Lula da Silva

MINISTRO DA EDUCAÇÃO
Fernando Haddad

SECRETÁRIO DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA
Carlos Eduardo Bielschowsky

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

REITORA
Célia Maria da Silva Oliveira

VICE-REITOR
João Ricardo Filgueiras Tognini

COORDENADORA DE EDUCAÇÃO ABERTA E A DISTÂNCIA - UFMS
COORDENADORA DA UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL - UFMS
Angela Maria Zanon

COORDENADOR ADJUNTO DA UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL - UFMS
Cristiano Costa Argemon Vieira

COORDENADORA DO CURSO DE BIOLOGIA (MODALIDADE A DISTÂNCIA)
Monomono Monomonomono
Obra aprovada pelo Conselho Editorial da UFMS - Resolução nº 00/09

Este trabalho está licenciado com uma Licença Creative Commons - Atribuição-CompartilhaIgual 4.0 Internacional.

CONSELHO EDITORIAL UFMS

Dercir Pedro de Oliveira (Presidente)
Antônio Lino Rodrigues de Sá
Cícero Antonio de Oliveira Tredezini
Élcia Esnarriaga de Arruda
Giancarlo Lastoria
Jackeline Maria Zani Pinto da Silva Oliveira
Jéferson Meneguin Ortega
Jorge Eremites de Oliveira
José Francisco Ferrari
José Luiz Fornasieri
Jussara Peixoto Ennes
Lucia Regina Vianna Oliveira
Maria Adélia Menegazzo
Marize Terezinha L. P. Peres
Mônica Carvalho Magalhães Kassar
Silvana de Abreu
Tito Carlos Machado de Oliveira

CÂMARA EDITORIAL

SÉRIE

Angela Maria Zanon
Dario de Oliveira Lima Filho
Damaris Pereira Santana Lima
Jacira Helena do Valle Pereira
Magda Cristina Junqueira Godinho Mongelli

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Coordenadoria de Biblioteca Central – UFMS, Campo Grande, MS, Brasil)

SUMÁRIO

Apresentação 7

UNIDADE 1

Grandezas Fundamentais e Unidades de Medidas

1.1 Introdução 11
1.2 A Grandeza Tempo 11
1.3 A Grandeza Comprimento 12
1.4 A Grandeza Massa 13
1.5 Prefixos para unidades de medidas 13
1,6 Grandezas Fundamentais e Derivadas 14
1.7 Exercícios Propostos 15
Bibliografia 16

UNIDADE 2

Estudo do Movimento

2.1 Características do movimento 19
2.2 Conceito de Velocidade 22
2.3 Tipos de Movimento 23
2.4 Exercícios Propostos 28
2.5 Atividades 29
Bibliografia 30

UNIDADE 3

Força, Trabalho e Energia.

3.1 Introdução 33
3.2 Leis de Newton 33
3.3 Interações à distância 35
3.4 Interações de contato 36
3.5 Aplicações das Leis de Newton 39
3.6 Trabalho e Energia 41
3.7 Trabalho de Uma Força Constante 41

3.8 Potência 43
3.9 Teorema do trabalho Energia 44
3.10 Conservação da Energia 45
3.11 Exercícios Propostos 46
Bibliografia 49

UNIDADE 4

Termologia

4.1 Introdução 53
4.2 Calor 53
4.3 Temperatura 54
4.3.1 Escala Kelvin 54
4.3.2 Escala Fahrenheit 55
4.3.3 Escala Celsius 55
4.4 Relação entre as escalas termométricas 55
4.5 Dilatação Térmica 56
4.5.1 Dilatação dos sólidos 57
4.5.2 Dilatação Linear 57
4.5.3 Dilatação Superficial 58
4.5.4 Dilatação Volumétrica 58
4.5.5 Dilatação dos líquidos 60
4.6 Calorimetria 60
4.6.1 Calor sensível 61
4.7 Trocas de calor 63
4.7.1 Calor latente 64
4.8 A propagação do calor 65
4.8.1 Condução 65
4.8.2 Convecção 66
4.8.3 Irradiação 66
4.9 Exercícios Propostos 67
Bibliografia 69

UNIDADE 5

Fluidos

5.1 Introdução 73
5.2 Conceito de pressão 74
5.3 Medidas de Pressão 76

5.3.1 Pressão atmosférica 76
5.3.2 Pressão Intra-ocular 76
5.3.3 Pressão Sanguínea 77
5.4 Pressão versus profundidade em um fluido estático 77
5.5 Princípio de Pascal 79
5.6 Princípio de Arquimedes 80
5.7 Vasos Comunicantes 83
5.8 Exercícios Propostos 84
Bibliografia 85

UNIDADE 6

Ondulatória

6.1 Conceito de Onda 89
6.2 Tipos de ondas 89
6.3 Velocidade de Propagação 90
6.4 Ondas Periódicas 91
6.5 Frente de Ondas. Princípio de Huygens 92
6.6 Fenômenos Ondulatórios 94
6.6.1 Reflexão 94
6.6.2 Refração 95
6.6.3 Difração 95
6.7 Ondas Sonoras 96
6.7.1 Velocidade do som 97
6.7.2 Características do Som 97
6.7.3 Efeito Doppler 99
6.8 Exercícios Propostos 101
Bibliografia 102

UNIDADE 7

Lentes Delgadas

7.1 Introdução 105
7.2 Formação de Imagem 107
7.3 Instrumentos ópticos 109
7.4 Olho Humano 111
7.4.1 Defeitos da visão 112
7.5 Exercícios Propostos 113
Bibliografia 114

UNIDADE 8

Eletricidade

8.1 Introdução 117
8.2 Princípios da Eletrostática 118
8.3 Campo Elétrico 119
8.4 Potencial Elétrico 121
8.5 Corrente Elétrica 123
8.6 Exercícios Propostos 126
Bibliografia 127

UNIDADE 9

Ondas Eletromagnéticas

9.1 Introdução 131
9.2 Espectro Eletromagnético 131
9.3 Ondas de Rádio e Microondas 132
9.4 Radiação Infravermelha, Visível e Ultravioleta 133
9.5 Raios X e Raios γ 135
9.6 Teoria dos Quanta 137
9.7 Interação da Radiação com a Matéria 138
9.8 Exercícios Propostos 139
Bibliografia 140

APRESENTAÇÃO

Caro(a) Acadêmico(a),

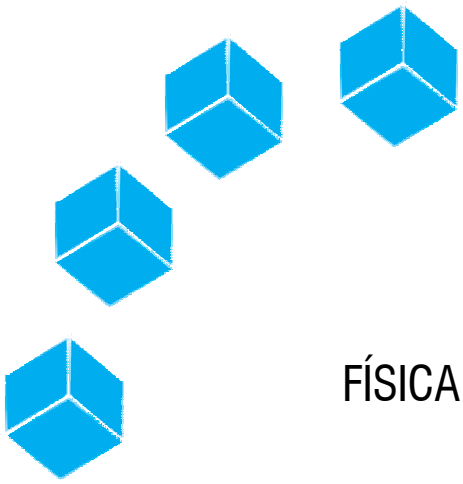
Este livro tem como objetivo apresentar os conceitos básicos da Física, para proporcionar ao estudante de Biologia, uma análise e interpretação de situações que ocorrem no dia a dia. Os capítulos apresentam a teoria de uma forma mais conceitual, não explorando a fundo o formalismo matemático e os exemplos, em sua maioria, mostram situações aplicadas na área da Biologia. Procuramos neste trabalho abranger todas as grandes áreas da Física, como a Mecânica, Termodinâmica, Fluidos, Ondas, Óptica e a Eletricidade. No início de cada capítulo, uma introdução do assunto é apresentada, mostrando sua importância e aplicações de forma a situar o estudante. Em todos os capítulos, paralelamente a teoria, exemplos e aplicações são apresentados, e no final de cada capítulo, há uma série de exercícios propostos. Caso o estudante queira ou necessite obter conhecimentos mais aprofundados, ele poderá consultar a bibliografia recomendada. Para a complementação do aprendizado, se faz necessário a visita aos sites recomendados; nestes sites além dos textos que complementam a teoria e exemplos, o estudante poderá interagir com situações físicas, podendo simular situações como por exemplo a construção de imagens de objetos, formadas através de lentes, quando se varia a distância do objeto a lente. O acesso aos vídeos educativos indicados, também possibilita uma maior compreensão e visualização do assunto, principalmente para a o caso do espectro eletromagnético.

Sobre o autor

HAMILTON GERMANO PAVÃO

É professor associado II do Departamento de Física da
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, onde já atuou
como coordenador do curso de graduação em Física e também
coordenador do Programa de Mestrado em Física
O autor é bacharel em Física, pelo Instituto de Física Gleb Wataghin
da UNICAMP, onde também se tornou mestre,
na área de Física Matemática. Possui Doutorado em Astrogeofísica Espacial,
pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais -INPE.
Atualmente atua como professor para os cursos de Física e
Engenharia Ambiental e como pesquisador, atua na área de
Física da Atmosfera, com ênfase em poluição atmosférica.
Na Educação a Distância participou do Consórcio Setentrional,
para o Curso de Biologia para os vários pólos do interior de
Mato Grosso do Sul

BIOLOGIA



FÍSICA BÁSICA

Unidade 1

GRANDEZAS FUNDAMENTAIS E UNIDADES DE MEDIDAS

LICENCIATURA

Unidade 1

GRANDEZAS FUNDAMENTAIS E UNIDADES DE MEDIDAS

1.1 Introdução

As Ciências chamadas Exatas (a Física, a Química, a Astronomia, etc.) além das observações dos fenômenos que ocorrem na natureza, baseiam-se na "medição", das grandezas que envolvem estes fenômenos, sendo esta sua característica fundamental. Em outras Ciências, ao contrário, o principal é a descrição é a classificação. Assim, a Zoologia descreve e classifica os animais, estabelecendo categorias de separação entre os seres vivos existentes.

Todos temos uma certa noção do que é medir e o que é uma medida. O dono de uma quitanda não pode realizar seus negócios se não mede; com uma balança mede a quantidade de farinha ou de feijão pedida. Um lojista, com o metro mede a quantidade de fazenda que lhe solicitaram. Em uma fábrica mede-se com o relógio o tempo que os operários trabalham. Há diferentes coisas que podem ser medidas; o dono da quitanda mede "pesos", o lojista, "comprimentos", a fábrica "tempos". Também podem ser medidos volumes, áreas, temperaturas, etc. Tudo aquilo que pode ser medido chama-se "grandeza", assim, o comprimento, o tempo, o volume, a área, a temperatura, são "grandezas". Medir é comparar uma quantidade de uma grandeza qualquer com outra quantidade da mesma grandeza que se escolhe como "unidade". A Física não trabalha com números abstratos. O fundamental é medir e o resultado da medição é um número e o nome da unidade que se empregou. Assim, cada quantidade fica expressa por uma parte numérica e outra literal. Exemplos: 10 km; 30 km/h; 8h.

1.2 A Grandeza Tempo

A medida de um tempo tem dois aspectos. Tanto para atividades pessoais, como para atividades científicas, temos a necessidade de saber as horas do dia, ou quanto tempo dura um evento. Podemos usar qualquer fenômeno que se repete para medir o tempo. A medição é feita com a contagem das repetições e suas frações. Dos vários fenômenos repetitivos naturais, a rotação da Terra sobre o seu eixo, que determina a duração dos dias, foi usada como padrão de tempo, por séculos. Um segundo foi definido como a fração: 1/ 86.400 de um dia (período de 24h).

Dependendo da precisão de medida de tempo requerida, utiliza-se um medidor de tempo. Para medidas de experimentos científicos em laboratório, onde se requer altíssima precisão, utilizam-se relógios atômicos. Em nosso cotidiano, usamos relógios comuns, com horas, minutos e segundos.

As relações entre estas três unidades são muito conhecidas, mas vamos mencioná-las aqui:

1 h = 60 min
1 s = 1/60 h
1 min = 60 s
1 s = 1/3600 h
1 h = 3600 s
1 min = 1/60 h

1.3 A Grandeza Comprimento

Historicamente, o metro foi estabelecido como um décimo milionésimo da distância do pólo norte ao equador, através do meridiano que passa por Paris. Através desta definição, foi confeccionada uma barra, com este comprimento (1m), de platina, chamada de metro padrão. Esta barra encontra-se na Repartição Internacional de Pesos e Medidas (Paris) e através deste padrão, são reproduzidas cópias precisas para se utilizar como unidade de comprimento.

A unidade de comprimento é o metro (m), o qual pode ser dividido em 100 centímetros (cm) ou 1000 milímetros (mm). O múltiplo do metro mais usado é o quilômetro (km), que vale 1000 m.

Como grandeza derivada do metro, tem-se a área e o volume. A unidade de área é o metro-quadrado (m^2). Muitas vezes se faz confusão nas medidas de área, pois um quadrado com 10 unidades de comprimento de lado contém 10 x 10 = 100 unidades de área.

Assim 1 cm = 10mm, entretanto, $1cm^2 = 100mm^2$.

Da mesma forma:

$1m^2 = 1m \times 1m = 100\ cm \times 100\ cm = 10000\ cm^2$

$1m^2 = 1000\ mm \times 1000\ mm = 1.000.000\ mm^2$

A unidade de volume é o metro cúbico (m^3). De forma análoga à área, podemos mostrar que um cubo com 10 unidades de comprimento contém 10 x 10 x 10 = 1000 unidades de volume.

Obtém-se assim que:

$1m^3 = 1m \times 1m \times 1m = 100\ cm \times 100\ cm \times 100\ cm = 1.000.000\ cm^3$.

Uma unidade muito usual de volume é o litro (l), definido como o volume de um cubo com 10 cm de lado, ou seja 1l =1000 cm^3. A milésima parte de um litro é o mililitro (ml). A maioria das garrafas tem seu volume, escrito no rótulo, e gravado no fundo das garrafas, expresso em mililitros (ml). Também estão expressos em ml os volumes de vidros de remédios, mamadeiras, frascos de soro hospitalar, etc.

1.4 A Grandeza Massa

Originalmente se definiu como unidade de massa, a massa de um litro de água a 15 ^oC. Essa massa foi chamada de um quilograma (1 kg). Mais tarde percebeu-se o inconveniente desta definição, pois o volume da água varia com a pureza da mesma. Passou-se, então, a adotar como padrão de massa um certo objeto chamado "padrão internacional de massa". Tal padrão é conservado no Museu Internacional de Pesos e Medidas, em Sèvres, Paris. A massa deste objeto é de 1 Kg. Os submúltiplos mais comuns do quilograma são a grama (g) e a miligrama (mg), sendo 1 kg = 1000 g e 1g = 1000 mg. O múltiplo mais usual do quilograma é a tonelada (t), sendo 1 t = 1000 kg.

1.5 Prefixos para Unidades de Medidas

Muitas vezes ao realizarmos uma medida podemos encontrar valores muito grandes ou extremamente pequenos, com muitos zeros à direita ou à esquerda de um número. Para expressarmos números muito grande ou muito pequeno, recomenda-se a chamada notação científica, como a seguir:

3.000.000.000.000 s = 3,5 x 10^{12} s

0,000.000.492 s =4,92 x 10^{-7} s

A tabela 1, abaixo mostra os prefixos que são utilizados nas medidas. Por exemplo, quando medimos o comprimento de uma estrada e encontramos: L= 2.000m (2,0 x 10^3) podemos dizer também que L= 2 **quilô**metros, ou 2 km. Quando nos referimos à memória do computador, por exemplo: 2.000.000.000 bytes (2,0 x 10^9), podemos também dizer que a memória é de 2 **Giga**bytes, ou 2 Gbytes. Quando obtemos a medida: 0,002 litros (2,0 x 10^{-3}), podemos dizer também que o valor obtido foi de 2 **mili**litros, ou 2 ml.

Outros exemplos:

0,000.000.005 s = 5 x 10^{-9} s= 5 ns 5 nanosegundos
3.000.000 W = 3, 0 x 10^6 W= 3,0 Megawatt

4.000.000.000.000 m = 4,0 x 10^{12} m = 4,0 Terametros
0,000.000.000.004 s= 4,0 x 10^{-12} s = 4,0 picosegundos
0,003 g = 3,0 x 10^{-3} g = 3 mg = 3 miligrama
0,000.004 m = 4 x 10^{-6} m = 4 micrometro

Para realizar a conversão de unidades de: comprimento, área, pressão, temperatura, velocidade, potência, massa, força, massa específica e volume, você poderá acessar o site:
http://www.ipem.sp.gov.br/5mt/cv2/index.htm

Tabela 1 - Prefixos de medidas para o Sistema Internacional

Nome	Símbolo	Fator de multiplicação da unidade	Fator de multiplicação da unidade
yotta	Y	10^{24}	1 000 000 000 000 000 000 000 000
zetta	Z	10^{21}	1 000 000 000 000 000 000 000
exa	E	10^{18}	1 000 000 000 000 000 000
peta	P	10^{15}	1 000 000 000 000 000
tera	T	10^{12}	1 000 000 000 000
giga	G	10^{9}	1 000 000 000
mega	M	10^{6}	1 000 000
quilo	K	10^{3}	1 000
hecto	H	10^{2}	100
deca	Da	10	10
deci	D	10^{-1}	0,1
centi	C	10^{-2}	0,01
mili	M	10^{-3}	0,001
micro	μ	10^{-6}	0,000 001
nano	N	10^{-9}	0,000 000 001
pico	P	10^{-12}	0,000 000 000 001
femto	F	10^{-15}	0,000 000 000 000 001
atto	A	10^{-18}	0,000 000 000 000 000 001
zepto	Z	10^{-21}	0,000 000 000 000 000 000 001
yocto	y	10^{-24}	0,000 000 000 000 000 000 000 001

1.6 Grandezas Fundamentais e Derivadas

As grandezas físicas podem ser divididas em: fundamentais e derivadas. As grandezas fundamentais são obtidas diretamente dos padrões de medidas. A tabela 2 mostra as principais grandezas fundamentais.

Tabela 2 - Algumas Grandezas Físicas Fundamentais e suas unidades no SI.

Grandeza	Unidade	Símbolo
Comprimento	Metro	m
Tempo	Segundo	seg
Massa	Kilograma	kg
Carga Elétrica	Coulomb	C
Temperatura	Kelvin	K
Quantidade de Substância	Mol	M

A partir das grandezas fundamentais, todas as outras unidades de grandezas obtidas, são denominadas Grandezas Físicas Derivadas, conforme mostra a tabela 3.

Tabela 3 - Algumas Grandezas Físicas Derivadas e suas unidades no SI.

Grandeza	Unidade	Nome da unidade	Símbolo
Velocidade	Metro/segundo	m/s	m/s
Aceleração	Metro/(segundo)^2	m/s^2	m/s^2
Força	Kilograma x metro/(segundo)^2	Newton	N
Pressão	Newton/(metro)^2	Pascal	Pa
Corrente elétrica	coulomb / segundo	Ampére	A
Campo elétrico	Newton/Coulomb	N/C ou Volts/metro	N/C
Diferença de tensão	MetroxNewton/Coulomb	Volt	V

1.7 Exercícios Propostos

1 - Utilize os prefixos do Sistema Internacional de Unidades, para representar as seguintes medidas:

a) 5.000.000.000 bites
b) 4.000.000 watts
c) 3.000 watts
d) 0,003 litros
e) 0,02 metros
f) 0,000.000.009 segundos
g) 0,000.007 gramas
h) 0,003 g

2 - Transforme as unidades:

a) Velocidade: V= 360 km/h em m/s

b) velocidade: V= 56 m/s em km/h

c) Velocidade da luz: V= 300.000 km/s em m/s e km/h

d) Volume: v = 20 m^3 em cm^3 e cm^3

e) Densidade: d= 8,0 g/cm^3 para kg/m^3.

f) Tempo: T = 2,4 h em minutos e em segundos

3 - a) Quantos metros quadrados contêm um quilômetro quadrado?

b) Quantos metros quadrados contêm uma quadra de esportes com 100 m de lado?

c) Um alqueire paulista são 24.200 m^2. Uma chácara retangular tem um alqueire e mede 100 m

de frente. Quanto ela mede de fundo?

d) Quantos cm^3 contêm um litro (l)?

e) Quantos cm^3 contêm um mililitro (ml)?

f) Quantos litros contêm um m^3?

4 - Uma caixa de água mede 50 cm x 50 cm de lados e tem 50 cm de altura.Qual o seu volume?

Quantas garrafas de água, de 500 ml cada uma podem ser cheias com a água desta caixa?

5 - Uma piscina tem 50 m de comprimento, 25 m de largura, 2 m de profundidade. Qual a área de sua superfície?Qual o volume de água que ela contém, quanto totalmente cheia?

6 - a) Quantos miligramas contêm 1 kg e 1 t?

b) Quantos gramas contém, 1t ?

c) Qual é a massa de 1 m^3 de água ?

d) Qual é a massa de 1 ml de água ?

Bibliografia

D. Halliday, R.Resnick e J.Walker; Fundamentos de Física; Vol.1; Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro-RJ, 2009.

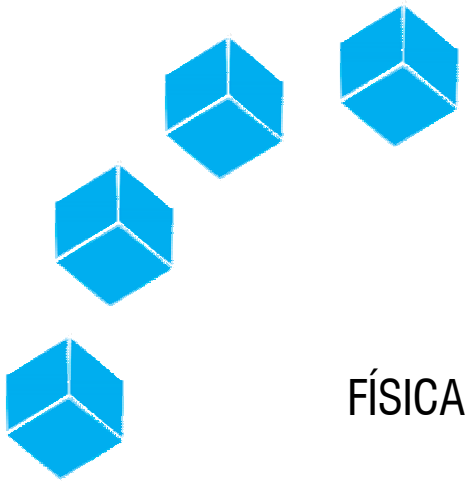
Ramalho Jr. F., Nicolau, G.F. e Toledo, P.A. Os fundamentos da Física -3 Eletricidade, Física Moderna e Análise Dimensional. Editora Moderna, São Paulo, 2003.

Sears; Zemansky; Young e R.Fredman; Física I e II; Ed. Pearson, Addison Wesley. São Paulo -SP, 2008.

http://educar.sc.usp.br/ciencias/fisica/mf5.htm

http://www.ipem.sp.gov.br/5mt/cv2/index.htm

BIOLOGIA



FÍSICA BÁSICA

Unidade 2

ESTUDOS DO MOVIMENTO

LICENCIATURA

Unidade 2

ESTUDO DO MOVIMENTO E SUAS CAUSAS

O ramo da física que estuda o movimento dos corpos, sem levar em consideração as causas, ou seja, as forças que atuam no movimento, é denominado de **Cinemática**. Por outro lado, se estivermos interessados nas forças que atuam no movimento, deveremos recorrer às equações da **Dinâmica,** que junto com a cinemática, formam a área da física, denominada de **Mecânica**. O estudo do movimento está diretamente relacionado com as grandezas físicas: espaço, tempo e massa e a seguir definiremos as grandezas utilizadas neste estudo.

2.1 Características do Movimento

Os conceitos de movimento e repouso são relativos, pois quando nos referimos aos mesmos, devemos sempre defini-los, em relação a um determinado **referencial**. Por exemplo: quando estamos viajando em um carro, com uma velocidade de 80 km/h, nós estamos em movimento em relação a uma árvore plantada na beira da estrada, mas em repouso, quando comparado com o próprio carro. Por outro lado, quando estamos dentro do carro, poderemos dizer que a arvore encontra-se em movimento e o carro em repouso. Em ambos os casos, as considerações estão corretas, pois no primeiro caso o referencial adotado foi a arvore e no segundo, foi o carro, ou seja, não existem referenciais absolutos.

Quando dizemos que uma **partícula** (ponto material) encontra-se em movimento, estaremos desprezando as dimensões do corpo em relação às distâncias que ele percorre. Um trem, apesar de suas dimensões, de aproximadamente 500 m, pode ser considerado como uma partícula quando consideramos o seu movimento num percurso ligando Campo Grande (MS) a Dourados (MS). Da mesma forma, apesar da Terra ter um raio de aproximadamente 6400 km, pode ser tratada como uma partícula quando analisamos o seu movimento em relação ao Sol, já que a distância da Terra ao Sol é 150 milhões de km.

Partícula ou Ponto Material é um termo utilizado para representar um corpo em movimento quando suas dimensões são desprezíveis em relação às distâncias que ele percorre.

À medida que um corpo se movimenta, num dado referencial, ele "deixa marcas" por onde passa; cada "marca", num determinado instante, representa uma posição no espaço. Unindo as sucessivas posições, por ele ocupado, obtemos uma linha, que é definida como trajetória descrita pelo corpo. A trajetória descrita por um corpo depende do referencial escolhido. Quando um jovem sentado no banco de um automóvel em movimento, atira uma pequena bola para o alto, para ele a trajetória será uma reta vertical, entretanto para uma pessoa em repouso, que vê o carro passando a sua frente, o movimento da bola será um arco de parábola.

Trajetória: É a linha descrita ou percorrida por um corpo em movimento e depende do referencial adotado.

Quando conhecemos a forma da trajetória de um corpo, podemos determinar sua posição, representada pela letra s, no decorrer do tempo, através de um único número, chamado de abscissa do corpo. Para localizarmos esse corpo num determinado instante, adotamos arbitrariamente um ponto O sobre a trajetória, a qual chamamos de origem das posições e a partir deste ponto orientamos a trajetória. Para conhecer a posição do corpo num certo instante, precisamos conhecer sua distância em relação à origem O; esta posição será positiva se o corpo estiver à direita da origem e negativa se estiver à esquerda. Na trajetória que se segue, as posições são: em A é s_A = -20 km, s_B = 40 km e s_C= 60 km. Invertendo-se a orientação da trajetória, tem-se: s_A = 20 km, s_B = -40 km e s_C= -60 km.

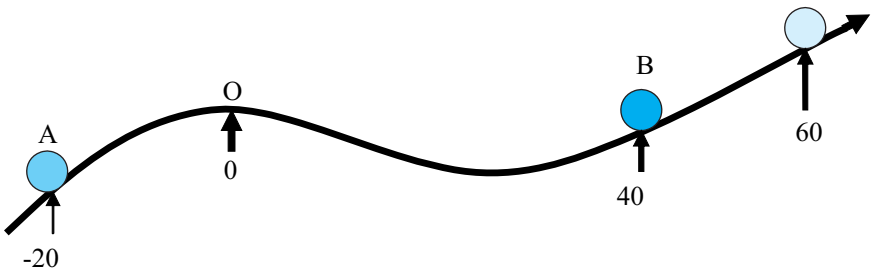


Figura 1 - Posições de um corpo numa trajetória.

Nas rodovias, as placas de sinalizações, também obedecem a uma origem; quando estamos trafegando por uma rodovia e verificamos que os números que indicam a quilometragem, ou marcos quilométricos, estão em ordem crescente, significa que estamos trafegando no sentido positivo da orientação da rodovia; caso os números decresçam, significa que estamos trafegando no sentido contrário a orientação da rodovia. Devemos notar que os marcos quilométricos, não indicam nada sobre o movimento de um corpo, apenas indicam a sua posição.

Considere uma pessoa que sai do ponto O, passa pelo ponto B e chega em C, como mostra a figura 2(a). Efetuando-se este trajeto o espaço percorrido será:

$S = \overline{AO} + \overline{BC} = 3 + 4 = 7m$

O deslocamento é a medida do segmento que representa a distância entre a posição inicial e a posição final que a pessoa se encontra. Na figura abaixo, a linha tracejada representa o deslocamento, que neste caso pode ser calculada pelo Teorema de Pitágoras, ou seja:

$d^2 = 3^2 + 4^2$ ou $d = 5m$

Portanto, o deslocamento foi menor do que o espaço percorrido.

Na figura 2(b), uma pessoa sai do ponto A e vai até B, percorrendo uma trajetória circular, Como o raio da trajetória é de 2m, o espaço percorrido será igual à metade do comprimento da circunferência:

$$S = \frac{2.\pi.2}{2} = 2\pi\ m$$

Neste caso, o deslocamento, diferença entre as posições: final e inicial será igual ao diâmetro da circunferência, ou seja, d = 4 m.

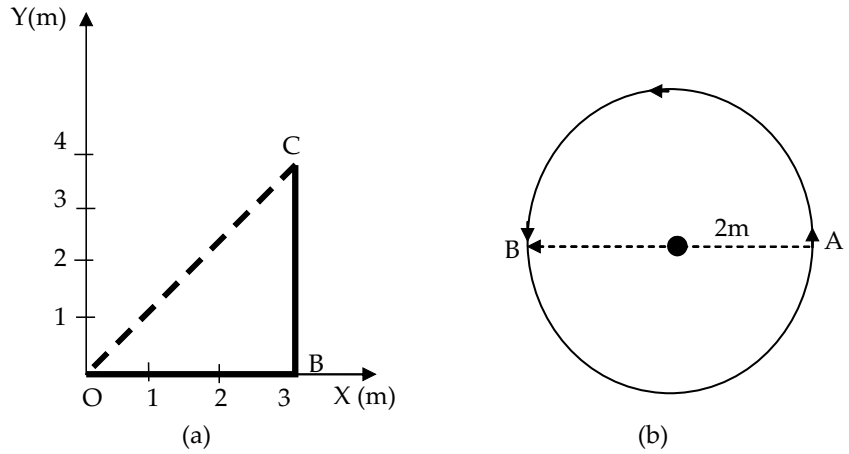


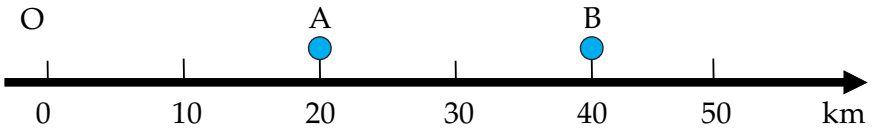
Figura 2 - Exemplos de deslocamentos

Se o corpo muda de posição, o seu espaço varia e podemos dizer que o corpo sofreu um deslocamento escalar, que será representado por: ΔS, Na figura abaixo, num determinado instante de tempo, o corpo encontra-se na posição S_A -= 20 km e num instante posterior, encontra-se na posição S_B = - 40 km, logo o seu deslocamento será:

$\Delta S = S_B - S_A$, ou seja $\Delta S = 40 - 20 = 20$ km

Se o móvel estiver se deslocando no sentido contrário à orientação da trajetória, ou seja, de B para A, o seu deslocamento será:

$\Delta S = S_A - S_{B,}$ ou seja $\Delta S = 20 - 40 = -20$ km



De uma maneira geral, o deslocamento escalar ΔS é definido como a diferença entre o espaço final S_f e o espaço inicial S_i do móvel:

$$\Delta S = S_f - S_i$$

Questões Interessantes

Na cinemática escalar, quando a extremidade do ponteiro do relógio efetua uma volta completa o deslocamento escalar é nulo?

Na cinemática escalar, o deslocamento só é nulo quando o móvel inverte o sentido do movimento, e os valores absolutos: do espaço final e inicial são iguais. Quando não há inversão do sentido do movimento, os espaços do móvel crescem ou decrescem. No caso dos ponteiros do relógio, o movimento é efetuado sempre no sentido horário, portanto os espaços crescem em valor absoluto.

http://www.coladaweb.com/fisica/cinematica_escalar.htm

2.2 Conceito de Velocidade

Em nosso cotidiano é muito comum nos preocuparmos com a velocidade com que determinados fenômenos ocorrem. Em Física, particularmente na cinemática, um importante objeto é o estudo da velocidade com que um corpo se desloca no tempo.

Velocidade Escalar Média de um móvel é definida como a rapidez com que ele muda de posição, num intervalo de tempo. Considere uma viagem de automóvel de Campo Grande a Corumbá, cuja distância é de 400 km e que será realizada em 8 h. Inicialmente o motorista parte do repouso, (v = 0 km/h) aumentando gradativamente sua velocidade até atingir a velocidade de 80 km/h; mantém esta velocidade por um determinado tempo, quando é obrigado a diminuí-la para 60 km/h, até chegar a Corumbá, quando sua velocidade é diminuída, até o repouso. Para o cálculo de velocidade escalar média, ou simplesmente **velocidade média (Vm),** nos interessa somente o, deslocamento total e o tempo gasto para percorrê-lo, ou seja:

$$V_m = \frac{400\ \text{km}}{8\ \text{h}} = 50\ \text{km/h}$$

Portanto, independente do valor da velocidade ter variado entre 0 e 80 km/h, durante o percurso encontramos o valor de 50 km/h.

Velocidade média (V_m) é definida como a razão entre o deslocamento (ΔS) e o intervalo de tempo (Δt)

$$Vm = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{S_f - S_i}{t_f - t_i}$$

Onde: S_f é o espaço final, S_i é o espaço inicial, t_f é o espaço final e t_i é o tempo inicial.

Note-se que pela definição de V_m, Δt é sempre positivo, pois ele representa a diferença entre um tempo posterior e um tempo anterior. Por outro lado, a diferença ΔS pode ser positiva, se ele estiver se movendo no sentido da orientação da trajetória, ou negativa, se ele estiver se movendo no sentido contrário a orientação da trajetória.

No exemplo citado sobre a viagem de Campo grande a Corumbá, o automóvel levou 8 h para percorrer 400 km e sua velocidade média foi de 50 km/h. O velocímetro do automóvel não marcará sempre 50 km/h, pois durante a o percurso a velocidade aumentou, diminuiu e até foi nula. Neste caso o velocímetro nos fornece o valor absoluto da velocidade escalar do automóvel em cada instante. A velocidade escalar fornecida em cada instante é denominada de **Velocidade Instantânea**.

2.3 Tipos de Movimento

Suponha que você viaje de carro por uma estrada e que devido às boas condições da estrada, você consegue manter uma velocidade constante de 80 km/h. Isto significa que em 3 horas de viagem, você terá percorrido 240 km. Nestas condições podemos dizer que a velocidade média é igual à velocidade instantânea e que o carro percorre distâncias iguais (80 km) em tempos iguais (1h). Este tipo de movimento é chamado de **Movimento Uniforme (MU).**

No movimento uniforme, um móvel percorre distâncias iguais em intervalos de tempos iguais.

Supomos que, no exemplo acima, conhecemos a posição inicial do carro, $S_0 = 0$ km e a sua velocidade constante de 80 km/h. Qual será a sua posição, decorrido 1 h de viagem?

Para responder a tal questão devemos utilizar uma equação que nos permite conhecer em cada instante de tempo, a posição que o carro se encontra. Considere um móvel, numa trajetória retilínea, como mostra a figura:

Onde S_o é a posição inicial em t = 0 e S é a posição num tempo posterior t. A velocidade média V_m = V é dada por:

$$V = \frac{S - S_o}{t} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{S = S_o + V\,t}$$

Esta é a equação horária do movimento uniforme, conhecendo-se a posição inicial do móvel (So) e sua velocidade (V), podemos localizar o móvel, em qualquer instante de tempo.

Para responder a questão proposta temos: S = 0 + 80.1 ⇨ **S = 80 km**; portanto o carro estará na posição 80 km.

Exemplo: 1- Um atleta movimenta-se numa pista de corrida, plana e retilínea, sendo que o seu movimento é dado pela equação horária: S = 10 + 5 t, onde t é dado em segundos e S e metros, determine: a) posição inicial e velocidade, b) a posição do atleta para t = 6 s. c) o instante de tempo, quando sua posição for S= 90 m.

Resolução: a) comparando-se a função horária: S = 10 + 5 t, com : $\mathbf{S = S_o + V\,t}$, tem-se:

S_o = 10 m e V = 5 m/s.

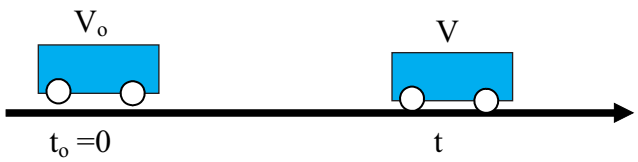
b) substituindo-se t = 6s em S = 10 + 5 t, tem-se: S = 10 + 5.6 = 40, logo

S = 40 m.

c) Quando S = 90 m, tem-se: 90 = 10 + 5 t ou 5t = 90-10 ou t = 16 s.

Na natureza, a maior parte dos movimentos ocorre com velocidade escalar que varia com o tempo. Neste movimento, o módulo da velocidade não é constante. A taxa de variação da velocidade com o tempo, é definida como a **aceleração.**

Consideremos um móvel percorrendo, com velocidade variável, a trajetória abaixo.



A aceleração média é definida como sendo:

$a_m = \Delta V / \Delta t = (V - V_0)/(t - t_0) =$, cuja unidade é m/s^2, ou km/h^2.

Fazendo-se $t_0 = 0$, tem-se: $\mathbf{V = V_0 + a\,t}$

Vamos analisar o que acontece quando um carro está sendo com a velocidade aumentando, como mostra a figura abaixo.

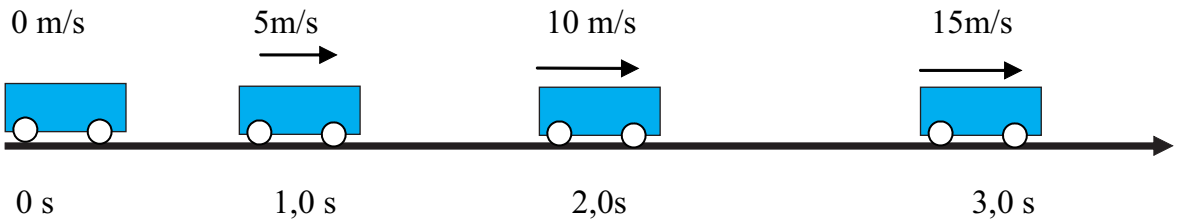


Figura 3 - Carro em movimento uniformemente variado.

O carro parte inicialmente do repouso, V = 0 m/s e aumenta de 5 m/s em cada segundo. Isto significa que em 1 s a sua velocidade passa de 0 m/s para 5 m/s; decorrido mais 1 s a velocidade aumenta para 10 m/s e assim sucessivamente. Neste caso o movimento é uniformemente variado com a taxa constante de variação da velocidade igual a 5 m/s^2, que é a aceleração do carro .

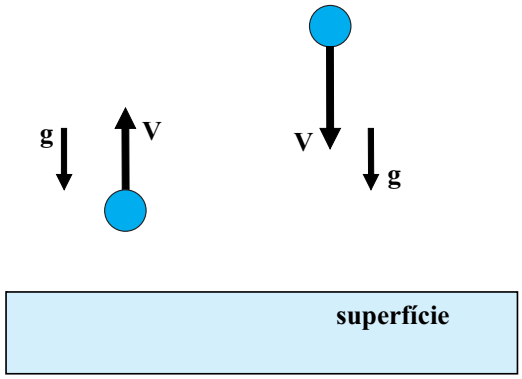
Exemplo 2: Um carro parte do repouso e cada segundo que passa, sua velocidade aumenta de 4,0 m/s. a) Determine a aceleração do carro, b) Após ter decorrido 10 s, qual a velocidade do carro?

a) Neste caso a velocidade aumenta numa taxa de 4,0 m/s; a cada segundo que passa sua velocidade aumenta de 4,0 m/s, que é justamente o valor da aceleração do carro, logo a = 4,0 m/s^2.

b) Para determinarmos a velocidade após 10 s, temos:

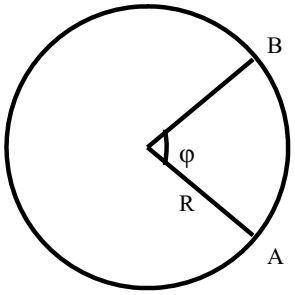
$V = Vo + at$, ou $V = 0 + 4.\ 10 \Rightarrow V = 40$ m/s

O movimento vertical de um corpo, próximo ao solo é chamado de **queda livre**, quando as forças de resistência do ar são desprezadas, ou seja, somente a força gravitacional atua sobre o corpo. Neste movimento, a aceleração que age sobre o corpo é aceleração da gravidade, que próximo à superfície terrestre vale **9,8 m/s^2** e é representada pela letra **g**. Ao lançarmos um corpo verticalmente para cima, observamos que à medida que ele ganha altura, sua velocidade diminui, até um momento em que ele pára; enquanto que se abandonarmos um corpo de certa altura do solo, observamos que à medida que ele cai, sua velocidade aumenta; em ambos os casos, temos um movimento uniformemente variado. Quando o corpo é atirado para cima, a aceleração da gravidade, que é dirigida para o centro da Terra atua no sentido contrário ao movimento, fazendo com que a velocidade do corpo diminua numa taxa constante de 9,8 m/s a cada segundo, até o corpo atingir o repouso. Por outro lado, ao abandonarmos um corpo de uma altura acima do solo, a aceleração da gravidade atua no sentido do movimento, fazendo com que a velocidade do corpo aumente a uma taxa de 9,8 m/s a cada segundo.



Quando um corpo realiza um movimento, cuja trajetória é uma circunferência, dizemos que **o movimento do corpo é circular**. Grande parte dos movimentos em nosso cotidiano é desta natureza, como por exemplo: o movimento dos ponteiros de um relógio, o movimento da Terra em torno do sol, o movimento das pás de um ventilador, o movimento das rodas de um carro, em torno de seu eixo, etc.....

Quando um móvel executa um movimento circular, suas posições são determinadas através de ângulos, que são medidos, a partir de uma origem. Estes ângulos são medidos em **radianos** (rad)**.** Em uma circunferência a medida de um ângulo central ϕ em radianos é definida como a razão entre a medida algébrica do arco orientado que corresponde a esse ângulo e a medida do raio da circunferência. Considerando-se a circunferência abaixo, tem-se:



R= raio da circunferência; ϕ = ângulo central e s = comprimento do arco AB.

Logo: $\phi = \frac{s}{R}$

O comprimento de uma circunferência, ou perímetro, corresponde a medida do arco relativo a uma volta completa, ou seja um ângulo de 2π, portanto, o perímetro será:

$$S = 2\ \pi\ S$$

Seja o ângulo ϕ_o, a posição angular inicial da partícula no instante t = 0. Após um instante, a posição angular da partícula é ϕ; logo podemos definir como **deslocamento angular** $\Delta\phi$ a diferença entre eles, ou seja: $\Delta\phi = \phi - \phi_o$.

Um movimento é chamado de periódico, quando ele se repete em intervalos de tempos iguais e apresenta uma órbita fechada. Exemplos destes movimentos são os movimentos circulares uniformes, como os ponteiros de um relógio, o movimento de uma roda gigante e o movimento de rotação da Terra em torno do seu eixo. Como estes movimentos se repetem, ao final de uma volta, ou ciclo, eles apresentam a mesma velocidade e posição.

O **período (T)** de um movimento é definido como o tempo gasto para ele percorrer uma volta completa, ou seja, realizar um ciclo. Para o relógio, o período dos ponteiros do minuto é de 1 hora, enquanto que o período de rotação da Terra é de 24 h.

Quando o móvel completa uma volta, num circulo de raio R, levando um tempo T, ele terá percorrido a distância: $\Delta S = 2\,\pi\,R$,

$$\text{Logo: } V = \frac{2\pi R}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi R}{V} \Rightarrow T = \frac{2\pi R}{\omega R} \Rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega} \quad \text{onde} \quad \omega = \frac{V}{R}$$

Uma outra grandeza importante neste movimento é a **freqüência** do movimento, ou seja, o número de vezes que o movimento se repete num instante de tempo.

A freqüência de um movimento é definida como o número de voltas que o corpo realiza num período de tempo T. A freqüência e o período se relacionam e através de uma simples regra de três, temos:

Intervalo de tempo	Nº. De vezes que o movimento se repete
Período (T)	⇨ 1 (vez)
Unidade de tempo	⇨ f (vezes)

Portanto: f. T = 1 e **f** $= \frac{1}{T}$

A unidade de freqüência é : $\frac{1}{s}$, que é chamada de Hertz, cujo símbolo é Hz.

O espaço S é chamado de espaço linear para diferenciarmos do espaço angular ϕ, sendo que eles estão relacionados por: **s = ϕ R.** Da mesma forma podemos relacionar a velocidade linear V e a velocidade angular ω.

Consideremos a expressão: $\Delta s = \Delta\phi\, R$, dividindo-se os dois membros por Δt,

$\frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}.R$, mas $\frac{\Delta S}{\Delta t} = V$ e $\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \omega$, onde ω é definido como velocidade angular, portanto a relação entre as velocidades é:

$$V = \omega\, R$$

Utilizando-se a expressão ; $V = \omega R$, e dividindo-se ambos os membros por Δt, tem-se

$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\Delta \omega}{\Delta t} R$, mas $\frac{\Delta V}{\Delta t} = \alpha$ e $\frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \gamma$, onde γ é definida como aceleração angular, portanto a relação entre as acelerações é:

$$a = \gamma . R$$

As relações entre as grandezas escalares e angulares são resumidas a seguir:

$s = \phi R$, s em metros (m) e ϕ e em radianos (rad)

$V = \omega R$, V em m/s e ω rad/s

$a = \gamma . R$, a em m/s^2 e em γ rad/s^2.

Exemplo. Uma pessoa, numa roda gigante, descreve um movimento circular e uniforme, cujo raio da trajetória é de 6,0 m. Se a pessoa leva 1 minuto para dar uma volta completa, determine: a) a freqüência do movimento, b) a velocidade angular c) a velocidade linear.

a) Pela relação: $f = \frac{1}{T}$ e com T = 1 minuto = 60 s, tem-se $f = \frac{1}{60}$ ou **0,16 Hz**.

b) Pela relação ω, tem-se: $\omega = \frac{2\pi}{60} = 0{,}10$ rad/s

c) Pela relação: $V = \omega R$, tem-se : $V = 0{,}10 . 6$ ou V = 0,60 m/s.

2.4 Exercícios Propostos

1 - Calcule a velocidade média para os casos:

a) Durante uma prova de atletismo, um atleta percorre 100 m em 9,0s.

b) Na prova de São Silvestre, um atleta realizou o percurso de 15 km em 50 minutos.

c) Numa prova de corrida de Fórmula Um, um piloto percorreu 350 km em 2 horas.

2 - Você observa que o tempo decorrido entre um relâmpago e o trovão correspondente foi de 3 segundos. Considerando-se que a velocidade do som é de 340 m/s, determine a ordem de grandeza da distância entre você e o trovão.

3 - Você num automóvel faz um percurso em 0,5 hora, desenvolvendo uma velocidade escalar média de 72 km/h. Se fizesse o mesmo percurso a uma velocidade escalar média de 100 km/h, quanto tempo levaria?

4 - Numa estrada seca, um carro com pneus em bom estado, pode conseguir frear com uma desaceleração de 5 m/s^2. A) Se um carro está inicialmente a 25 m/s, em quanto tempo ele pode ser parado? B) Qual a distância que ele percorre durante este tempo?

5 - Um automóvel realiza a viagem entre Campo Grande-MS e Costa Rica-MS em duas etapas. Na primeira etapa, percorre 200 km em 3 horas e na segunda, percorre 180 km em 150 minutos. Determine a velocidade média desenvolvida pelo automóvel.

6 - Considere as afirmações, sobre o movimento de um corpo, lançado verticalmente do solo para cima e submetido somente à aceleração da gravidade:

I - A módulo da velocidade com que o corpo é lançado para cima é o mesmo com que ele retorna ao solo.

II - No ponto mais alto da trajetória a velocidade do corpo é nula.

III - Durante todo o percurso, tanto na subida como na descida, a velocidade do corpo é constante.

IV - Durante todo o percurso, tanto na subida como na descida, a aceleração do corpo é constante.

V - O tempo de descida é maior do que o tempo de subida.

É correto afirmar que:

a) Somente I e III são corretas
b) Somente I e II são corretas
c) Somente I, II e IV são corretas.
d) Somente I, II e V são corretas.
e) Todas são corretas

7 - Considere uma criança sentada num banco de uma roda gigante num parque de diversões, que realiza, com velocidade constante, uma volta a cada 30 s. A) Descreva o tipo de movimento. B) Determine o período do movimento C) Determine a freqüência do movimento, D) Após 4 voltas completas, determine a distância angular e a distância linear percorrida. E) Calcule a velocidade média e a aceleração angular.

8 - Um automóvel corre a 72 km/h. Suas rodas têm 60 cm de diâmetro. Quantas rotações por minuto elas executam?

2.5 Atividades

1 - Fazer atividade 1 contida no site:

www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20042/Luciano/cinematica.html

2 - Considere a figura abaixo, representando o movimento de uma pequena bola sobre uma mesa. As posições são indicadas pelas letras: A, B, C, D, E e F.

Examinando-se a figura, responda as questões:

a - O movimento da bola foi retilíneo?

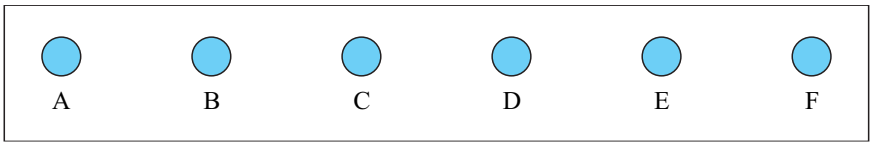
b - As posições da bola estão separadas por distâncias iguais?

c - O movimento da bola é uniforme ou variado?

d - Este movimento pode representar o movimento de um corpo em queda livre?

e - Se no instante de tempo t = 0, a bola encontra-se na posição A, e as posições consecutivas são marcadas a cada 2 s, faça um gráfico do espaço em função do tempo.

f - Através do gráfico, determine a velocidade do movimento.



4 - Numa prova de atletismo, foram medidos os valores da velocidade do atleta em função do tempo, conforme mostrado na tabela:

T (s)	0	1	2	3	4	5
V (m/s)	4	10	16	22	28	34

Com base nos dados da tabela, responda:

a) O movimento do atleta apresenta velocidade constante?

b) A velocidade inicial do atleta é nula?

c) Caso haja variação na velocidade, esta taxa de variação da velocidade é constante?

d) Se houver variação na velocidade do atleta, qual é esta variação?

Bibliografia

Carron, W., Guimarães, O. As faces da Física. Editora Moderna, São Paulo, 2005.

D. Halliday, R. Resnick e J.Walker; Fundamentos de Física; Vol.1; Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro - RJ, 2009.

Sears; Zemansky; Young e R. Fredman; Física I e II; Ed. Pearson, Addison Wesley. São Paulo -SP, 2008.

Okuno, E., Caldas, L.C. e Chow, C. Física para Ciências Biológicas e Biomédicas.Harper & Row do Brasil, São Paulo-SP, 1982.

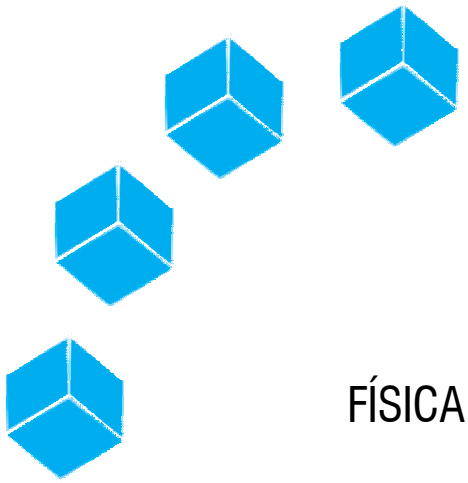
Ramalho Jr. F., Nicolau, G.F. e Toledo, P.A. Os fundamentos da Física-1. Mecânica. Editora Moderna, São Paulo, 2003.

http://educar.sc.usp.br/fisica/muvteo.html

htp://educar.sc.usp.br/física/muteoria.html

www.ufsm.br/gef/

BIOLOGIA



FÍSICA BÁSICA

Unidade 3

FORÇA, TRABALHO E ENERGIA

LICENCIATURA

Unidade 3

FORÇA, TRABALHO E ENERGIA

3.1 Introdução

Dinâmica é a parte da Mecânica que estuda os movimentos dos corpos e as causas que o produzem. Os primeiros estudos sobre este assunto foram conduzidos por Galileu Galilei (1564-1642), Johanes Kepler (1571-1630) e Isaac Newton (1642-1727). Todos tiveram grande participação nesta teoria, entretanto Isaac Newton estabeleceu uma relação entre a massa de um corpo e o seu movimento propondo três leis para explicar estas relações.

Inicialmente introduziremos o conceito de força e logo a seguir, estudaremos sua relação com os movimentos. Quando ocorre uma interação entre corpos, podendo esta interação ser de contato ou não, podem ocorrer variações na velocidade, deformações, ou ambos os fenômenos. As causas dessas variações ou deformações são denominadas de forças.

Quando soltamos uma pedra de uma determinada altura do solo, ela cai em direção ao solo de tal forma que sua velocidade vai aumentando à medida que ela cai. Este aumento de velocidade é causado pela força de atração da Terra; por outro lado, um jogador de tênis ao golpear a bola com a raquete, ele aplica uma força sobre a bola, que além de imprimir uma velocidade à bola, também causa deformações na mesma. Nos exemplos acima, no primeiro caso foi uma interação á distância e no segundo caso, foi uma força de contato.

3.2 Leis de Newton

Princípio da Inércia (Primeira Lei)

Um corpo isolado, ou seja, sem forças externas atuando sobre ele, tem a tendência natural de permanecer em repouso. Quando estiver em movimento retilíneo uniforme, sua tendência natural é de manter esta velocidade. Esta tendência natural do corpo se manter em repouso ou em movimento retilíneo uniforme é chamada de INÉRCIA. Exemplos típicos ocorrem, quando uma pessoa sentada num banco de um automóvel, inicialmente em repouso, é atirada contra o banco, quando o motorista arranca com o automóvel, ou seja, a tendência do passa-

geiro é de se manter em repouso em relação ao banco do automóvel. Por outro lado, quando o automóvel se encontra em movimento uniforme, ao ser freado, o passageiro é arremessado para frente, pois sua tendência é continuar em movimento com velocidade constante.

Princípio Fundamental da Dinâmica (Segunda Lei)

Este princípio estabelece uma relação entre a causa (força) e o seu efeito (variação da velocidade), que pode ser enunciado da seguinte forma:

A resultante das forças aplicadas a um corpo é igual ao produto de sua massa pela sua aceleração adquirida: $F_R = m.a$

Pelo fato da aceleração ser uma grandeza vetorial, a aceleração do corpo, terá a mesma direção e sentido da força resultante, já que a massa será sempre uma grandeza positiva.

O produto da massa pela aceleração nos leva a:

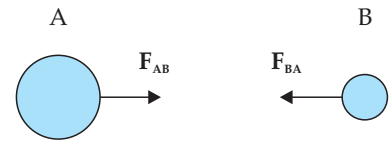
$F_R = m.a = kg.\ m/s^2 = 1\ N$

A unidade 1 N = 1 Newton, á unidade de força, no Sistema Internacional de Medidas (SI), onde a massa é dada em kg e aceleração em m/s^2.

Princípio da Ação e Reação (Terceira Lei)

Quando chutamos uma bola de futebol, aplicamos uma força na bola que por sua vez, também aplica uma força no pé; se um martelo exerce uma força sobre um prego, o prego também exerce uma força sobre o martelo. Estas forças são mútuas e têm a mesma intensidade, a mesma direção, porém sentidos opostos. Se chamarmos uma força de ação, por exemplo, a força do pé sobre a bola, a força da bola sobre o pé será chamada de reação. Este princípio pode ser enunciado da seguinte forma:

A toda ação, corresponde a uma reação, com a mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos.



$F_{AB} = F_{BA}$

$\mathbf{F_{AB} = - F_{BA}}$

Considere o corpo A representando a bola de futebol e B como sendo o pé do jogador, no exemplo acima. Sejam F_{AB} a força de A sobre B e F_{BA}, a força de B sobre A, então:

- apresentam a mesma intensidade: $F_{AB} = F_{BA}$

- mesma direção: horizontal

- sentidos opostos $F_{AB} = -F_{BA}$

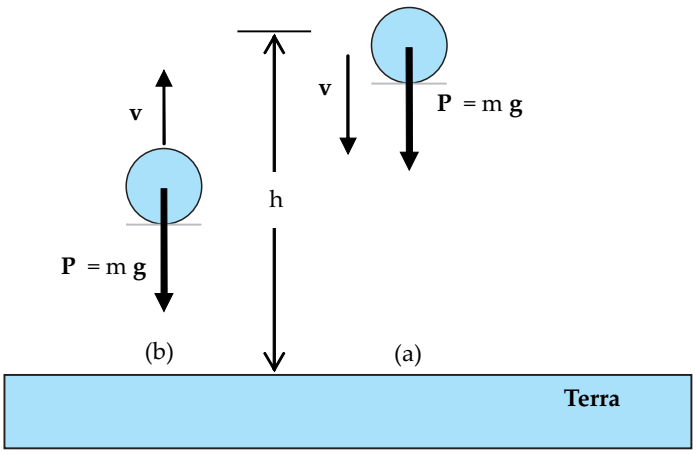
Note-se que como as forças atuam em corpos diferentes, e por possuírem a mesma intensidade, produzirão efeitos diferentes em cada corpo, dependerão da massa de cada corpo. No caso do jogador chutando a bola de futebol, pelo fato da massa da bola ser menor do que a massa do pé do jogador, a bola tenderá a adquirir uma maior aceleração do que o pé do jogador e, portanto uma maior velocidade.

3.3 Interações à Distância

Dois corpos podem interagir, sem que haja contato entre eles. Um corpo sofre a influência de outro através de uma interação que chamaremos de campos, e estas interações são denominadas de **forças de campo**. Exemplos deste tipo de interação são: campo gravitacional, campo magnético e campo elétrico.

A Terra gera ao seu redor, um campo gravitacional, onde todos os corpos ao seu redor, sofrem esta influência; são atraídos em direção ao centro da Terra. Esta força com que os corpos são atraídos é chamada de força peso, ou simplesmente peso do corpo. Quanto maior a massa de um corpo, mais fortemente ele é atraído.

Peso é a força de atração gravitacional que a Terra exerce sobre os corpos.



Conforme mostra a figura acima, tanto para o corpo descendo (a) ou subindo (b), a força peso é vertical e dirigida para baixo.

Todos os corpos que possuem massa podem influenciar os corpos ao seu redor. Uma pessoa de 60 kg de massa, quando colocada

na superfície da Terra, será atraída pela força gravitacional, entretanto ela também, atrairá a Terra, mas como sua massa é desprezível em relação à massa da Terra, esta não será atraída em direção à pessoa.

Quando um corpo está em movimento sob ação exclusiva da força gravitacional, ele adquire uma aceleração denominada de **aceleração da gravidade**, representada por **g.** Sendo m a massa do corpo, aplicando-se a segunda lei de Newton, F = m.a, obtemos:

$F_R = m.g$, ou **P = m.g, onde P = F_R**

Note-se que erroneamente, refere-se ao peso de uma pessoa como sendo, por exemplo, de 70 kg, quando na verdade, esta é a massa da pessoa enquanto que o peso é uma força. A massa é uma propriedade invariante do corpo, entretanto o seu peso dependerá do valor da aceleração da gravidade g. Este valor pode variar com a latitude e altura, mas na superfície terrestre, o seu valor é de aproximadamente 9,8 m/s^2, valor este que será adotado em nossos problemas. Quando nos referirmos ao peso da pessoa de massa 70 kg, deveremos dizer que o se peso é igual a:

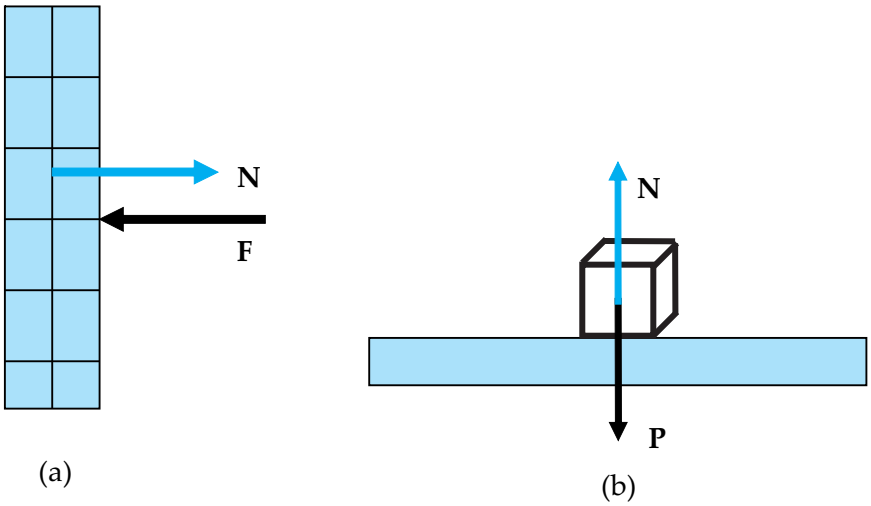
P = mg = 70 x 9,8 = 686 N

3.4 Interações de Contato

Quando dois corpos sólidos comprimem um ao outro, a rigidez destes corpos impede a interpenetração, resultando numa **força de contato** entre ambos. Quando freamos um automóvel que se move sobre uma estrada, existe uma força de contato entre os pneus e a superfície da estrada; analogamente ao colocarmos um livro sobre uma mesa existem forças de contato entre a mesa e o livro.

Dois corpos não podem ocupar o mesmo local ao mesmo tempo.

Força Normal ou de apoio (N): É o nome que damos para a força que "surge" quando apoiamos qualquer corpo sobre alguma superfície. O nome dela é normal, pois ela sempre aparece formando um ângulo de 90° com a superfície a qual o corpo está sendo apoiado. É fácil identificá-la, sempre que o corpo estiver apoiado sobre algo, existirá a força normal (**N**). Ela será representada por um vetor que sai ou entra na superfície onde o apoio acontece, formando com esta um ângulo de 90°. A figura abaixo, mostra a força Normal, em duas situações:



(a) (b)

Na situação (a) **F** representa uma força aplicada, por exemplo, sobre uma parede. Ao aplicar esta força, surgirá na parede, uma força **N** (normal), de mesma intensidade, direção e sentido oposto. No caso (b) um bloco encontra-se apoiado sobre uma superfície; a superfície de apoio exerce no corpo uma força normal N, que terá a mesma intensidade do peso do bloco, a mesma direção e sentido oposto.

O QUE OCORRERIA SE ESTAS FORÇAS TIVESSEM A MESMA DIREÇÃO, SENTIDOS OPOSTOS E DIFERENTES INTENSIDADES?

Força de Atrito

O fato de tentarmos fazer um corpo deslizar sobre uma superfície sem consegui-lo é justificado pelo aparecimento de uma força entre as superfícies de contato, que impede o movimento, denominado força de atrito estático.

Quando um corpo desliza sobre outro, surge uma força de contato que se opõe ao movimento, denominada de força de atrito dinâmica.

Estes dois tipos de forças de atrito surgem em decorrência das rugosidades das superfícies envolvidas no movimento. Apesar de ser uma força que dissipa energia, ela é de extrema importância em o nosso cotidiano, como, por exemplo, só conseguimos andar, devido à força de atrito entre a sola do calçado e o chão; um carro consegue melhores frenagens, quanto maior for atrito entre a roda do carro e a superfície da rodovia.

Você sabe que muitas vezes podemos empurrar algum corpo e este pode nem sair do lugar. Quando isso acontece, o que ocorre é que a força de atrito estático entre o corpo que está sendo empurrado e a superfície ao qual este está apoiado é igual à força que você

está aplicando; como ambas se cancelam, o corpo não sai do lugar. Mesmo aumentando esta força, o móvel ainda não inicia o seu movimento. O que acontece é que a força de atrito entre o corpo e a superfície de apoio aumentou também, e continua sendo igual à força que você está aplicando no corpo. Elas se cancelam e o corpo continua sem deslizar. Podemos concluir que existe uma força mínima, necessária para colocar o corpo em movimento. Para se determinar qual a força de atrito máxima que a superfície pode aplicar no corpo, e para saber também a partir de qual valor de força mínima aplicada o corpo começará a deslizar, deveremos utilizar a seguinte equação:

$$\mathbf{F_{at} = \mu_e N}$$

Nesta equação, F_{at} é a força de atrito máxima que a superfície pode aplicar no corpo, μ_e é o coeficiente de atrito estático (que depende das duas superfícies que estão em contato) e N é a força normal**.** Devemos notar que**:** μ_e é um número que não tem unidade e quanto mais ásperas forem as superfícies, maior será o valor de μ_e.

Suponha agora que você esteja empurrando o mesmo corpo do exemplo que estávamos estudando, ou seja, aplicando uma força sobre ele, e esta força é agora maior do que a força de atrito estático máxima. Por causa disso, o corpo começará deslizar, e embora a força de atrito, que tende sempre a dificultar o movimento, continue existindo, ela será menor, e será calculada de uma maneira ligeiramente diferente. Para encontrar o valor da força de atrito dinâmico, tem-se:

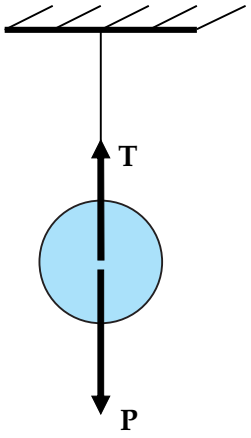
$$\mathbf{F_{at} = \mu_d N}$$

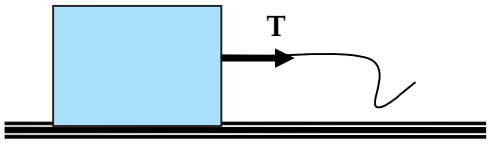
Nesta equação, F_{at} é a força de atrito máxima que a superfície pode aplicar no corpo, μ_d é o coeficiente de atrito dinâmico (que depende das duas superfícies que estão em contato) e N é a força normal**.** Apesar das duas equações serem semelhantes, devemos notar que $\mu_e > \mu_d$ e, portanto a força de atrito estático é sempre maior do que a força de atrito dinâmico, isto justifica o fato de ser "mais fácil" empurrar um corpo em movimento do que colocar este corpo em movimento, a partir do repouso.

Força de tração

Quando esticamos um fio, exercemos sobre ele uma tensão ou uma força de tração. Esta força é transmitida pelo fio, de uma extremidade a outra. Quando nos referimos a uma força de tração num fio, estamos nos referindo a um fio ideal, ou seja, inextensível e que tenha massa desprezível, em relação à massa dos corpos que estão sendo tracionados por ele. Quando a mão de uma pessoa puxa um corpo através de um cabo, ou um fio, a mão exerce uma

força T (tração) no cabo, que por sua vez, também exerce uma T na mão da pessoa. Quando um corpo está dependurado por um fio, o peso do corpo se equilibra com a tração.

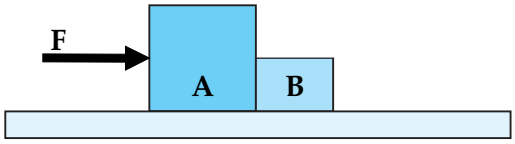




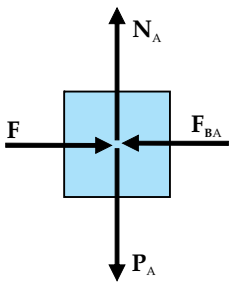
3.5 Aplicações das Leis de Newton

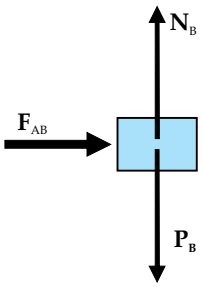
1- Sistemas de blocos

a) Quando dois blocos sofrem ação de uma força e permanecem em contato e apoiados numa mesma superfície, eles sofrem os mesmos deslocamentos num mesmo intervalo de tempo. Logo, em todo o instante de tempo, eles têm a mesma velocidade e a mesma aceleração. Considere dois bloco A e B, de massas $m_A = 4$ kg e $m_B = 2$ kg , apoiados numa superfície lisa, sem atrito, colocados em movimento, quando uma força F = 18 N é aplicada:



Isolando-se os blocos e fazendo um esquema das forças que agem em cada bloco, temos:





Onde:

F= força aplicada no conjunto de blocos A e B.

P_A e P_B : Peso dos blocos A e B.

N_A e N_B: forças normais dos blocos A e B

F_{BA}: força do bloco B sobre o bloco A

F_{AB}: força do bloco A sobre o bloco B

Como os dois blocos estão em contatos, temos: $F_{BA=}$ F_{AB} (ação-reação),

E aplicando-se o princípio fundamental da Dinâmica, para cada bloco, tem-se;

Bloco A: $F - F_{BA} = m_A \cdot a$

Bloco B: $F_{AB} = m_B \cdot a$

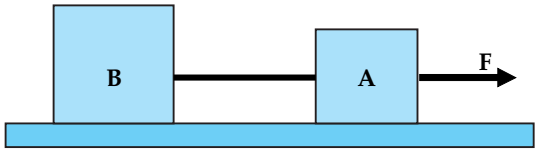
Somando-se as duas expressões, com $F_{BA=}$ F_{AB}, tem-se:

$F = (m_A + m_B).a$, substituindo os valores:

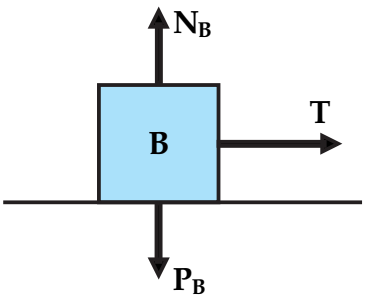
$18 = (4 + 2)\ a$, logo $a = 3\ m/s^2$.

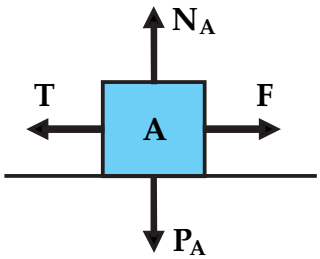
Para o cálculo da aceleração, os blocos A e B, podem ser considerados como um único corpo de massa $(m_A + m_B)$, sujeito a força resultante **F,** já que as duas forças $\mathbf{F_{BA}}$ e $\mathbf{F_{AB,}}$ se anulam.

b) Dois blocos A e b de massas $m_A = 4$ kg e $m_B = 2$ kg , apoiados numa superfície lisa, sem atrito, estão ligados por um fio ideal. Aplica-se no bloco A uma força F = 18 N. Determine: a) aceleração dos blocos, b) a intensidade da força de tração no fio.



Isolando-se cada bloco:





Aplicando-se a primeira lei de Newton, tem-se:

Bloco A: $F - T = m_A \cdot a$

Bloco B: $T = m_B \cdot a$

Somando-se as duas expressões: $F = (m_A + m_B).\ a$

3.6 Trabalho e Energia

No mundo atual, uma das grandes preocupações, diz respeito ao consumo e produção de energia. A energia encontra-se presente em todas nossas atividades; ao ascendermos uma lâmpada ou ligarmos um liquidificador, estamos utilizando a energia elétrica; quando nos alimentamos, estamos fornecendo energia ao nosso corpo, ou quando locomovemos de carro ou ônibus, estamos utilizando energia proveniente dos combustíveis. No universo, existem várias fontes de energia: naturais ou artificiais, entretanto a maior fonte de energia é o Sol, que emite esta energia através de ondas eletromagnéticas.

A energia pode ser encontrada de várias formas: elétrica, mecânica, térmica, nuclear, luminosa ou química. Uma fonte de energia pode gerar energia de várias formas: uma lâmpada incandescente pode gerar tanto energia luminosa quanto térmica.

Um dos princípios da natureza diz respeito a conservação da energia: A energia não pode ser criada ou destruída, somente transformada. Um automóvel transforma energia química, proveniente da queima de combustível em energia mecânica (movimento); da mesma forma que a corrente elétrica ao atravessar um filamento de uma lâmpada produz energia luminosa enquanto que reações nucleares no interior de um reator produzem energia elétrica.

3.7 Trabalho de uma Força Constante

É muito comum, em nosso dia a dia, ouvirmos o termo: trabalho, que nos soa como um esforço físico ou mesmo um esforço "mental". Em física a palavra trabalho está associada a forças e não a corpos: diz-se trabalho realizado por uma força e não trabalho realizado por um corpo.

O trabalho **W** realizado por uma força F constante, paralela e de mesmo sentido que o deslocamento **d** do corpo é definido como o produto do módulo da força **F** pelo módulo do deslocamento **d** do corpo:

$$W = F \cdot d$$

Se a força é constante, paralela e de sentido contrário ao deslocamento d do corpo, o trabalho realizado por esta força será dado por:

$$W = - F \cdot d$$

De uma forma geral podemos definir o trabalho realizado por uma força como:

$$W = \pm F \cdot d.$$

Quando o trabalho é positivo, força e deslocamento estão no mesmo sentido, o trabalho é chamado de Trabalho Motor e quando o trabalho é negativo, força e deslocamento estão em sentidos contrários, o trabalho é chamado de Trabalho Resistente. Quando um corpo é atirado verticalmente para cima, o trabalho realizado pela força peso é negativo, pois a força peso é dirigida para baixo e o deslocamento para cima. Entretanto, quando o corpo é abandonado de uma determinada altura, o trabalho da força peso será positivo, pois o peso e deslocamento estão dirigidos para baixo.

Exemplo: Uma bola de vôlei, com massa de 300 g é atirada verticalmente para cima e atinge uma altura de 12 m. a) Determine o trabalho realizado pela força peso sobre a bola b) No movimento de descida, qual será o trabalho da força peso sobre a bola? Despreze a resistência do ar.

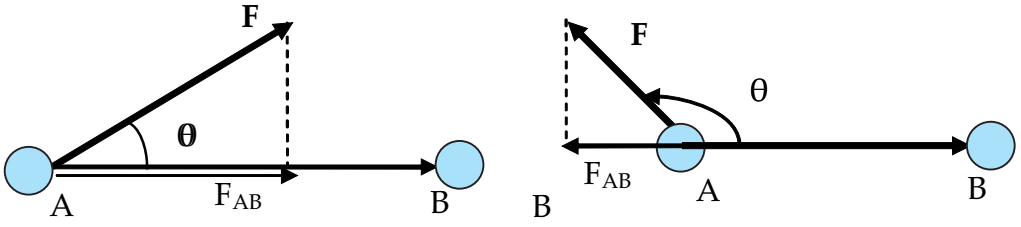
a) o trabalho é dado por: W = F . d, onde F = -mg, pois o sentido da força é contrário ao deslocamento; logo W = - 0,30 . 10. 12 = - 36 J.

Note-se que o trabalho será negativo, pois ele se opõe ao movimento, de tal forma que a velocidade da bola diminuirá à medida que ela sobe.

b) Durante a descida a força peso e o deslocamento estão no mesmo sentido e:

W = + F.d = 0,30 . 10 . 12 = +36 J

As forças que realizam trabalho, nem sempre são paralelas ou antiparalelas ao deslocamento do corpo. Considere a figura abaixo, onde a força **F** e o deslocamento AB (**d**) formam um ângulo θ.

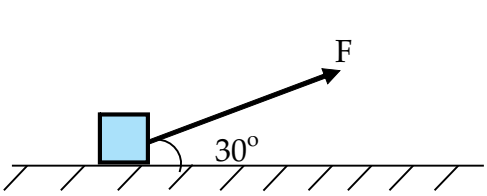


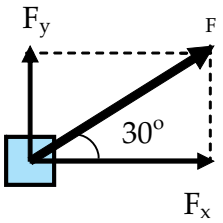
Na figura (a) a força F forma um ângulo θ com o deslocamento d, entretanto somente a componente (F_{AB}) da força F, na direção do deslocamento é que produzirá trabalho, ou seja:

$W = F_{AB} \cdot d$, mas $F_{AB} = F \cos \theta$ e **$W = F \cos \theta \cdot d$**

Exemplo: Uma caixa, de massa 8 kg é puxada através de uma corda, de tal forma que ela forma uma inclinação de 30º com direção horizontal, como mostra a figura. Sabendo-se que a intensida-

de da força F é 40 N e que a caixa se deslocou horizontalmente por 10 m, determine a) o trabalho realizado sobre a caixa. B) a aceleração da caixa. (despreze a força de atrito entre a mesa e a caixa)





a) A força F deve ser decomposta em duas direções: na horizontal (x) e na vertical (y). A componente vertical F_y será perpendicular à direção do movimento e, portanto não realizará trabalho. Somente a componente horizontal F_x, que se encontra na direção do deslocamento, é que realizará trabalho:

$F_x = F \cos 30º \Rightarrow Fx = 40 \times 0{,}86 = 34{,}4$ N

Logo o trabalho será: $W = F. \cos 30º\ d \Rightarrow W = 34{,}4 \times 10 \Rightarrow$ **W = 344 J**

b) Pela equação F = m a, tem-se $a = F_x/m \Rightarrow a = 34{,}4/8 \Rightarrow$ **a = 4, 3 m/s².**

3.8 Potência

Ao adquirirmos uma bomba de água, para elevar a água do solo e encher uma caixa de água situada a alguns metros de altura, nos preocupamos não só com a quantidade de água que será levada para a caixa de água, como também com a rapidez com que a caixa estará cheia. Não estamos preocupados somente com a quantidade de trabalho realizado, mas também com a rapidez com que este trabalho será realizado. A grandeza que representa a rapidez com que um trabalho é realizado chama-se **Potência** de uma força. A potência média (Pm) de uma força é definida como:

$$Pm = \frac{\Delta W}{\Delta T}$$

Para pequenos intervalos de tempo, a potência média de transforma na potência instantânea, ou simplesmente Potência (P) que é dada por:

$$P = \frac{W}{\Delta T}$$

A unidade de trabalho é o joule, que dividido pelo tempo, em segundos, nos fornece:

Joule/segundo = watt (**w**). Podemos também utilizar múltiplos de watt:

1 quilowatt (kw) = 1000 watts (1 kw = 1000w) ou ainda:

1 megawatt (Mw) = 1.000.0000 watts (1 Mw = 10^6 w)

3.9 Teorema do Trabalho Energia

Consideremos um corpo de massa m movendo-se com uma velocidade V_o e que após um deslocamento d, sua velocidade passa para V. Para que ocorresse a variação da velocidade, foi necessária a atuação de uma força F, realizando um trabalho sobre o corpo. É verificado que quando um corpo sofre um deslocamento, sua velocidade aumentará se o trabalho for positivo (W > 0), diminuirá se o trabalho for negativo (W < 0) e permanecerá constante se o trabalho for nulo (W = 0).

Usando-se a equação de Torricelli: $V^2 = V_o^2 + 2\,a\,.d$, tem-se:

$$a.d = (V^2 - V_o^2)/2,$$

Por outro lado o trabalho é definido como: W = F.d = m.a.d;

Substituindo-se o produto **a.d** na equação do trabalho, obtém-se:

$$W = \frac{1}{2} mV^2 - \frac{1}{2} mV_o^2 \qquad \text{ou} \qquad W = E_{cf} - E_{ci}$$

A grandeza $\frac{1}{2} mV^2$ denomina-se Energia Cinética E_c do corpo e está associada diretamente com sua massa e velocidade.

O trabalho realizado pela força resultante que atua sobre o corpo é igual à variação de sua energia cinética:

Este teorema é muito útil, pois relaciona a energia do corpo, com sua velocidade, conhecendo-se sua velocidade é possível determinar as forças que atuam no movimento. Quando $E_{cf} > E_{ci}$ o trabalho será positivo, pois a velocidade final é maior do que a velocidade inicial e $E_{cf} < E_{ci}$ o trabalho será negativo, com a velocidade final menor do que a inicial. Considere um automóvel médio, com massa aproximadamente 500 kg, movendo-se com uma velocidade de 20 m/s (72 km/h) e um caminhão com massa de 20.000 kg movendo-se com a mesma velocidade do automóvel. Apesar de estarem com mesma velocidade, a energia cinética do caminhão é muito maior do que a do automóvel. **Quais são estas energias cinéticas?**

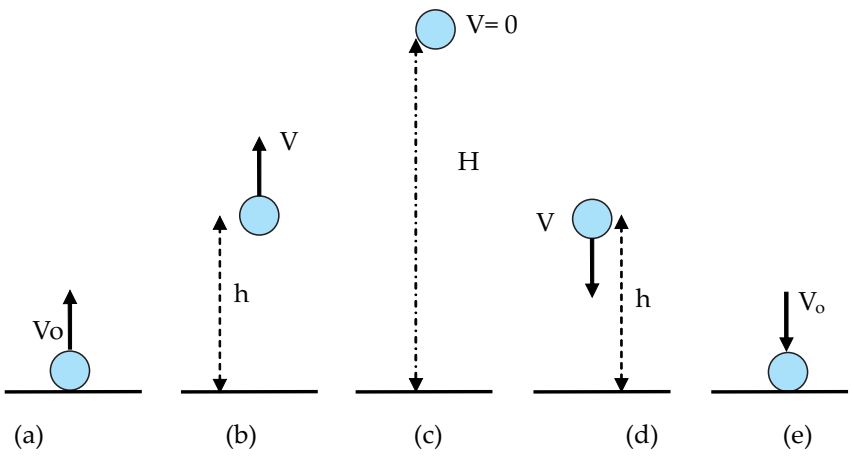
Um corpo ganha ou perde energia cinética, porque ele interage com outros corpos que exercem forças sobre ele e esta variação de energia cinética é igual ao trabalho realizado por estas forças. Podemos dizer que esta variação de energia é armazenada em um sistema, na forma de trabalho, para ser utilizada posteriormente. Para erguermos uma pedra que se encontra no solo e colocá-la sobre uma mesa a certa altura do solo, gastaremos energia para erguê-la, pois a pedra possui massa e, portanto, peso. É razoável pensarmos que a energia gasta para vencer a força peso ficará armazenada no sistema e que mais tarde, quando a pedra cair da mesa, esta energia será convertida em energia cinética. Este exemplo mostra que deve existir uma energia associada à posição que o corpo ocupa que é chamada de Energia Potencial Gravitacional (Ep). Assim um corpo de massa m, colocado a uma altura h acima do solo, possui uma energia potencial gravitacional, em relação a superfície da Terra, dada por:

$$\mathbf{Ep = m\ g\ h}$$

É importante notar que quando dizemos que um corpo possui energia potencial gravitacional, devemos mencionar o referencial adotado; um livro sobre uma mesa, de altura 90 cm, possui energia potencial em relação ao solo, mas sua energia potencial é nula, em relação à superfície da mesa.

3.10 Conservação da Energia

Em processos mecânicos, a energia pode se transformar de cinética para potencial ou vice versa. Um corpo quando é atirado verticalmente para cima, com uma velocidade inicial Vo, na ausência de forças dissipativas (força de resistência do ar) ele retorna ao solo, com a mesma velocidade inicial Vo. A figura mostra as várias fases do movimento.



Em (a) o corpo é lançado com velocidade inicial Vo; como altura é nula, o corpo possui somente energia cinética. À medida que ele ganha altura (b), ele ganha energia potencial; sua velocidade vai diminuindo, e consequentemente, também sua energia cinética. No ponto mais alto (c), a velocidade do corpo é nula sua energia é toda potencial. Ao retornar ao solo (d), o corpo vai perdendo altura e consequentemente energia potencial, por outro lado sua velocidade vai aumentando e ele vai ganhando energia potencial, até atingir novamente o solo (e), quando sua energia é toda cinética. Neste processo não houve perda de energia mecânica, a energia se transformou de cinética para potencial e vice-versa.

Em um sistema conservativo, a energia mecânica total permanece constante:

$$\mathbf{E_{mec} = E_c + E_{p.}}$$

Exemplo: Uma maçã é atirada verticalmente para cima com uma velocidade de 10 m/s. Desprezando-se a resistência do ar e adotando aceleração da gravidade g como 10 m/s², determine a altura máxima que a maçã atinge.

Pela conservação da energia:

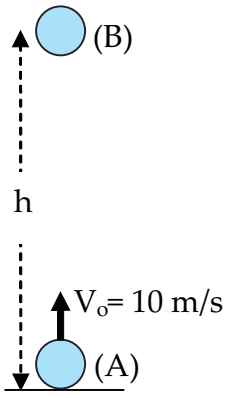
Energia Mecânica em A = Energia Mecânica bem

$$\frac{1}{2} mV_A^2 + mgh_A = \frac{1}{2} mV_B^2 + mgh_B$$

Eliminando-se a massa m para todos os termos, com:

$h_A = 0$ e $V_B = 0$ (ponto mais alto), tem-se

$$\frac{1}{2} 10^2 = 10.\ h_B \text{ ou } \mathbf{h_B = 5\ m}$$



3.11 Exercícios Propostos

Quando não mencionado, adote a aceleração da gravidade como g = 10 m/s².

1 - Um jovem segura uma mochila de 5,0 kg. A) Se ele quiser erguê-la, qual será a força necessária para que ela se movimente com velocidade constante? B) E com uma aceleração de 1,0 m/s²?

2 - A aceleração da gravidade na superfície da Terra é de 9,8 m/s², enquanto que na superfície da Lua a aceleração da gravidade é de 1,6 m/s². a) Determine o peso do corpo, cuja massa é de 70 kg, na Terra, b) Determine o peso e a massa do corpo na superfície da Lua.

3 - Um jovem deseja empurrar um caixote cúbico de massa 20 kg, sobre uma superfície horizontal e áspera. Ele tem duas possibilidades para realizar a tarefa: aplicando uma força constante F= 100 N, na direção horizontal e paralela à superfície ou aplicar a mesma força, porém numa direção que forma um ângulo de 30º com a horizontal. Considere que o movimento seja na direção horizontal e que o coeficiente de atrito dinâmico seja de 0,25. Para ambas as possibilidades, determine a aceleração do caixote.

4 - Considere dois blocos de massa M_a e M_b ($M_a > M_b$), com M_a sendo colocado sobre M_b e ambos sobre uma balança.

a) Esquematize as forças que atuam sobre cada um dos blocos.

b) Qual é a leitura na balança.

c) Qual é a natureza da força, cuja intensidade é indicada na balança?

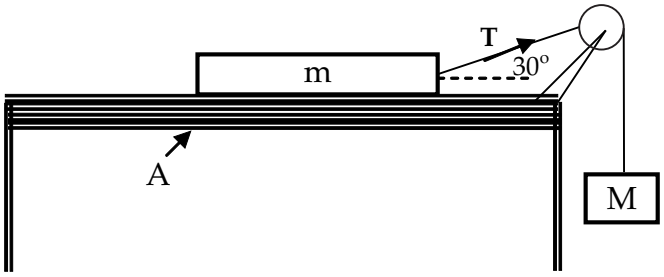
d) Sabendo-se que a massa da balança é M_c, qual é a ação da Terra sobre o conjunto formado pelos blocos e pela balança?

e) Qual é a reação do conjunto sobre a Terra?

f) Qual força de contato será maior: aquela entre os blocos a e b ou aquele entre o bloco b e a balança?

5 - A locomoção controlada de animais se deve a existência da força de atrito entre o chão e os pés ou patas. Explique o andar normal de ser humano com base na análise das forças que atuam sobre os pés.

6 - Considere um paciente de massa m, submetido ao tratamento de tração, como indicado no esquema abaixo. Determine qual é a máxima massa M que deve ser utilizada para produzir uma força de tração T, sem que o paciente se desloque ao longo da mesa A? Considere que a massa do paciente é de 60kg e o coeficiente de atrito entre ele e a mesa é de 0,20.



7 - Ao ser bombardeado pelo coração, num regime de baixa atividade, 200 g de sangue adquirem uma velocidade de 30 cm/s. Com uma atividade mais intensa do coração, essa mesma quantidade de sangue atinge uma velocidade de 60 cm/s. a) Calcule, em ambos os casos, a energia cinética que essa massa de sangue adquire e o trabalho pelo coração. B) Se a velocidade da massa de sangue se mantivesse constante, qual seria o trabalho realizado pelo coração?

8 - a) Determine o trabalho realizado por um atleta para erguer um alteres, de 30 kg, do solo até uma altura de 2,0m. b) Se o atleta levou 2,0 s para realizar esse trabalho, qual a potência desenvolvida por ele? c) Qual a variação de energia potencial do alteres? d) Soltando-se o alteres desta altura, descreva as transformações de energia.

9 - Assinale a afirmativa errada:

a) Uma partícula está em "equilíbrio" quando está em "repouso" ou em "movimento retilíneo uniforme".

b) A resultante das forças que agem sobre uma partícula em equilíbrio é nula.

c) Quando um corpo cai para Terra, a Terra cai para o corpo.

d) Quando um corpo está apoiado na superfície da Terra, e portanto, em contato com ela, as forças que a Terra exerce sobre o corpo são: uma de ação à distância (o peso do corpo) e outra de contato (força normal)

e) quando um homem sobre patins empurra uma parede para frente, ele adquire um movimento para trás e a parede continua em repouso, porque a força que o homem exerce sobre a parede é menor que a força que a parede exerce sobre o homem.

10 - Assinale a(s) alternativa(s), na qual a força resultante é nula:

a) Um carro, subindo uma rua de forte declive, em movimento retilíneo uniforme.

b) Um carro, percorrendo uma praça circular, com movimento uniforme.

c) Um menino, balançando-se em uma gangorra, ao atingir o ponto mais alto de sua trajetória.

d) Um menino, balançando-se em uma gangorra, ao atingir o ponto mais baixo de sua trajetória.

3.12- Bibliografia

Carron, W., Guimarães, O. As faces da Física. Editora Moderna, São Paulo-SP, 2005.

D. Halliday, R.Resnick e J.Walker; Fundamentos de Física; Vol.1; Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro-RJ, 2009.

Sears; Zemansky; Young e R.Fredman; Física I; Ed. Pearson, Addison Wesley. São Paulo -SP, 2008.

Okuno, E., Caldas, L.C. e Chow, C. Física para Ciências Biológicas e Biomédicas.Harper & Row do Brasil, São Paulo-SP, 1982.

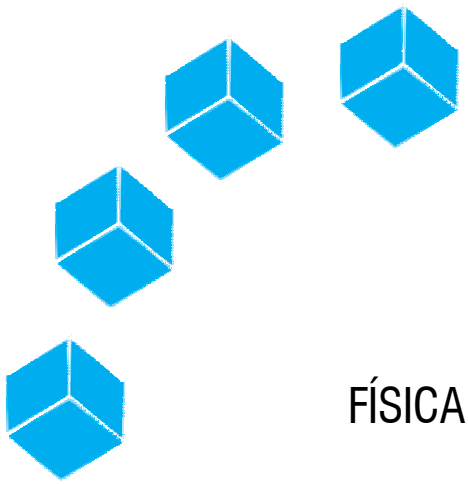
Ramalho Jr. F., Nicolau, G.F. e Toledo, P.A. Os fundamentos da Física-1. Mecânica. Editora Moderna, São Paulo, 2003.

http://educar.sc.usp.br/fisica/dinateo.html

www.fisica.net/mecanicaclassica

www.ufsm.br/gef/

BIOLOGIA



FÍSICA BÁSICA

Unidade 4

TERMOLOGIA

LICENCIATURA

Unidade 4

TERMOLOGIA

4.1 Introdução

Em nosso cotidiano, freqüentemente estamos nos deparando com fenômenos que envolvem a "temperatura"; seja a temperatura do corpo humano, dos alimentos, do tempo, do motor do automóvel, enfim, praticamente tudo em nossa volta envolve a "temperatura". Por outro lado, fenômenos que envolvem a transmissão de calor, como por exemplo, a proteção da radiação solar, o cabo quente de uma panela, um agasalho eficiente para o frio, o aquecimento global, também fazem parte de nosso cotidiano. O ramo da Física que estuda a temperatura e o calor é chamado de Termologia.

A termologia estuda os aspectos microscópicos e macroscópicos dos fenômenos que ocorrem na natureza. Como aspectos macroscópicos podemos citar o fato de uma substância variar o comprimento e volume, quando submetido a uma variação de temperatura ou ainda mudar de estado, de acordo com sua temperatura. Microscopicamente, a termologia estuda a energia interna das moléculas e suas interações com outras moléculas. Ambos os aspectos se completam, para explicar os fenômenos que ocorrem na natureza.

Inicialmente devemos discutir dois importantes conceitos na termologia: Temperatura e Calor, já que as algumas propriedades mecânicas dos materiais dependem da temperatura: volume e cor, enquanto que muitos sistemas físicos realizam trabalho devido às trocas de calor, como, por exemplo, caldeiras térmicas e motor a combustão.

4.2 Calor

Os corpos são constituídos por moléculas, que estão em constante estado de agitação. A energia associada a este estado de agitação é denominada de energia interna. Esta energia depende da velocidade com que as partículas se movimentam e também das colisões com as outras moléculas, quanto maior a agitação destas moléculas maior a energia interna. Verifica-se que ao aquecer uma substância, a medida que a substância vai ficando mais quente, há uma maior agitação das moléculas e ao diminuirmos este aqueci-

mento; quando a substância fica mais fria, o grau de agitação diminui. Os termos quente e frio referem-se à noção de nosso tato, onde podemos associar: corpo mais quente com temperatura mais alta e corpo mais frio com temperatura mais baixa.

Se dois corpos, um quente e um frio forem colocados em contato, verifica-se que uma parcela da energia interna do corpo quente passará para o corpo mais frio; esta energia em trânsito é chamada de **calor**. Em termos de temperatura, podemos definir calor, como a energia térmica que pode se transferir de um corpo para outro, quando entre eles houver uma diferença de temperatura.

4.3 Temperatura

Quando você for medir a largura de uma mesa, por exemplo, terá que decidir qual escala usar. Talvez você use o metro, talvez o centímetro. Pois bem, quando você precisar medir temperatura também terá que escolher uma escala. As três mais conhecidas e utilizadas são as escalas **Celsius** (**ºC**), **Fahrenheit** (**ºF**) e **Kelvin** (**K**).

O aparelho usado para se obter valores numéricos para a temperatura chama-se **termômetro**, e o seu princípio de funcionamento está ligado à dilatação térmica dos corpos, ou seja, a propriedade dos corpos dilatarem ou se contraírem, devido à variação de temperatura. Dentro dos termômetros geralmente existe mercúrio (um metal líquido), que ao sofrer mudança de temperatura dilata ou se contrai, subindo ou descendo no tubo. O quanto ele sobe ou o quanto ele desce nos dá valores de temperaturas, que dependem da escala usada.

4.3.1 Escala Kelvin

Já vimos que a temperatura é uma grandeza que mede o nível de agitação das moléculas de um corpo. Quanto maior a agitação maior a temperatura, e quanto menor a agitação, menor a temperatura. A temperatura de um corpo está relacionada com o grau de agitação das suas moléculas, se não há agitação a temperatura deveria ser igual à zero. Este estado de ausência de agitação é conhecido como zero absoluto, e não pode ser experimentalmente alcançado, embora possa se chegar muito próximo dele. A escala Kelvin adota como ponto de partida (**0 K**) o zero absoluto, ou seja, o ponto onde ocorre esta ausência total de vibração das moléculas.Nesta escala o gelo se forma a **273K** e a água ferve a **373K** (ao nível do mar). Esta escala é muito usada no meio científico, já que ela pertence ao Sistema Internacional (SI).

4.3.2 Escala Fahrenheit

Esta escala foi criada pelo inventor do termômetro de mercúrio, Daniel Gabriel Fahrenheit, lá pelos anos de 1714. Para isso ele escolheu dois pontos de partida, chamados atualmente de pontos fixos. Inicialmente ele colocou seu termômetro, ainda sem nenhuma escala, dentro de uma mistura de água, gelo e sal de amônio. O mercúrio ficou estacionado em determinada posição, a qual ele marcou e chamou de zero. Depois ele colocou este mesmo termômetro para determinar um segundo ponto, a temperatura do corpo humano. Quando o mercúrio novamente estacionou em determinada posição ele a marcou e chamou de 100. Depois foi só dividir o espaço entre o zero e o 100 em cem partes iguais. Estava criada a escala Fahrenheit. Depois disso, quando Fahrenheit colocou seu termômetro graduado numa mistura de água e gelo, obteve o valor de **32ºF**, e quando colocou-o em água fervendo obteve o valor de **212ºF**. Portanto, na escala Fahrenheit a água vira gelo a 32ºF e ferve a 212ºF. Esta escala é mais usada nos países de língua inglesa, com exceção da Inglaterra, que já adotou o Celsius.

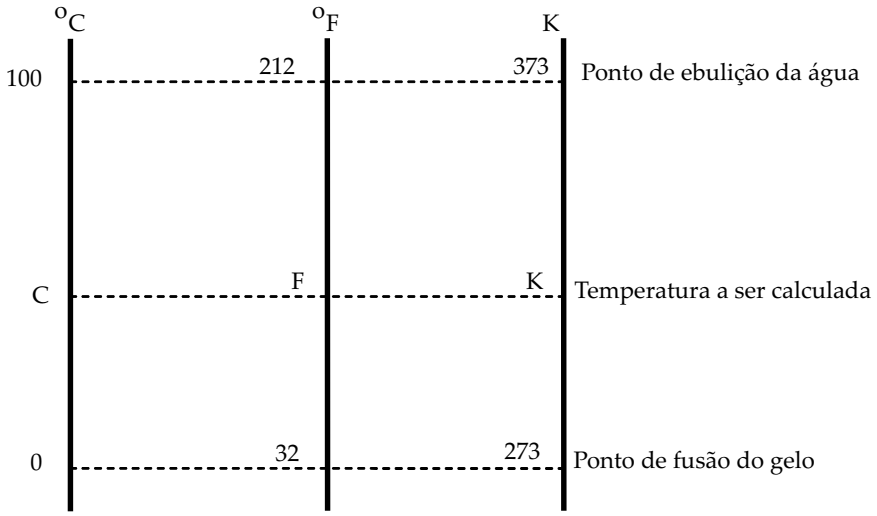
4.3.3 Escala Celsius

A escala Celsius foi criada por Anders Celsius, um astrônomo sueco, em 1742. Ele escolheu como pontos fixos, os quais a sua escala seria baseada, os pontos de fusão do gelo (quando o gelo vira água) e de ebulição da água (quando a água ferve). Ele colocou um termômetro dentro de uma mistura de água e gelo, em equilíbrio térmico, e na posição onde o mercúrio estabilizou marcou o ponto zero. Depois colocou o termômetro na água em ebulição e onde o mercúrio estabilizou marcou o ponto 100. Estava criada a escala Celsius. Sua vantagem era que ela poderia ser reproduzida em qualquer canto do planeta, afinal, ao nível do mar, a água sempre vira gelo e ferve no mesmo ponto, e agora também na mesma temperatura. A escala Celsius é a mais comum de todas as escalas termométricas.

4.4 Relação entre as Escalas Termométricas

A figura abaixo mostra a relação existente entre elas levando-se em conta o ponto de ebulição da água e fusão do gelo. Note que estes pontos mudam dependendo da escala adotada; para a temperatura de fusão do gelo existem três valores: **0ºC**, **32ºF** ou **273K**;

todas representam a mesma temperatura. Seria mais ou menos se uma pessoa falasse que andou 2 metros enquanto outra falasse que andou 200 centímetros. Embora os números sejam diferentes, a distância é a mesma nos dois casos.



Através da figura acima, obtém-se uma expressão que relaciona as três escalas, onde se pode converter: **ºF** em **ºC**, **K** em **ºC** e **ºF** em **K:.**

$$\frac{C}{5} = \frac{F - 32}{9} = \frac{K - 273}{5}$$

Exemplo: A temperatura média, numa determinada cidade, é de 27 °C. Transforme esta temperatura em Kelvin e Fahrenheit

Usando-se a relação:

$C = K - 273$, tem-se $K = C + 273 \Rightarrow K = 27 + 273 = 300K$

Usando-se a relação**:**, $\frac{C}{5} = \frac{F - 32}{9}$

tem-se**:** $\frac{27}{5} = \frac{F - 32}{9}$ $F - 32 = 48{,}6$, logo: $F = 80{,}6$ °F.

4.5 Dilatação Térmica

Você já notou que quando você ferve o leite dentro de um recipiente, ele aumenta de volume ou quando você coloca o termômetro dentro de um líquido aquecido, o mercúrio em seu interior sobe pelo bulbo aumentando o seu volume. Este fato também ocorre com sólidos e gases, ou seja, de uma forma geral, quando corpos (sólidos, líquidos ou gasosa) são submetidos a um aumento de temperatura, o seu volume aumenta.

Muitas vezes, a dilatação só pode ser comprovada por meio de instrumentos. Mas ela pode também ser entendida pelo movimento das moléculas. Assim quando um corpo é aquecido, suas moléculas vibram mais intensamente, e por isso elas necessitam de um maior espaço, fazendo com que o corpo aumente suas dimensões.

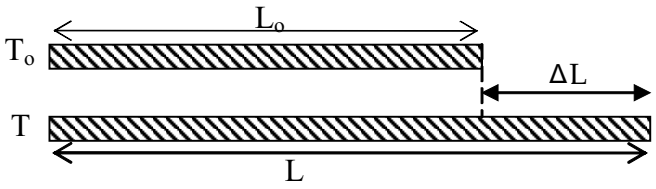
4.5.1 Dilatação dos sólidos

Os sólidos que melhor se dilatam são os metais, principalmente o alumínio e o cobre. Temos um bom exemplo disso num vidro de conserva com a tampa metálica emperrada. Para abri-lo, basta mergulhar a tampa na água quente; como o metal se dilata mais que o vidro, a tampa logo fica frouxa. Existem três tipos de dilatação: linear, de área e de volume.

4.5.2 Dilatação Linear

É aquela que predomina a variação em uma única dimensão, ou seja, o comprimento. Dilatação dos trilhos de trem, cabos de energia, barras, são exemplos desta dilatação.

Consideremos uma barra de comprimento inicial L_o, a uma temperatura T_o. Aumentando a temperatura para T o seu comprimento será L:.



Verifica-se experimentalmente que a variação no comprimento da barra ΔL depende do tipo de material, e é diretamente proporcional ao comprimento inicial L_o e da variação de temperatura ΔT, ou seja:

$$\Delta L = L_o \alpha \Delta T,$$

Onde, $\Delta L = L - L_o$, é a variação do comprimento,

$\Delta T = T - T_o$, é a variação de temperatura,

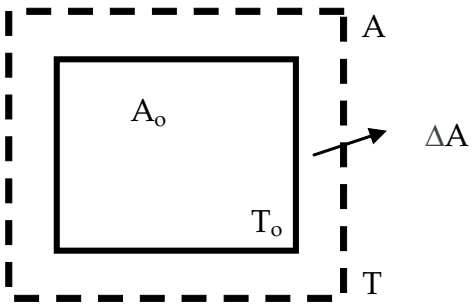
α é o coeficiente de dilatação linear, que é característico de cada material.

A tabela abaixo apresenta os coeficientes de dilatação linear de alguns materiais.

MATERIAL	α ($^oC^{-1}$)
Porcelana	$3{,}0 \times 10^{-6}$
Vidro Pirex	$3{,}0 \times 10^{-6}$
Vidro comum	$8{,}0 \times 10^{-6}$
Ferro	$12{,}0 \times 10^{-6}$
Cobre	$17{,}0 \times 10^{-6}$
Zinco	$26{,}0 \times 10^{-6}$
Chumbo	$27{,}0 \times 10^{-6}$
Platina	$9{,}0 \times 10^{-6}$

4.5.3 Dilatação Superficial

Seja uma placa metálica retangular de lados A e B. Ao aquecermos esta placa, devido à dilatação linear, tanto o lado A como o B irão aumentar o seu comprimento, portanto a área da placa também irá aumentar. Dilatação superficial é aquela em que ocorre a dilatação em duas dimensões. Consideremos uma placa de área inicial A_o, a uma temperatura T_o, aumentando-se a temperatura para T a sua área será A.:



Da mesma forma que a dilatação linear, verifica-se experimentalmente que:

$$\Delta \mathbf{A} = \mathbf{A_o}\ \beta\ \Delta \mathbf{T}$$

Onde, $\Delta A = A - A_o$, é a variação da área,

$\Delta T = T - T_o$, é a variação de temperatura,

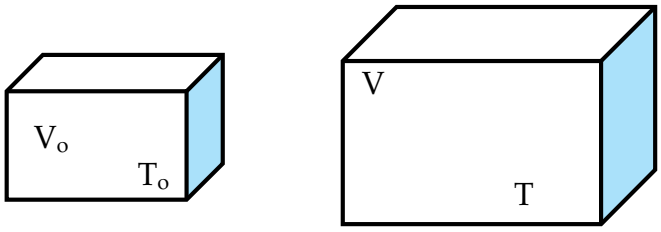
$\beta = 2\ \alpha$ é o coeficiente de dilatação superficial

4.5.4 Dilatação Volumétrica

Considere um cubo metálico de lados A, B e C. Ao aumentarmos a temperatura deste cubo, todos os seus lados sofrerão um aumento no comprimento e, portanto seu volume aumentará. Dilatação volumétrica é aquela em que ocorre um aumento das três

dimensões do corpo, ou seja, do seu comprimento, de sua altura e largura.

Consideremos um cubo de volume inicial V_o, a uma temperatura T_o, aumentando-se a temperatura para T o seu volume será V:



A variação de volume ΔV é dada por:

$$\Delta \mathbf{V} = \mathbf{V_o}\ \gamma\ \Delta \mathbf{T}$$

Onde: $\Delta V = V - V_o$, é a variação da área,

$\Delta T = T - T_o$, é a variação de temperatura,

$\gamma = 3\alpha$ é o coeficiente de dilatação volumétrica

Exemplo: Uma esfera de alumínio possui um raio de 10 cm, quando se encontra a 20ºC. Quando a temperatura da esfera é de 120 ºC, Determine:

A) o raio. B) a área C) o volume

A) Para o cálculo do raio, usemos a equação da dilatação linear: $\Delta L = L_o\ \alpha\ \Delta T$, com:

L_o = 10 cm e α = 22 x 10^{-6} ($^oC^{-1}$), logo:

$\Delta L = 10 . 22 \times 10^{-6}. (120 - 20) = 22 \times 10^{-3}$ cm , como $\Delta L = L - L_o$, tem-se:

$L = \Delta L + L_o = 0{,}022 + 10 = 10{,}022$ cm

B) A) Para o cálculo da área, usemos a equação da dilatação superficial:

$\Delta A = A_o\ 2\alpha\ \Delta T$, com Ao = 4 π r^2 e α = 22 x 10^{-6} ($^oC^{-1}$), logo:

Ao = 4 π r^2 = 4 π 10^2 = 400 π cm^2. e ΔA = 400 π .2 . 22 x 10^{-6}. (120 – 100)

ΔA = 176 π x 10^{-3} cm^2, como $\Delta A = A - A_o$ tem-se:

$A = \Delta A + A_o$ = 0,176 ð + 400 π = 400,176 π cm^2.

C) Para o cálculo do volume, usemos a equação da dilatação volumétrica:

$\Delta V = V_o\ 3\alpha\ \Delta T$, com Vo = $\frac{4}{3}\pi . r^3$ e α = 22 x 10^{-6} ($^oC^{-1}$), logo:

$Vo = \frac{4}{3}\pi.r^3 = \frac{4}{3}\pi.10^3 = 1333,3\ \pi\ cm^3$. e $\Delta V = 1333,3\ \pi\ .3.22 \times 10^{-6}.\ (120 - 100)$

$\Delta V = 8,799\ \pi\ cm^3$ e como $\Delta V = V - V_o$, tem-se:

$V = \Delta V + V = 8,799\ \pi + 1333,3\ \pi = 1342,1\ \pi\ cm^3$.

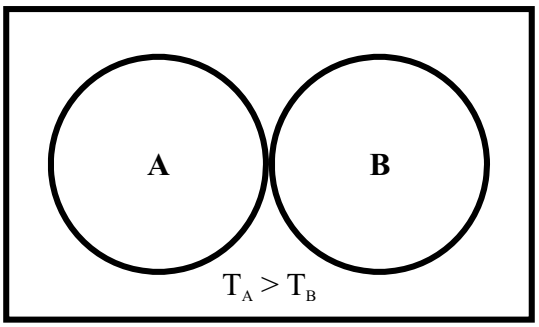
4.5.5 Dilatação dos líquidos

Assim como os sólidos, os líquidos também sofrem dilatação com a variação de temperatura. Como os líquidos não têm forma própria, só se leva em consideração a dilatação volumétrica. Em geral, os líquidos aumentam de volume quando aquecidos e diminuem quando esfriados.

Mas, com a água, o processo de dilatação é um pouco diferente. Ao ser esfriada, ela diminui de volume como os outros líquidos, mas só até 4 °C. Se a temperatura continuar caindo, para baixo de 4°C, o volume da água começa a aumentar. Inversamente, se for aquecida de 0°C a 4°C, a água diminui de volume, mas, a partir de 4°C, ela começa a se dilatar. É por essa razão que uma garrafa cheia de água e fechada estoura no congelador: de 4°C até 0°C, a água tem seu volume aumentado, enquanto a garrafa de vidro ou plástico diminui de volume.

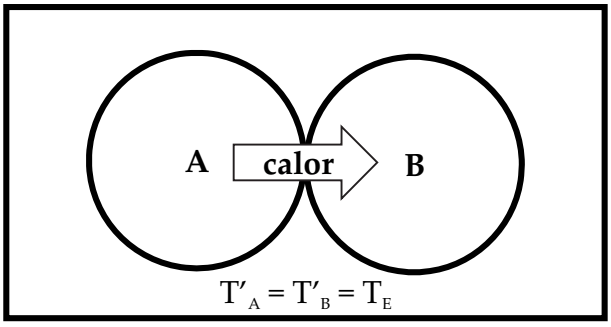
4.6 Calorimetria

Considere dois corpos, A e B, que possuem temperaturas diferentes T_A e T_B, e estão em contato térmico, como ilustra a figura abaixo:



Após algum tempo, observamos que esses dois corpos encontram-se com a mesma temperatura. $T'_A = T'_B = T_E$ = temperatura de equilíbrio. O que estava com maior temperatura esfriou e o que estava com menor temperatura esquentou. Quando isso ocorre, dizemos que os corpos estão em equilíbrio térmico e a temperatu-

ra final é chamada de temperatura de equilíbrio T_E. Isso ocorre porque o corpo de maior temperatura fornece certa quantidade de energia térmica para o outro de menor temperatura. Essa energia térmica quando está em transito de um corpo para outro é denominada **calor.**



Antes mesmo que o calor fosse reconhecido como uma forma de energia, as medidas da quantidade de calor eram feitas através das variações de temperatura que os corpos sofriam. A unidade de calor é a **caloria (cal)** e é definida como: 1 caloria é definida como a quantidade de calor necessária para aumentar a temperatura de um grama de água de 14,5 °C para 15,5 °C, sob pressão normal.

No sistema internacional de unidades, a unidade de calor é o joule (J) que se relacionam como:

1 cal = 4,186 J ou ainda 1 Kcal = 1000 cal.

4.6.1 Calor sensível

Como vimos, uma das conseqüências das trocas de calor, é a variação de temperatura do corpo. Se receber calor, esse corpo poderá sofrer um aumento de temperatura e, se ceder calor, uma possível queda de temperatura. Verifica-se experimentalmente que, a quantidade de calor necessária para produzir variações de temperatura depende:

a) diretamente da massa do corpo, para uma mesma variação de temperatura,

b) diretamente da variação de temperatura, para uma mesma massa m do corpo,

c) do tipo de material.

Esta três condições podem ser resumidas em:

$$Q = m \cdot c \, \Delta T$$

Onde:

Q - Quantidade de calor recebida ou cedida pelo corpo (cal)

m - Massa do corpo

ΔT- Variação de temperatura

c- Calor específico, que é característico de cada material

Essa equação é conhecida como a equação fundamental da calorimetria.

Os corpos e as substâncias na natureza reagem de maneiras diferentes quando recebem ou cedem determinadas quantidades de calor. Alguns se aquecem mais rápido que os outros. Um aspecto observado é que quanto maior a quantidade da substância a ser aquecida, maior deverá ser a quantidade de calor fornecida. Para aquecermos um litro de água necessitamos fornecer maior quantidade de calor do que para aquecer uma xícara de água, ou seja, a capacidade térmica (C) de um corpo depende diretamente da massa e é definida como:

$$\mathbf{C = m.c}$$

A constante **c** é chamada de **calor específico** da substância de que o corpo é constituído. A experiência mostra que cada substância necessita de uma quantidade de calor diferente para que um grama desta substância, sofra variação de 1 ^{o}C. O calor específico pode ser definido como a capacidade térmica por unidade de massa e é uma característica da substância de que o material é feito. A capacidade térmica pode ser medida usualmente em $\frac{cal}{^{o}C}$ e assim como o calor específico é medido usualmente em $\frac{cal}{g\,^{o}C}$.

A tabela mostra o calor específico de algumas substâncias, válido para temperaturas entre 0^{o} e 100^{o}C.

Substância	**Calor específico** ($\frac{cal}{g\,^{o}C}$)
mercúrio	0,033
alumínio	0,217
cobre	0,092
chumbo	0,030
prata	0,056
ferro	0,114
gelo	0,55
água	1,00
Ar	0,24

4.7 Trocas de calor

Se dois corpos A e B são colocados num recipiente termicamente isolado, também conhecido como calorímetro, eles não trocam calor com o meio externo. Se a temperatura do corpo A é maior do que a do corpo B, então haverá transferência de calor do corpo A para o B, até que o equilíbrio seja estabelecido entre eles. Como não há trocas de calor com o meio externo, todo calor perdido pelo corpo A será absorvido pelo corpo B, ou seja:

$$\mathbf{Q_A = -Q_B} \quad \text{ou} \quad \mathbf{Q_A + Q_B = 0}$$

Pela convenção de sinais, Q_A será negativo (cedeu calor) enquanto Q_B será positivo (recebeu calor). De uma forma gera, pode-se afirmar que:

Se dois ou mais corpos trocam calor entre si, a soma algébrica das quantidades de calor trocadas entre os corpos, até atingir o equilíbrio, é nula:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + ...+ Q_n = 0$$

Muitas vezes os corpos não são colocados num recipiente termicamente isolado, e desta forma o recipiente que envolve os corpos, também participa das trocas de calor. Quando se mistura café quente com o leite frio, dentro de um copo, o café cederá calor tanto para o leite quanto para o copo, que será aquecido.

Exemplo: (Unicamp-SP) Um rapaz deseja tomar banho de banheira com água à temperatura de 30°C, misturando água quente e fria. Inicialmente, ele coloca na banheira 100 litros de água fria a 20°C. Desprezando a capacidade térmica da banheira e a perda de calor da água, pergunta-se: quantos litros de água quente, a 50°C, ele deve colocar na banheira.

O calor da água quente será transferido para a água fria e $Q_q + Q_f = 0$, onde:

$Q_q = X.\ c.\ (30 - 50) \Rightarrow Q_q = -20\ X.c$, onde X é quantidade de água quente (em litros), c é o calor específico e -20^oC é a variação de temperatura e :

$Q_f = 100.\ c\ (30 - 20) \Rightarrow Q_f = 1000\ c$, logo:

$-20.\ X\ c + 1000\ c = 0 \Rightarrow 20\ X = 1000 \Rightarrow X = 50$ litros

Portanto serão necessários misturar 100 litros de água a 20 ^oC com 50 litros á 50 ^oC para se obter a água a 30 ^oC.

Uma pessoa bebe 500 g de água a 10^o C. Admitindo que a temperatura dessa pessoa é de 36^o C, qual a quantidade de calor que essa pessoa transfere para a água? O calor específico da água é 1 cal/ g. ^oC.

A quantidade de calor é dada por: $Q = m.c.\Delta T$,

com m = 500 g, T_o= 10 ºC, T = 36 ºC, c = 1,0 cal/g. ºC. Logo;

Q = 500 .1 . (36 – 10) = 500 . 26 = 13.000 cal.

4.7.1 Calor latente

Outra conseqüência das trocas de calor é uma mudança do estado físico dos corpos. Podemos facilmente derreter o gelo, para isso basta deixá-lo à temperatura ambiente e a troca de calor com o meio fará o serviço. Um fato interessante que ocorre durante a mudança de estado físico é que a temperatura do corpo permanece constante, e isso ocorre porque o calor trocado não está sendo usado para alterar o grau de agitação ou movimentação das moléculas. Nesse caso, ele está sendo usado para alterar o grau de ligação delas. Por exemplo, quando derretemos um corpo, o calor está sendo usado para uma mudança no estado de agregação das moléculas o que o fará, no final, atingir o estado líquido. Outro fato observado é que quanto mais calor é fornecido para a mudança de estado físico, maior será a massa da substância que sofreu essa transformação. Sendo **Q** a quantidade de calor trocada para a mudança de estado físico e **m**, a massa transformada, teremos a seguinte relação:

$$\mathbf{Q = m.\ L}$$

A grandeza **L** é conhecida como calor latente específico e pode ser determinada em $\frac{cal}{g}$.

Assim como a quantidade de calor, o calor latente também é uma grandeza algébrica, sendo positivo nos processos que recebe calor e negativo nos processos que cede calor. Para a água, em particular, a temperatura de fusão T_f e solidificação T_s são iguais,

$T_f = T_s$= 0 ºC, o mesmo ocorre com as temperaturas: de vaporização T_v e de condensação T_c, onde $T_v = T_c$ = 100ºC. O calor latente de fusão (L_f) e o calor latente de solidificação (Ls) são iguais, mas com sinais contrários, isto é $L_s = -L_f$ = 80 cal/g ($L_f > 0$), enquanto que o calor latente de vaporização (L_v) e calor latente de condensação (L_c) são iguais e com sinais trocados, ou seja, $L_v = -L_c$ = -540 cal/g ($L_v > 0$)

Exemplo: Resfriam-se 40 g de vapor de água a 140 ºC, sob pressão normal até que esse vapor se transforme em 40 g de gelo a -10 ºC. Determine a quantidade total de calor liberado neste processo. Dados:

Calor específico do gelo c_g = 0,55 cal/g °C

Calor específico do vapor de água c_v = 0,48 cal/g °C

Calor específico da água c_a = 1,0 cal/g °C

Calor latente de condensação L_c = -540 cal/g

Calor latente de solidificação L_c = -80 cal/g

Neste processo existem 5 transformações:

1º) o vapor de água passa de 140 para 100 °C:

$Q_1 = m. c_v (T_f – T_i) = 40 . 0,48 . (100 – 140) = -768$ cal

2º) Processo de condensação: 100°C: o vapor de água se transforma em líquido:

$Q_2 = m. L_c = 40. (-540) = -21600$ cal

3º) a água passa de 100 para 0°C:

$Q_3 = m. c_a (T_f – T_i) = 40 . 1,0 . (0 -100) = -4000$ cal

4º) Processo de solidificação: a água líquida se transforma em gelo

$Q_4 = m. L_s = 40. -80 = -3200$ cal

5º) O gelo passa de 0 para -10 °C:

$Q_5 = m. c_g (T_f – T_i) = 40 .0,55 . (-10 – 0) = -220$ cal

Como não há trocas de calor com o meio externo:

$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = Q_T$

Q_T = -768 – 21600 - 4000 – 3200 – 220 = **-29.788 cal**

4.8 A Propagação do Calor

O calor é uma forma de energia que se propaga do corpo mais quente para o mais frio. Esse processo pode ocorrer por três mecanismos diferentes: ***condução, convecção*** **e a** ***irradiação.***

4.8.1 Condução

Processo que ocorre predominantemente nos sólidos e é caracterizado pela transmissão de energia de molécula a molécula. Ao colocarmos uma panela de cabo metálico no fogo, num curto espaço de tempo, verificaremos que a temperatura do cabo aumentará. As moléculas da panela que se encontram sob o fogo, aumentam o seu estado de agitação, e isso será transmitido para as moléculas vizinhas aumentando o estado de agitação dessas. Após al-

gum tempo a mão que está segurando o cabo sentirá a temperatura aumentar.

Em alguns corpos, esse processo ocorre muito rapidamente, como por exemplo, os metais, e por isso eles são chamados de condutores térmicos, e em outros ocorre o contrário, como por exemplo, a madeira e a água. Esses são chamados de isolantes térmicos.Em dia frio, é comum usarmos agasalhos grossos para nos proteger das temperaturas baixas. Fazemos isso porque o nosso organismo está a uma temperatura maior que o meio ambiente e por isso estamos propensos a ceder calor. O agasalho não permite que isso aconteça, pois ele é feito de materiais que são isolantes térmicos.

4.8.2 Convecção

A transmissão de calor por convecção ocorre exclusivamente nos fluidos, ou seja, em líquidos e gases. O processo é estabelecido pela movimentação de massa fluida devido a uma diferença de densidade.

Ao se aquecer o recipiente por baixo, a porção de liquido que se encontra na parte inferior irá se aquecer rapidamente. Esse por sua vez dilata e se torna menos denso e, por isso, acaba subindo para a parte superior. O liquido que está em cima está mais frio e mais denso e, por isso, desce. Assim se estabelece uma corrente pela qual o calor é transmitido. Essa corrente é denominada *corrente de convecção*.

Um exemplo prático é a instalação dos aparelhos de ar condicionado que deve ser feita na parte superior do ambiente. Quando ele é ligado, emite o ar frio que, por ser mais denso, desce para a porção inferior da sala, criando assim uma corrente de convecção e deixando a temperatura ambiente homogênea mais rapidamente. Um outro exemplo ocorre com a brisa marítima. Durante o dia, o ar próximo à superfície da Terra se aquece mais rápido do que o da superfície do mar. O ar aquecido do continente sobe e o ar mais frio sobre o mar, desloca-se para o continente, formando uma brisa marítima. Durante a noite o processo se inverte, o ar sobre o mar está mais aquecido e, portanto o ar sobe, surgindo uma brisa que vem do continente.

4.8.3 Irradiação

Sabemos que a condução e a convecção são processos que necessitam de um meio material para ocorrer, ou seja, elas não ocorrem no vácuo. A irradiação é um processo que pode ocorrer no vácuo e

também nos meios materiais, e a sua transmissão é feita por intermédio de ondas eletromagnéticas da faixa do infravermelho. Essas ondas transmitem energia e são absorvidas pelos corpos. Essa absorção provoca uma alteração no estado de movimentação das moléculas alterando, assim, a sua temperatura. Alguns materiais, como o vidro, são transparentes à radiação visível, mas opacos à radiação infravermelha. Quando deixamos um carro estacionado em um dia ensolarado, o interior se torna muito quente, pois o vidro permite que a luz solar passe. Essa, por sua vez, ao incidir nos objetos que ali estão, fará com que os mesmos emitam a radiação infravermelha. Como o vidro é opaco a essa radiação, ela ficará presa no interior do veículo, fazendo que a temperatura interna se torne mais alta que a externa. Em outras palavras, o carro funcionará como uma estufa. Na atmosfera, também ocorre um efeito semelhante, que é o Efeito Estufa. A atmosfera é transparente a radiação solar, entretanto esta radiação ao incidir sobre a Terra produz um aquecimento na superfície, que por sua vez reemite esta energia para o espaço. Esta energia, em comprimentos de ondas longos, é absorvida pelas nuvens e pelos gases presentes na atmosfera, como o gás carbônico (CO_2), metano (CH_4) e vapor de água. Este aprisionamento de energia produz um aumento de temperatura na baixa atmosfera, que é um dos responsáveis pelo aquecimento global.

4.9 Exercícios Propostos

1 - a) a temperatura do corpo humano é de 36,5 ^oC. Transforme em K e ^oF.

b) a temperatura da superfície do sol é de 6000 K. Transforme em ^oC e ^oF.

c) Sêmen bovino para inseminação artificial é conservado em nitrogênio líquido, que à pressão normal, tem temperatura de 78 K. Calcule esta temperatura em ^oC e ^oF.

2 - a) Explique por que ao se instalar um aparelho de ar condicionado numa sala, o mesmo deve ser instalado na parte superior da parede. B) Por que o congelador de uma geladeira situa-se na parte de cima.

3 - Para cada um dos fenômenos, indique qual o principal processo de transferência de calor:

a) aquecimento de um cabo metálico de uma panela, b) Uma pessoa tomando banho de sol. C) Efeito Estufa, d) Brisa marítima.

4 - Tem-se um disco de cobre de raio 10 cm à temperatura de 100 ^oC. Qual será a área do disco à temperatura de 0 ^oC? Coeficiente de dilatação linear do cobre: 17×10^{-6} $^oC^{-1}$.

5 - Um líquido é aquecido de 0 °C à 50 °C verificando-se na escala do frasco do vidro que o volume passa de 500 cm^3 para 525 cm^3. Sendo o coeficiente de dilatação volumétrica do vidro igual a 0,00001 $°C^{-1}$, determine o coeficiente de dilatação real do líquido.

6 - (Fuvest-SP) Uma dona-de-casa em Santos, para seguir a receita de um bolo, precisa de uma xícara de água a 50°C. Infelizmente, embora a cozinha seja bem-aparelhada, ela não tem termômetro. Como pode a dona-de-casa resolver o problema? (Você pode propor qualquer procedimento correto, desde que não envolva termômetro.)

7 - Determine a quantidade de calor que 200 g de água deve perder para que sua temperatura diminua de 30° C para 15° C. O calor específico da água é 1 cal/ g. °C.

8 - A pasteurização do leite é feita pelo processo conhecido como "pasteurização rápida", que consiste em aquecer o leite cru de 5 °C a 75 °C e mantê-lo nesta temperatura por 15s. Em seguida, já pasteurizado, é resfriado, cedendo calor para o leite que ainda não foi pasteurizado.Estando o leite a 5 °C, determine a quantidade de calor, em quilocalorias, para pasteurizar uma tonelada de leite (calor específico do leite: 0,92 cal/g. °C)

9 - A taxa de produção de calor no corpo humano, devido ao metabolismo, varia com a atividade e a temperatura ambiente. Apesar disto, a temperatura corporal deve ser mantida em 37°C. Quando a temperatura do corpo ultrapassa este valor e o ambiente também está a esta temperatura, ou maior, o resfriamento do corpo se dá pela evaporação da água do suor. O resfriamento ocorre porque cada grama de água necessita de cerca de 2400 J de calor para evaporar, que é aproximadamente, o calor latente de vaporização da água nessa temperatura. Suponha que a taxa de produção de calor no corpo de uma pessoa executando uma atividade normal durante um dia de verão em que a temperatura esteja a 37°C é de 1200 kJ/h. a) quanto calor ela produzirá em 3 horas? B) Quanta água ela deverá beber para repor as perdas devidas à evaporação, durante este período? (VUNESP)

10 - Uma estudante de biologia deseja resfriar 0,25 kg de refrigerante (constituído na sua maior parte por água), inicialmente a uma temperatura de 25°C, adicionando-se gelo a -20°C. Qual a quantidade de gelo que ela deve usar para que a temperatura final seja igual a 0°C, sabendo-se que todo gelo se funde e que o calor específico do recipiente pode ser desprezado?

4.10- Bibliografia.

Carron, W., Guimarães, O. As faces da Física. Editora Moderna, São Paulo, 2005.

D. Halliday, R.Resnick e J.Walker; Fundamentos de Física; Vol.,2 ; Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro-RJ, 2009.

Sears; Zemansky; Young e R.Fredman; Física II; Ed. Pearson, Addison Wesley. São Paulo-SP, 2008.

Okuno, E., Caldas, L.C. e Chow, C. Física para Ciências Biológicas e Biomédicas.Harper & Row do Br BIBLIOGRAFIA

Ramalho Jr. F., Nicolau, G.F. e Toledo, P.A. Os fundamentos da Física-2 Termologia, Óptica e Ondas. Editora Moderna, São Paulo, 2003.

www.fisica.net/gref/termo.pdf- temperatura

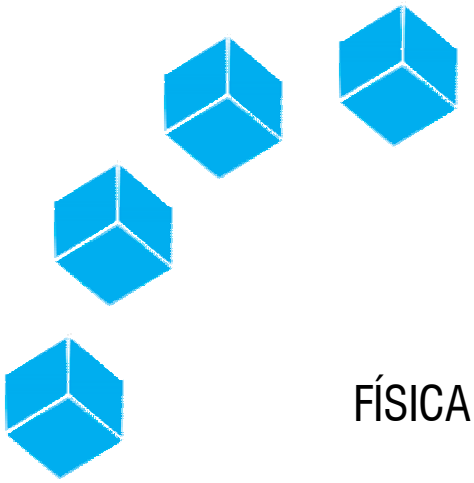
www.if.ufrj.br/teaching/fis2/temperatura/temperatura.html

www.if.ufrj.br/teaching/fis2/calor/conducao.html

www.ufsm.br/gef/

http://br.geocities.com/galileon/2/termo/termometria.htm

BIOLOGIA



FÍSICA BÁSICA

Unidade 5

FLUIDOS

LICENCIATURA

Unidade 5

FLUIDOS

5.1 Introdução

O termo fluido refere-se a uma fase de uma substância, que estando sob certas condições ambientais, têm a propriedade de fluir, ou seja, de escoar. Este termo abrange tanto líquidos como gases, que são substâncias que não possuem forma definida, sua forma depende do recipiente onde se encontram. Por exemplo, se você colocar água dentro de um copo, ela terá a forma do copo enquanto se você colocar esta mesma água num tubo em forma de U, ela terá a forma deste tubo. Os fluidos possuem a capacidade de escoar, devido às forças que mantém as moléculas ligadas serem menores do que as forças que unem as moléculas nos sólidos. Dependendo da temperatura e pressão a que está submetida uma substância, ela pode ser ou não um fluido; por exemplo, a água congelada torna-se sólida, entretanto se aumentarmos sua temperatura, ela vai passar para o estado líquido transformando-se num fluido.

Densidade e Pressão

A densidade (d) de um corpo de massa (m) é definida como a razão da massa pelo volume (V) do corpo:

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

As unidades mais utilizadas para a densidade são: g/cm^3 e kg/m^3, que se relacionam da seguinte forma:

$$1\frac{g}{cm^3} = \frac{1kg}{l} = \frac{10^{-3}kg}{10^{-6}m^3} = 10^3\frac{kg}{m^3} \quad e \quad 1\frac{kg}{m^3} = 10^{-3}\frac{g}{cm^3}$$

A água, por exemplo, a 4 ^{o}C, possui densidade d = 1 g/cm^3 = 1 kg/l = 1000 kg/m^3.

Se o corpo for maciço e homogêneo, a densidade do corpo coincide com a massa específica do material que o constitui. Se uma esfera maciça de ferro, cuja massa específica é de 7,9 g/cm^3, terá densidade de 7,9 g/cm^3, mas se a esfera for oca, sua densidade será menor do que a massa específica.

Exemplo.1- Considere dois líquidos miscíveis, de densidades: d_1 = 0,60 g/cm^3 e d_2 = 0,40 g/cm^3. Num experimento de laboratório, ele mistura volumes iguais desses líquidos e em outro, ele mistura massas iguais dos líquidos. Em cada caso, determine a densidade resultante da mistura.

Para o primeiro caso tem-se:

As densidades são: $d_1 = \frac{m_1}{V_1}$ e $d_2 = \frac{m_2}{V_2}$

O volume da mistura será: $V_m = V_1 + V_2$, mas $V_1 = V_2 = V$ e $V_m = 2\,V$.

A densidade da mistura dm será:

$$d_m = m/V = \frac{m_1 + m_2}{V_1 + V_2} = \frac{d_1V + d_2V}{2V} \Rightarrow \frac{V(d_1 + d_2)}{2V}$$

$$\text{Ou } d_m = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{0{,}60 + 0{,}40}{2} = 0{,}50 = \text{ g/cm}^3$$

No segundo experimento: $m_1 = m_2 = m$, logo $m_1 + m_2 = 2m$

A densidade da mistura será:

$$d_m = \frac{m_1 + m_2}{V_1 + V_2} = \frac{2m}{\frac{m}{d_1} + \frac{m}{d_2}} = \frac{2md_2d_1}{m(d_1 + d_2)} = \frac{2x0{,}60x0{,}40}{0{,}60 + 0{,}40} = 0{,}48 \text{ g/cm}^3.$$

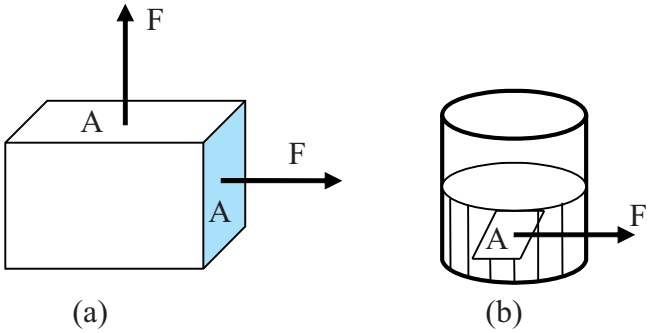
5.2 Conceito de Pressão

Os corpos, quando estão em contato com alguma superfície, exercem sobre ela uma pressão. Por exemplo, ao colocarmos um livro sobre a superfície de uma mesa, ele estará exercendo uma força sobre a mesa; o mesmo ocorre quando colocamos água dentro de um copo; a água exerce uma força sobre as paredes do copo. A grandeza dada pela relação entre a intensidade da força que atua perpendicularmente e a área que ela se distribui, é chamada de **Pressão**. A pressão (p) é definida como:

$$p = \frac{F}{A},$$

onde F é a intensidade da força que atua perpendicularmente à superfície e A é a área da superfície.

A figura mostra a relação entre a força e a área para sólidos (a) e líquidos (b), em ambos os casos, a força será perpendicular á área da superfície.



A maior parte das ferramentas e objetos utilizados para cortar, possui a superfície cortante, muito fina e afiada, pois desta forma a área de contato com o objeto a ser cortado é muito pequena e, portanto para uma mesma intensidade de força aplicada no local, a pressão será maior. Os pregos possuem uma extremidade pontiaguda, justamente para diminuir a área de contato com o material e com isto aumentar a pressão e penetrar mais facilmente.

A unidade de pressão no sistema internacional (SI) é dada por:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{\text{Newton}}{\text{metro quadrado}} = \frac{N}{m^2},$$

esta unidade é chamada de Pascal (**Pa**).

Outras unidades também são: o Bar (**b**), muito utilizado na meteorologia, a atmosfera (**atm**) e mm de mercúrio (Hg) que se relacionam com o Pascal da seguinte forma:

1 Pa = 10 b.

1 atm = 1,0 x 10^5 N/m^2.

1 atm = 760 mm Hg

Exemplo. 2- Um bloco metálico de massa 4 kg, possui a s dimensões: 10 cm x 20 cm x 40 cm. Determine a pressão que ele exercerá sobre uma superfície horizontal, quando estiver apoiado: a) sobre o lado A, b) sobre o lado B e c) sobre o lado C.

a) A área do lado A é: A = 20 x 40 = 800 cm^2 = 800 x 10^{-4} m^2 = 8 x 10^{-2} m^2. e força F é igual ao peso; F = 4 x 10 = 40 N, logo:

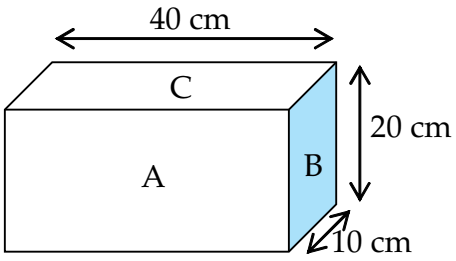
$$p = \frac{F}{A} = \frac{\text{Peso}}{\text{área}} = = \frac{40}{8x10^{-2}} = 500\ N/m^2.$$

b) A área do lado B é: A = 20 x 10 = 200 cm^2 = 200 x 10^{-4} m^2 = 2 x 10^{-2} m^2. e força é igual ao peso; F = 4 x 10= 40 N, logo:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{\text{Peso}}{\text{área}} = = \frac{40}{2x10^{-2}} = 2000\ N/m^2$$

c) A área do lado C é: A = 40 x 10 = 200 cm^2 = 400 x 10^{-4} m^2 = 4 x 10^{-2} m^2. e força é igual ao peso; F = 4 x 10= 40 N, logo:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{\text{Peso}}{\text{área}} = = \frac{40}{4x10^{-2}} = 1000\ N/m^2$$



Conforme verificado no exercício, a pressão é maior no lado de menor área.

5.3 Medidas de Pressão

5.3.1 Pressão Atmosférica

A Terra está envolvida por uma camada de ar, denominada atmosfera, constituída por uma mistura gasosa cujos principais componentes são o oxigênio e o nitrogênio. O ar, sendo composto por moléculas, é atraído pela força de gravidade da Terra e, portanto, tem peso. Devido ao seu peso, a atmosfera exerce uma pressão, chamada pressão atmosférica, sobre todos os objetos nela imersos.A pressão atmosférica diminui com o aumento da altitude. Isso ocorre porque o peso do ar sobre as camadas elevadas da atmosfera é menor do que aquele que age sobre as camadas mais baixas. Por exemplo, a pressão atmosférica na cidade do Rio de Janeiro-RJ, é maior que a pressão atmosférica em Campo Grande-MS. Sobre o Rio de Janeiro, ao nível do mar, a coluna de ar é maior que sobre Campo Grande, situada numa maior altitude (536 metros). A pressão atmosférica está relacionada com o peso do ar, que se encontra sobre nós e sua medida é feita através de barômetros. O mais preciso é o barômetro de mercúrio, inventado por Torricelli em 1643. A pressão atmosférica, média do ar ao nível do mar é de 1 atm, ou 101,325 KPa ou 1013,25 mb ou 760 mmHg e o intervalo usual de variação está entre 970 mb até 1050 mb.

5.3.2 Pressão Intra-ocular

Os fluidos do globo ocular, os humores aquoso e vítreo, que transmitem luz à retina, estão sob pressão e mantém o globo numa forma e dimensão aproximadamente fixas. As dimensões do olho são críticas parar se ter uma boa visão. Uma variação de 0,1 mm no seu diâmetro pode produzir um efeito significativo no desempenho da visão. A pressão em olhos normais varia de 13 a 28 mm de Hg, sendo a média de 15 mm de Hg.

O humor aquoso, fluido contido na parte frontal do olho, é essencialmente composto de água, e é produzido cerca 5 ml por dia. Existe um sistema de drenagem que permite a saída do excesso, entretanto se ocorrer um bloqueio neste sistema de drenagem, a pressão ocular aumenta, comprimindo a artéria retiniana e isto poderia restringir a circulação sanguínea na retina. A esta situação dá-ser o nome de glaucoma. A pressão intra-ocular era estimada pelos médicos pressionando o olho com os dedos e sentindo a rea-

ção produzida pelo mesmo. Hoje em dia isso é feito pelo tonômetro, que mede a pressão ocular determinando a deflexão da córnea sob ação de uma força conhecida.

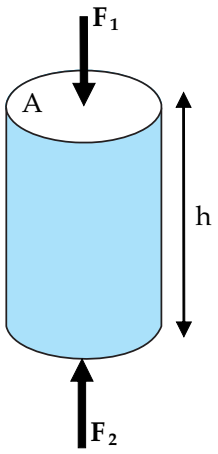
5.3.3 Pressão Sanguínea

A pressão sanguínea é medida com o esfigmomanômetro, que consiste de uma coluna de mercúrio com uma das extremidades ligada a uma bolsa, que pode ser inflada através de uma pequena bomba de borracha. A bolsa é enrolada em volta do braço, a um nível aproximadamente igual ao do coração, a fim de assegurar que as pressões medidas sejam mais próximas às da aorta. A pressão do ar é aumentada até que o fluxo sanguíneo através das artérias do braço seja bloqueado.A seguir o ar é eliminado da bolsa ao mesmo tempo em que se usa um estetoscópio para detectar a volta das pulsações ao braço. O primeiro som ocorre quando a pressão do ar contido na bolsa se igualar à pressão sistólica, isto é a máxima pressão sanguínea. Neste instante, o sangue que está à pressão sistólica consegue fluir pela artéria, produzindo um som que é ouvido através do estetoscópio. Assim a altura da coluna de mercúrio lida, corresponde à pressão manométrica sistólica. À medida que o ar é eliminado, a intensidade do som ouvido através do estetoscópio aumenta. A pressão correspondente ao último som audível é a pressão diastólica, isto é, a menor pressão sanguínea, quando o sangue abaixa a pressão e consegue fluir pela artéria não oclusa.

5.4 Pressão versus Profundidade em um Fluido Estático

Em um fluido estático, sob a ação da gravidade terrestre, as forças são perpendiculares à superfície terrestre. Caso exista uma força resultante em uma porção do fluido, esta porção do fluido entrará em movimento. A razão é que um fluido pode escoar, ao contrário de um objeto rígido. Se uma força for aplicada a um ponto de um objeto rígido, o objeto como um todo sofrerá a ação dessa força. Isto ocorre porque as moléculas (ou um conjunto delas) do corpo rígido estão ligadas por forças que mantêm o corpo inalterado em sua forma. Logo, a força aplicada em um ponto de um corpo rígido acaba sendo distribuída a todas as partes do corpo. Já em um fluido isto não acontece, pois as forças entre as moléculas (ou um conjunto delas) são muito menores. Um fluido não pode suportar forças de cisalhamento, sem que isto leve a um movimento de suas partes.

Logo, a pressão a uma mesma profundidade de um fluido deve ser constante ao longo do plano paralelo à superfície. Supondo que a constante da gravidade local, g, não varie apreciavelmente dentro do volume ocupado pelo fluido, a pressão em qualquer ponto de um fluido estático depende apenas da pressão atmosférica no topo do fluido e da profundidade do ponto no fluido. Se o ponto 2 estiver a uma distância vertical h abaixo do ponto 1, a pressão no ponto 2 será maior. Para calcular a diferença de pressão entre os dois pontos basta imaginar um volume cilíndrico, cuja altura h seja ao longo da vertical à superfície com as bases contendo os pontos 1 e 2, respectivamente. A área das bases, *A*, pode ser qualquer: desde que elas estejam dentro do fluido. Como o volume cilíndrico é estático, e encontra-se em equilíbrio, a força na base de baixo deve ser igual à força na base de cima somada à forca peso devido ao volume de água dentro do cilindro.



A massa do fluido é dada por: m = d.V,

onde o volume V= A. h, ou m = d. A.h

Por outro lado:

$F_2 = F_1 + P$, onde $P = mg$,

$F_2 - F_1 = mg = d.A.h.\ g$,

dividindo-se os dois lados

pela área A, tem-se

$p_2 - p_1 = d.g.h$ ou $p_2 = p_1 + d.g.h$

Portanto: a pressão num ponto (2) situado a uma profundidade h abaixo da superfície, é igual a soma da pressão na superfície (1) com a pressão devido ao peso da coluna de água sobre o ponto (2).

Quando a superfície encontra-se aberta, a pressão na superfície é a pressão atmosférica. Note que o ponto 2 não precisa estar diretamente abaixo do ponto 1; basta que ele esteja a uma distância vertical h abaixo do ponto 1. Isto significa que qualquer ponto a uma mesma profundidade em um fluido estático possui a mesma pressão.

Exemplo 3- Um mergulhador atinge uma profundidade de 40 m dentro de um lago de água doce. Sabendo-se que a densidade da água é de 1000 kg/m^3 e que apressa atmosférica na superfície do lago é de 1 atm, calcule a pressão total sobre o mergulhador.

Usando-se a expressão: $P_2 = P_1 + d.g.h$, com:

P_2 = pressão total sobre o mergulhador

P_1 = pressão na superfície= 1 atm = 1,0 x 10^5 N/m^2

d = 100 kg/m^3 e h = 40 m, tem-se:

$P_2 = 1{,}0 \times 10^5 + 1000.\ 10.\ 40 = 1{,}0 \times 10^5 + 4 \times 10^5 = 5{,}0 \times 10^5$, logo:

$P_2 = 5{,}0 \times 10^5\ N/m^2 = 5\ atm$

A pressão em 40 m de profundidade será de 5 atm, onde podemos verificar, que a cada 10 m de profundidade, na água, a pressão aumenta de 1 atm.

Explique por que quando você toma um refrigerante usando um canudinho, o refrigerante sobe pelo canudinho.

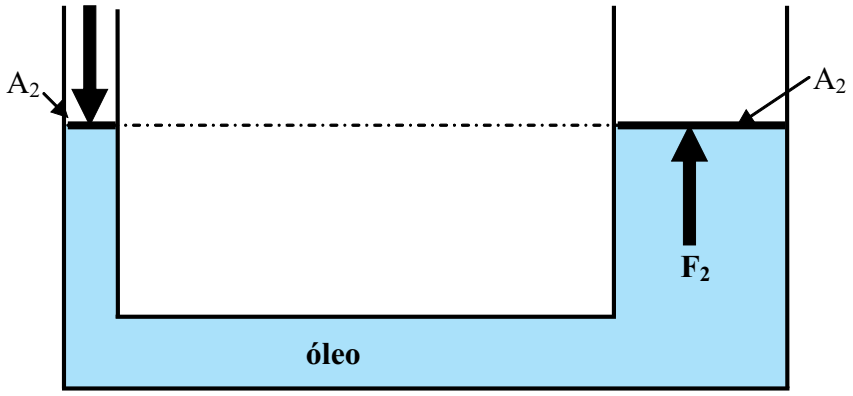
5.5 Princípio de Pascal

O princípio de Pascal pode ser usado para explicar como um sistema hidráulico funciona. Um exemplo comum deste sistema é o elevador hidráulico usado para levantar um carro do solo, sistemas de freios, direção e amortecedores para veículos.

Princípio de Pascal: A pressão aplicada a um fluido dentro de um recipiente fechado é transmitida, sem variação, a todas as partes do fluido, bem como às paredes do recipiente.

A explicação para o princípio de Pascal é simples. Caso houvesse uma diferença de pressão surgiriam forças resultantes no fluido, e como o fluido encontra-se em equilibro, isto não ocorre.

Em um elevador hidráulico uma pequena força aplicada a uma pequena área de um pistão é transformada em uma grande força aplicada em uma grande área de outro pistão (veja figura abaixo). Se um carro está sobre um grande pistão, ele pode ser levantado aplicando-se uma força F_1 relativamente pequena, de modo que a razão entre a força peso do carro (F_2) e a força aplicada (F_1) seja igual à razão entre as áreas dos pistões.



Considere a figura acima, representando uma prensa hidráulica, contendo óleo no seu interior. Ao aplicarmos uma força F_1 no lado estreito da prensa, o aumento de pressão (Δp) produzido no interior da prensa se transmitirá integralmente para todos os pontos, de tal forma que:

$\Delta p_1 = \Delta p_2$, como: $\Delta p = F/A$, tem-se:

$F_1/A_1 = F_2/A_2$, e $F_1/F_2 = A_1/A_2$ $F_2 = (A_2 F_1)/A_1$

Como $A_2 > A_1$, temos que $F_2 > F_1$. e portanto haverá um aumento na intensidade de F_2.

Embora a força aplicada (F_1) seja bem menor que a força peso (F_2), o trabalho realizado é o mesmo. Trabalho é força vezes distância. Logo, se a força no pistão maior (peso) for 10 vezes maior do que a força no pistão menor (aplicada), a distância que ela percorre será 10 vezes menor. Isto se deve à conservação de volume, onde o volume deslocado em 1, ($V_1 = x_1 . A_1$) será igual ao volume deslocado em 2, ($V_2 = x_2 . A_2$) e:

$V_1 = V_2$, logo $x_1 . A_1 = x_2 . A_2$, , ou seja, $x_1/x_2 = A_2/A_1 = F_2/F_1$

Onde x_1 e x_2 são os respectivos deslocamentos dos pistões.

5.6 Princípio de Arquimedes

Podemos verificar que quando estamos dentro de uma piscina, podemos levantar, com nossos braços, uma pessoa com maior facilidade do que fora da piscina, ou seja, parece que a pessoa fica "mais leve".

Arquimedes, geômetra e físico grego constatou este fato quando ele tomava banho numa banheira e diz a lenda que ele pulou da banheira e correu pelas ruas após a descoberta, gritando Heureka! Heureka! (descobri, em português) Arquimedes, não só constatou o aparecimento de uma força vertical para cima, como propôs uma forma para se calcular a intensidade desta força. A esta força, vertical e dirigida para cima, deu-se o nome de Empuxo,

Princípio de Arquimedes: Um objeto que está parcialmente, ou completamente, submerso em um fluido, sofrerá uma força de empuxo igual ao peso do fluido que objeto desloca.

$$\mathbf{E = P_{fluido} = m.g \Rightarrow E = d_f.V_d.\ g,}$$

onde: d_f= densidade do fluido onde o corpo está imerso,

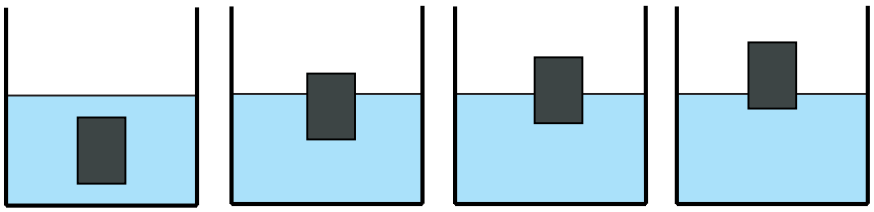
V_d= volume do fluido deslocado

g = aceleração da gravidade.

O empuxo exercido pelo fluido sobre um objeto é uma força dirigida para cima e isso ocorre devido a diferença de pressão exercida na parte de baixo e na parte de cima do objeto. Para um objeto flutuante, a parte que fica acima da superfície está sob a pressão atmosférica, enquanto que a parte que está abaixo da su-

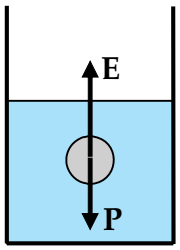
perfície está sob uma pressão maior, porque pressão aumenta com a profundidade. Para um objeto completamente submerso, a parte de cima do objeto não está sob a pressão atmosférica, mas a parte de baixo ainda está sob uma pressão maior porque está mais fundo no fluido. Em ambos os casos a diferença na pressão produz uma força resultante para cima (força de empuxo) sobre o objeto. Esta força tem que ser igual ao peso da massa de água ($d_f.V_d$) deslocada, já que se o objeto não ocupasse aquele espaço esta seria a força aplicada ao fluido dentro daquele volume (V_d) a fim de que o fluido estivesse em estado de equilíbrio.

A figura abaixo mostra algumas situações para o volume V_d do fluido deslocado, em relação ao volume do corpo.



$V_d = V$ $\quad V_d = \frac{3V}{4}$ $\quad V_d = \frac{V}{2}$ $\quad V_d = \frac{V}{4}$

Quando um corpo está totalmente imerso num líquido, como mostra a figura abaixo, podem ocorrer as seguintes situações:



a) E = P, quando o empuxo é igual ao peso do corpo, ele permanece em repouso, ou seja, encontra-se em equilíbrio: $d_f.V_d.\ g = mg = dc.Vc.g$ ou : $d_f.V_d. = d_c.V_c.$ ou $\frac{d_c}{d_f} = \frac{V_f}{V_c}$, onde d_c e V_c são a densidade e volume do corpo.

b) E > P, quando o empuxo é maior do que o peso do corpo, o corpo vai para a superfície e tende a flutuar.

c) E < P, quando o empuxo é menor do que o peso do corpo, o corpo afunda.

Exemplo. 4- Uma bola de futebol, de massa 0,5 kg flutua em um tanque de água (d = 100 kg/m^3). A) Determine o empuxo sobre a bola. B) Qual é o volume de água deslocado pela bola?

(a) Como a bola flutua na água, logo não existe força resultante: o peso é igual ao empuxo. Logo,

$$E = P \Rightarrow E = mg = 0{,}5 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 5{,}0 \text{ N}$$

(b) Como $E = 5{,}0$ N $\Rightarrow d_f.V_d.\ g = 5{,}0 \Rightarrow V_d = \dfrac{5}{1000 \,.\, 10} = 5{,}0 \times 10^{-4}$ m^3.

Exemplo. 5- Determine a porcentagem do volume total de um iceberg que está acima do nível do mar, sabendo que sua densidade é de 920 kg/m^3 e da água do mar é 1030 kg/m^3.

Icebergs são montanhas de gelo, que flutuam no mar, logo o empuxo será igual ao seu peso e:

$$E = P \Rightarrow d_a.V_d.\ g = d_i.V_i.\ g \Rightarrow d_a.V_d. = d_i.V_i. \Rightarrow = \frac{V_d}{V_i} = \frac{d_i}{d_a} = \frac{920}{1030}$$

$\dfrac{V_d}{V_i} = 0{,}89$, logo o volume deslocado, que é igual a parte que está submersa, representa 89% do volume Vi do iceberg e portanto 11% do iceberg, encontra-se abaixo do nível da água do mar. Daí é muito comum usar o termo " isto é somente a ponta do iceberg", pois realmente, somente 11% dele encontra-se acima do nível da água do mar.

Porque um peixe, dentro da água se mantém repouso em várias profundidades?

O fato dos animais aquáticos se manterem em repouso em profundidades diversas da água se explica pela força de empuxo. Para que o peixe se mantenha em equilíbrio o seu peso deverá ser igual ao empuxo, ou seja:

$$P = E \Rightarrow d_p.V_p.g = d_a.V_d.\ g \Rightarrow d_p.V_p. = d_a.V_d$$

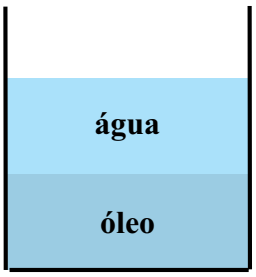
Como o volume do peixe V_p é igual ao volume deslocado de água V_d, então as densidades serão iguais: $d_p = d_a$. As densidades dos tecidos e osso dos peixes são um pouco maiores do que a da água; alguns peixes possuem um sistema que lhes permitem modificar sua densidade. Este sistema é bexiga natatória que contém gás está localizada na cavidade abdominal. A variação do volume de gás desta bexiga permite variar a densidade do peixe de modo a igualá-la a da água, possibilitando que ele permaneça em repouso em diferentes profundidades.

Você poderá fazer simulação quanto ao empuxo sobre um corpo no site:

http://www.if.ufrgs.br/
mpef/mef004/20021/Berenice/hidro2.html

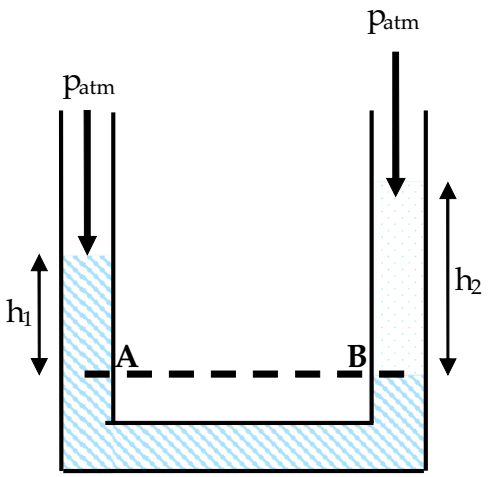
5.7 Vasos Comunicantes

Quando dois líquidos imiscíveis (que não se misturam) são colocados em um recipiente, o líquido de maior densidade vai para a parte de baixo, enquanto o menos denso fica na parte de cima. Se colocarmos com cuidado, num recipiente água e óleo, verificamos que o óleo ficará na parte superior, enquanto a água estará na parte inferior, como mostra a figura.(densidade da água= 1,0 g/cm^3 e densidade do óleo 0,80 g/cm^3)



Caso os líquidos imiscíveis sejam colocados em vasos comunicantes em forma de U, eles irão se dispor de modo que suas alturas, medidas da superfície de separação ao topo do líquido sejam inversamente proporcionais às suas densidades. Tomando os pontos A e B, na mesma horizontal e no mesmo líquido, tem-se:

$$P_A = P_B \Rightarrow P_{atm} + d_1 . g . h_1 = P_{atm} + d_2 . g . h_2 \Rightarrow d_1 . g . h_1 = d_2 . g . h_2 \Rightarrow d_1 h_1 = d_2 h_2$$



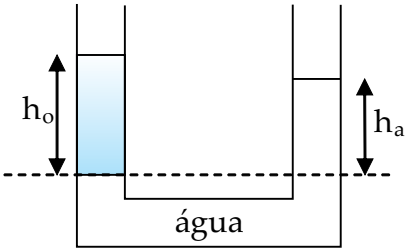
O sistema de vasos comunicantes pode ser utilizado com três ou mais líquidos, e é útil para se determinar a densidade de um líquido desconhecido. Em um tubo na forma de U, coloque um líquido (X), cuja densidade é conhecida e anote no tubo o nível deste líquido. A seguir coloque com cuidado, o outro líquido (Y); ao colocar este líquido uma parte do líquido X baixará de nível, enquanto a outra, subirá de nível. Medindo estas alturas e usando a relação: $d_x h_x = d_y h_y$, podemos encontrar a densidade d_y.

Exemplo. 6- Água e óleo, cujas densidades são 1,0 g/cm^3 e 0,80 g/cm^3 respectivamente, são colocadas num tubo em forma de U, como mostra a figura. Sendo 15 cm a altura da coluna de óleo, determine a altura da coluna de água medida acima do nível de separação entre os líquidos.

Usando-se a relação:

$d_a\ h_a = d_o\ h_o$ tem-se:

$1 \times h_a = 0{,}80 \times 15 \Rightarrow ha = 12$ cm.



5.8 Exercícios Propostos

1 - a) Misturam-se massas iguais de dois líquidos de densidades 0,65 g/cm^3 e 0,35 g/cm^3. Qual é a densidade da mistura homogênea assim obtida? b) Qual é a densidade de uma mistura homogênea em volumes iguais de dois líquidos de densidades 0,9 g/cm^3 e 0,6 g/cm^3?

2 - É sabido que o organismo humano pode ser submetido, sem conseqüências danosas a uma pressão de 4,0 x 10^5 N/m^2. Sabendo-se que um mergulhador encontra-se a uma profundidade de 20 m, num lago, qual a profundidade que ele ainda poderá mergulhar, sem sofrer conseqüências em seu organismo. da= 1000 kg/m^3, pressão atmosférica: 1,0 x 10 ^{5} N/m^2, aceleração da gravidade g = 10 m/s^2.

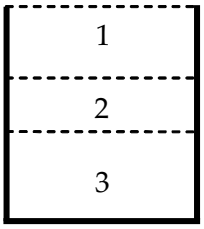
3 - (PUC-SP) A transfusão de sangue é feita ligando-se a veia do paciente um tubo que está conectado a uma bolsa de plasma. A bolsa situa-se a uma altura de 1,0 m acima do braço do paciente. A pressão venosa é 4 mmHg. Despreze a pressão do ar no interior da bolsa de plasma. A) Qual a pressão do plasma ao entrar na veia, em mmHg? b) O que aconteceria se o tubo fosse ligado numa artéria, cuja pressão média é de 100 mmHg? Dados: densidade do plasma d = 1,0 g/cm^3; pressão atmosférica p = 760 mmHg = 1,0 x 10^5 N/m^2.

4 - Uma mulher de 60 kg encontra-se de pé sobre o chão horizontal de uma sala. A área de contato do solado de cada um dos sapatos em contato com o chão é 80 cm^2. a) Qual a pressão que os dois sapatos exercem sobre o chão? B) Se ela substituir estes sapatos por um par de sapatos de salto alto, com uma área de contato com o chão de 10 cm^2, cada um, qual será a pressão dos sapatos sobre o solo? Adote g = 10 m/s^2.

5 - Um elevador é utilizado em postos de gasolina, para levantar veículos e o seu princípio de funcionamento é o mesmo de uma prensa hidráulica, ou seja pelo princípio de Pascal. Se a massa do veículo a ser levantado é de 800 kg e encontra-se distribuída sobre um cilindro de área de 0,5 m^2, determine a força necessária para erguer o veículo, se a área do outro cilindro é de 20 cm^2.

6 - Um submarino navega a uma profundidade de 60 m. A escotilha superior do submarino tem área de 0,5 m^2. Considere a densidade da água do mar como sendo de 1,03 g/cm^3. g = 10 m/s^2 e a pressão atmosférica como 1,0 x 10^5 N/m^2.a) Que pressão a água exerce sobre a escotilha? B) Que força deve exercer o marinheiro para abrir a escotilha?

7 - O recipiente indicado na figura 1, contém 3 líquidos não miscíveis, de densidades: d_1= 0,8 g/cm^3, d_2 = 1,0 g/cm^3 e d_3 = 13,6 g/cm^3. Sendo h_1 = 10 cm; h_2 = 20 cm e h_3 = 30 cm, calcule a pressão devida a esses três líquidos no fundo do recipiente.



Bibliografia

Carron, W., Guimarães, O. As faces da Física. Editora Moderna, São Paulo, 2005.

D. Halliday, R.Resnick e J.Walker; Fundamentos de Física; Vol.2 ; Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro - RJ, 2009.

Sears; Zemansky; Young e R.Fredman; Física II; Ed. Pearson, Addison Wesley. São Paulo-SP, 2008.

Okuno, E., Caldas, L.C. e Chow, C. Física para Ciências Biológicas e Biomédicas.Harper & Row do Brasil, São Paulo-SP, 1982.

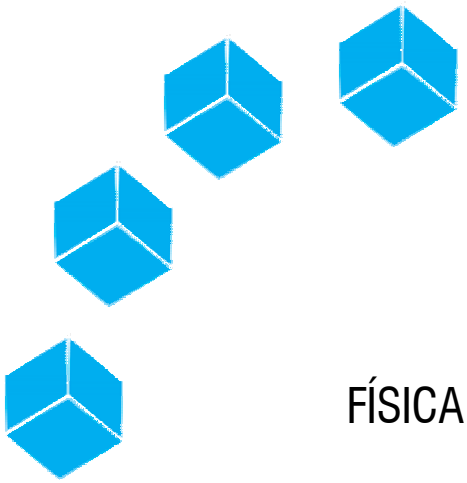
Ramalho Jr. F., Nicolau, G.F. e Toledo, P.A. Os fundamentos da Física-2 Termologia, Óptica e Ondas. Editora Moderna, São Paulo, 2003.

http:// www.if.ufrgs.br/mpef/mef004/20021/Berenice/hidro2.html

www.if.ufrj.br/teaching/fis2/hidrostatica/pressao.html

www.ufsm.br/gef/

BIOLOGIA



FÍSICA BÁSICA

Unidade 6

ONDULATÓRIA

LICENCIATURA

Unidade 6

ONDULATÓRIA

Na natureza, grande parte dos fenômenos é de caráter ondulatório. Em nosso cotidiano estamos constantemente sendo "bombardeados" por ondas, quer sejam: ondas sonoras, ondas de rádio, ondas visíveis, ondas de radiação ultravioleta e infravermelho, ondas de TV e microondas, enfim uma variedade muito grande de ondas. O nosso organismo, através dos olhos e ouvidos, pode detectar ondas luminosas e sonoras, respectivamente, enquanto que os próprios animais obtêm informações de se seu ambiente detectando algum tipo de onda, e a comunicação entre eles também pode ocorrer através de ondas.

6.1 Conceito de Onda

Considere duas pessoas segurando as extremidades de uma corda flexível. Se uma dessas pessoas provoca um movimento na extremidade da corda, para cima e para baixo, ela estará produzindo uma perturbação neste ponto, que se deslocará ao longo da corda. Esta perturbação é chamada de **pulso** e o movimento deste pulso, denomina-se de **onda.** Neste caso a **fonte** da onda é a mão da pessoa e o **meio de propagação** é a própria corda.

Apesar de a corda não ter movimento na direção horizontal (os seus pontos oscilam na direção vertical) a pessoa na outra extremidade, sentirá em suas mãos o movimento realizado pela primeira pessoa, logo, podemos concluir que a onda transmite energia, sem o transporte de matéria.

6.2 Tipos de Ondas

Existem várias classificações das ondas, dependendo do meio onde elas se propagam elas se dividem em: **ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas.** As ondas mecânicas necessitam de um meio material para se propagar. Exemplos destas ondas são: ondas sonoras, ondas numa corda de violão, na superfície de um líquido ou no interior dos sólidos. A propagação da onda se origina de uma perturbação ou distúrbio numa região de um meio material, através dos choques entre as moléculas deste meio, a perturbação se propaga de um ponto a outro.

As ondas eletromagnéticas não necessitam necessariamente de um meio material para se propagarem e podem se propagar no vácuo. Elas se originam das variações dos campos elétricos e magnéticos das cargas elétricas oscilantes. Como exemplos destas ondas tem-se: luz visível, microondas, ondas de telefonia celular, raios X, ondas infravermelho e ultravioleta.

Em relação à direção de perturbação e a propagação da onda, elas podem ser classificadas em: **longitudinal e transversal**. Dizemos que uma propagação é longitudinal, quando a direção de perturbação ou vibração, é a mesma na qual se dá a propagação da onda. Ondas numa mola e ondas sonoras são exemplos de ondas longitudinais.

Numa propagação transversal a direção de perturbação ou vibração é perpendicular à direção de propagação da onda. Exemplos deste tipo de propagação são as ondas eletromagnéticas, que se propagam perpendicularmente aos campos elétricos e magnéticos e as ondas numa corda.

As ondas ainda podem ser classificadas conforme a direção de sua propagação.

As ondas **unidimensionais** propagam-se apenas numa dimensão, ou sobre uma linha. Ao movimentarmos a extremidade de uma corda para baixo e para cima, a onda resultante se propagará apenas numa dimensão. Entretanto se movermos esta extremidade para baixo e para cima e também para a direita e esquerda, esta onda se propagará em duas dimensões e será uma onda **bidimensional.** Um caso típico são as ondas produzidas na superfície de um lago. Ao produzirmos uma perturbação na superfície, jogando uma pedra, por exemplo, as águas se moverão tanto para cima e para baixo, quanto para as bordas do tanque. Quando estamos numa sala e ligamos um rádio, independente de estarmos à direita, esquerda, acima ou abaixo do rádio, nós ouviremos o som emitido por ele. Neste caso, as ondas sonoras se propagam em todas as direções da sala e são denominadas ondas **tridimensionais**.

6.3 Velocidade de Propagação

Considere uma corda homogênea, de massa m e comprimento L. Define-se como densidade linear μ, a razão:

$$\mu = m/L$$

Esta grandeza tem a unidade de kg/m ou ainda g/cm.

No exemplo da corda, ao se produzir uma pulso que se propaga na corda, verifica-se que sua velocidade é diretamente proporcio-

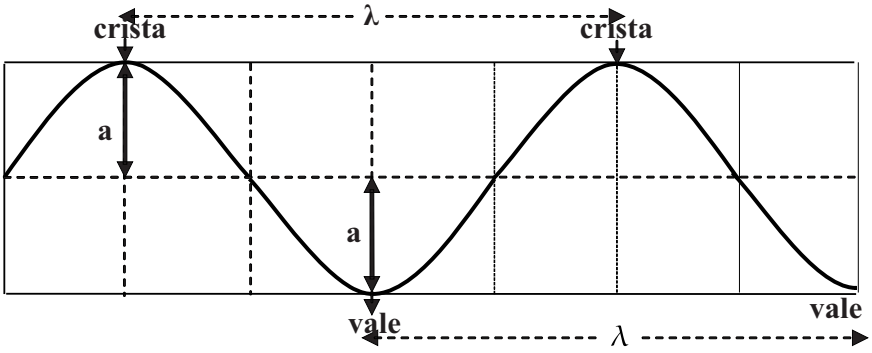
nal a tração (T) exercida na corda e inversamente proporcional a sua densidade linear (μ), ou:

$$V = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Note-se que quanto maior for a tração na corda, maior será a velocidade e quanto maior for a densidade linear, ou quanto "mais grossa" for a corda, menor será sua velocidade.

6.4 Ondas Periódicas

Considere uma pessoa executando um movimento para cima e para baixo, na extremidade livre de uma corda e que este movimento seja periódico, ou seja, ocorre em intervalos de tempos iguais. A sucessão de pulsos iguais produz uma onda periódica. A figura mostra uma onda periódica e suas características.



A parte elevada da onda chama-se **crista**, enquanto que a cavidade entre duas cristas chama-se de **vale**. A distância entre duas cristas ou entre dois vales consecutivos é chamada de comprimento de onda (λ) e **a** é a **amplitude da onda**, que é o máximo deslocamento na direção vertical (máxima elongação).

O **período T** da onda é definido como o tempo que duas cristas consecutivas ou dois vales, passam pelo mesmo ponto do espaço, ou seja, é o intervalo de tempo para que um ponto da onda realize uma oscilação completa. A **freqüência da onda f** é definida como o número de cristas consecutivas que passam por um mesmo ponto, em cada unidade de tempo. A freqüência e período se relacionam por:

$$f = \frac{1}{T}$$

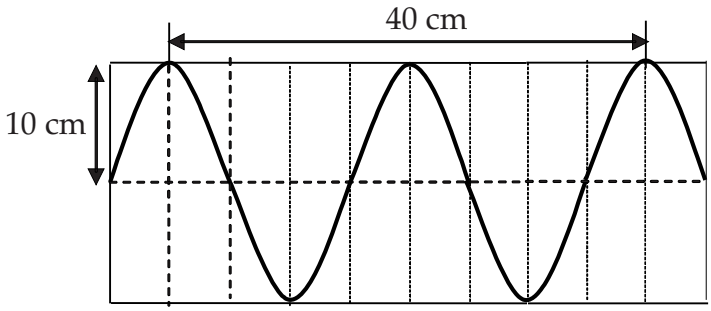
onde a freqüência de uma onda é a freqüência da fonte que a produziu.

Quando uma onda se propaga numa corda, é sabido que a corda não se desloca (meio), mas sim as cristas e os vales. A velocidade de propagação da onda, também chamada de velocidade de fase, é dada por:

$$V = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow \qquad V = \lambda . F$$

A equação acima é chamada de **equação fundamental das ondas.**

Exemplo: Considere a onda representada, cuja velocidade de propagação é de 2,0 m/s. Determine: a) O comprimento de onda b) A amplitude da oscilação C) A freqüência da oscilação.



Analisando a figura tem-se:

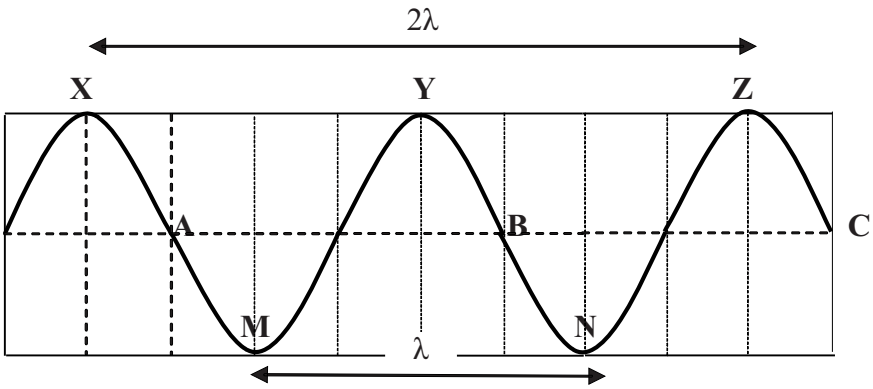
a) λ = 20 cm(distância entre duas cristas)

b) A amplitude é A = 10 cm

c) A freqüência é dada por: f = V/ λ ou f = 2,0/0,20 = 10 Hz.

6.5 Frente de Ondas. Princípio de Huygens

Na figura abaixo, são destacados vários pontos de uma onda, propagando-se numa corda, num determinado instante.



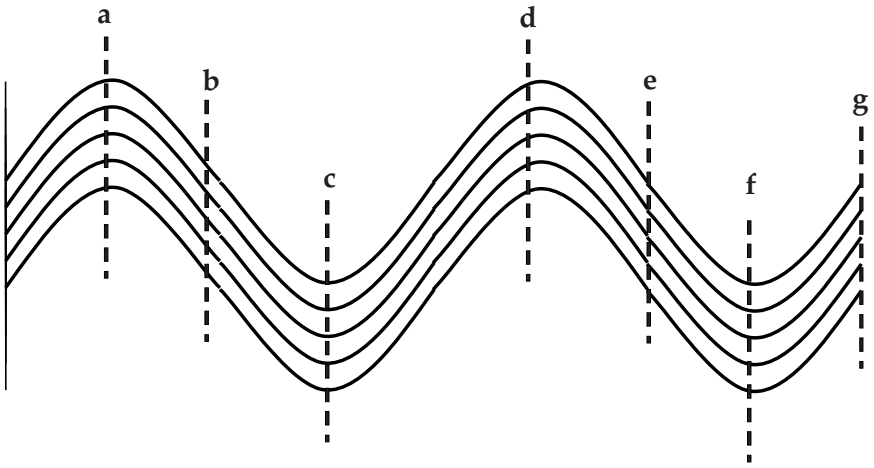
Os pontos X, Y e Z, que são pontos de crista, estão separados por λ, o mesmo ocorre entre os pontos M e N, que são pontos de vale.

Os pontos aleatórios A, B e C estão separados por λ. A característica comum destes pontos, é que a separação entre eles é λ ou 2λ e quando isto ocorre, dizemos que os pontos: (X,Y,Z), (M, N) e (A,B,C), estão em concordância de fase.

Por outro lado, podemos dizer que os pontos X e M e Y e N estão em oposição de fase; enquanto X está na máxima elongação para cima, o ponto M encontra-se na máxima oscilação para baixo. O mesmo ocorre com os Y e N. A distância entre os pontos X e M e entre Y e N é de $\lambda/2$ e quando isto ocorre dizemos que os pontos encontram-se em oposição de fase.

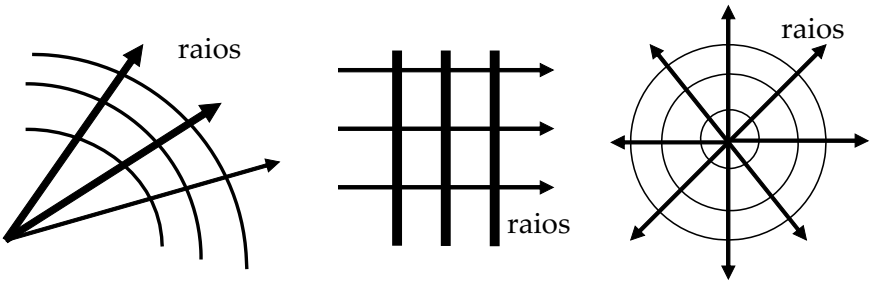
Pontos de uma onda separados por uma distância λ, 2λ, 3λ, 4λ,..., $n\lambda$, sendo n um número inteiro, encontram-se em concordância de fase, enquanto que pontos de uma onda separados por uma distância $\lambda/2$, $3\lambda/2$, $5\lambda/2$,...., $n\lambda/2$, com n ímpar, encontram-se em oposição de fase.

Para as ondas bi e tridimensionais, define-se frente de onda. Uma frente de onda é o lugar geométrico onde todos os pontos da onda encontram-se em concordância de fase.



A figura ilustra um trem de ondas, onde as retas tracejadas unem os pontos que se encontram em concordância de fase; cada reta tracejada representa uma frente de onda.

As frentes de onda podem ter várias formas, que dependem da fonte e do meio de propagação. Ascendendo-se uma lâmpada, sua luminosidade se propaga em todas as direções, portanto a frente de onda luminosa será esférica. Se batermos periodicamente com uma vara, nas águas calmas de um lago, as perturbações provocadas, se movimentarão paralelamente umas as outras, produzindo uma frente de onda plana. Jogando-se uma pedra neste lago, as perturbações produzidas se propagarão circularmente, formando uma frente de onda circular. A figura abaixo ilustra estas situações, onde os raios representam a trajetória dos pontos de perturbação.



Frente de onda Esférica | Frente de onda Plana | Frente de onda circular

Princípio de Huygens.

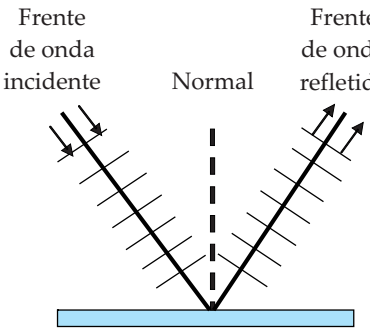
Uma frente de onda é formada por pontos de uma onda, que estão em concordância de fase. Segundo o princípio de Huygens, cada ponto desta frente se comporta como uma nova fonte de ondas elementares e progressivas. A linha ou superfície que tangencia todas as ondas elementares produzidas corresponde à frente de onda num instante posterior.

6.6 Fenômenos Ondulatórios

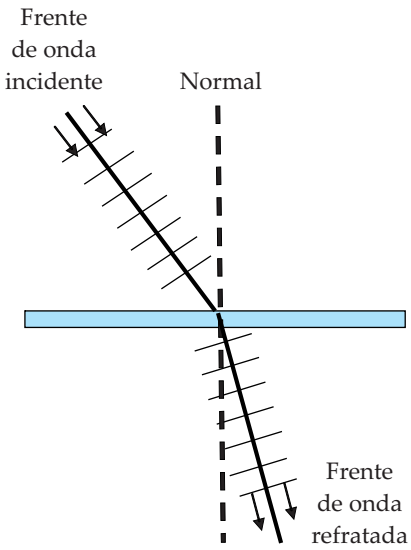
6.6.1 Reflexão

A reflexão de ondas ocorre quando ao atingir a fronteira de separação de dois meios, a onda retorna ao meio de origem, Como a onda emitida e a onda refletida encontram-se no mesmo meio, ambas terão a mesma velocidade e como a fonte que produziu a onda permanece inalterada, a freqüência e o comprimento de onda permanecem inalterados. Quando se emite um som nas proximidades de um obstáculo como, por exemplo, uma caverna, as ondas sonoras sofrem reflexão nas paredes da caverna e voltam na direção oposta e, quando elas chegam ao nosso ouvido, nós ouvimos o eco. Portanto a existência do eco se deve unicamente à propriedade de reflexão das ondas sonoras.

Da mesma forma, as cores dos objetos são devidas a reflexões de alguns comprimentos de ondas pela luz incidente sobre eles. Assim, quando olhamos para um objeto opaco, vemos somente a parcela não absorvida da luz que chegou até ele. O fenômeno da reflexão também ocorre com ondas mecânicas numa corda ou então de ondas produzidas nas águas de um lago tranqüilo.



Reflexão de uma Onda



Refração de uma Onda

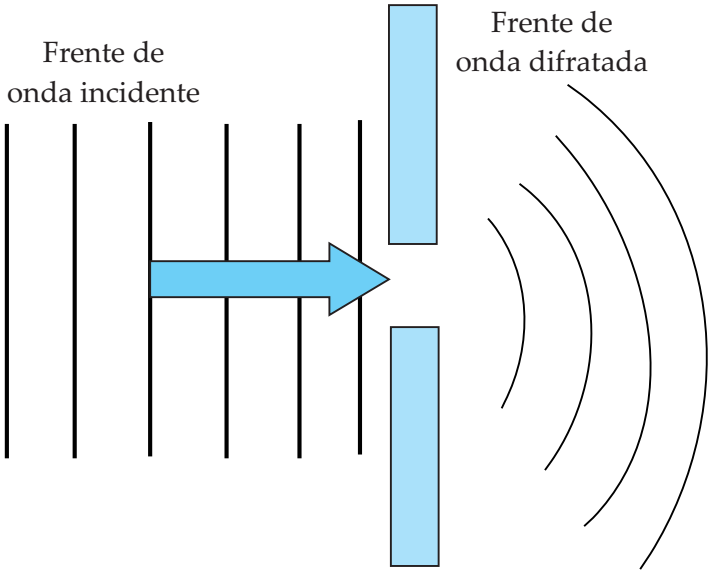
6.6.2 Refração

Considere uma onda que atravessa uma superfície de separação entre dois meios quaisquer, como por exemplo: água e óleo, ar e vidro, corda fina e corda grossa, etc. Ao passar de um meio para outro sua velocidade muda e, portanto poderá haver mudança na direção de propagação da onda. O desvio da direção da onda incidente dependerá exclusivamente das características do meio, e é denominado **refração**. A refração é a explicação de inúmeros efeitos interessantes: você já notou que quando um lápis está imerso dentro de um copo de água, a parte do lápis que está no interior da água parece "entortar"; este fenômeno é chamado de refração. O arco-íris, a cor do céu no pôr-do-sol, o uso de lentes nos óculos e instrumentos astronômicos, também são exemplos deste fenômeno.

6.6.3 Difração

A difração ocorre quando uma onda encontra uma fenda ou um obstáculo. As ondas conseguem contornar os obstáculos ou fendas e chegar a regiões que não poderiam atingir, caso apresentassem apenas propagação retilínea. È possível ouvir o som produzido por uma explosão que se situa atrás de um muro delimitador, mesmo que este tenha grande espessura de tal forma que as ondas sonoras não consigam atravessá-lo. Da mesma forma, se uma música está sendo tocada, com volume alto, numa sala de uma casa, é possível ouvi-la num quarto próximo, mesmo que haja uma porta entre eles. Deste modo, percebemos que o som e todos os outros tipos de ondas têm a capacidade de contor-

nar obstáculos. A difração da luz também pode ser observada tanto pela tendência de contornar obstáculos, aparecendo na forma de franjas claras e escuras, como pela abertura do feixe depois de atravessar uma fenda estreita.

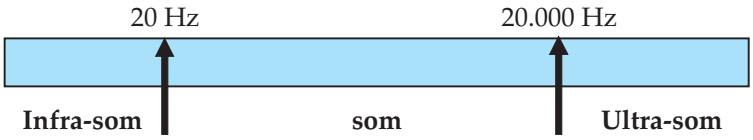


6.7 Ondas Sonoras

As ondas possuem uma propriedade muito conhecida, ao se propagarem elas transportam energia sem transportar matéria. Observe que, ao recebermos uma informação de origem sonora nós não somos empurrados na direção de propagação da onda, simplesmente sentimos a energia sonora ressoar nos nossos tímpanos. As ondas sonoras são originadas por vibrações no meio material em que elas se propagam. Ela se propaga em vários meios, sólidos, líquidos e gasosos, mas na maioria dos casos, esse meio é o ar. Ao produzirmos um som, as vibrações são transmitidas para as moléculas do ar que por sua vez passam a vibrar. A vibração dessas moléculas é transmitida para as moléculas vizinhas, que por sua vez também passam a se propagar para outras moléculas vizinhas, e assim sucessivamente. Essa propagação ocorre em todas as direções e por esse motivo a onda sonora é classificada como **onda esférica**. Como citado anteriormente, as ondas sonoras são longitudinais, ou seja, as moléculas vibram na mesma direção de propagação da onda, produzindo regiões de compressões e rarefações sobre o ar.

O som é produzido por corpos que vibram, mas nem toda vibração é capaz gerar um som que vá excitar o nosso tímpano. Para que tenhamos a sensação auditiva é necessário que a onda sonora esteja numa uma faixa de freqüência bem definida. Para o ouvido

humano, essa faixa de freqüência vai de 20 Hz a 20000 Hz. Fora desses limites, o ouvido humano não é capaz de perceber a onda como som. Abaixo de 20 Hz, as ondas são conhecidas como infra-sons e acima de 20000 Hz elas são conhecidas como ultra-sons.Existem diversos animais que são capazes de perceber sons acima de 20000 Hz. Os cães, por exemplo, conseguem captar freqüências de 50000 Hz. Temos também como exemplo os morcegos e os golfinhos.



6.7.1 Velocidade do som

O som é uma onda mecânica e necessita de um meio material para se propagar, portanto ele não se propaga no vácuo. A velocidade do som depende do meio em que ele está de propagando; no ar sua velocidade é de aproximadamente 340 m/s, nos sólidos e líquidos, as ondas se propaguam ainda mais rápido. Podemos perceber isso quando colocamos a cabeça dentro da água e ouvimos o ruído do motor de um barco com extrema nitidez. Na água, o som se propaga com uma velocidade de aproximadamente 1450 m/s enquanto que no ferro, a velocidade é de 5130 m/s. Comparando-se as velocidades do som, tem-se:

Velocidade do som: $V_{sólido} > V_{líquido} > V_{gases}$

A velocidade do som é dada por

$$\mathbf{V = \lambda f}$$

Onde λ é o comprimento de onda e f é a freqüência de vibração.

6.7.2 Características do Som

O som é caracterizado por várias grandezas físicas: Intensidade, altura e timbre**.** A intensidade sonora é uma característica que mos permite distinguir sons fortes dos sons fracos. A intensidade (I) é definida como a potência do som por unidade de área e é dada em watt por metro quadrado (w/m^2). Esta intensidade representa a energia transportada pela onda, através de uma superfície por unidade de tempo e unidade de área.

O ouvido humano pode detectar sons que variam de uma intensidade de 10^{-12} w/m^2 a 1 w/m^2. Como esta faixa é muito ampla (10^{12}), criou-se uma unidade para a intensidade sonora, que é o

nível sonoro (β), cuja unidade é o Decibel (dB). O nível sonoro (β) é definido como:

$\beta = \mathbf{10\ log}\ \left(\frac{I}{Io}\right)$ onde Io = 10^{-12} w/m^2 é a intensidade mínima, também chamada de limiar da audição.

Como exemplo, consideremos um som emitido por uma turbina de avião a jato, com I = 10^2 w/m^2. Utilizando-se a expressão: $\beta = \mathbf{10\ log}\ \left(\frac{I}{Io}\right)$, com I = 10^2 e Io = 10^{-12} tem-se:

$\beta = \mathbf{10\ log}\ \left(\frac{10^2}{10^{-12}}\right) \Rightarrow \beta = 10 \log (10^{14})$ β = 140 dB.

Portanto o som emitido pela turbina de um avião a jato produz um nível sonoro de 140 dB.

A tabela abaixo mostra os níveis de ruído de alguns sons.

Fonte Sonora	Nível de Ruído (dB)
Turbina de avião a jato	140
Arma de fogo	130-140
Serra elétrica	110
Cortador de grama	107
Shows de Rock, com distância de 1 a 2 metros da caixa de som	105-120
Furadeira pneumática	100-105
Piano tocando forte	92
Walkman no volume 5	95
Avenida movimentada	85
Tráfego pesado	85
Automóvel (passando a 20 metros)	80
Conversação a 1 metro	70
Sala silenciosa	60
Área residencial à noite	50
Falar sussurrando	40

Altura: altura é a qualidade que permite classificar os sons em **graves e agudos.** A altura depende da freqüência, sons graves se caracterizam por terem freqüência menor, já os sons agudos possuem freqüência maior. A voz do homem, que costuma ser grave ou mais grossa, possui freqüência que varia entre 100 e 200 Hz enquanto que a da mulher, que costuma ser mais aguda ou mais fina, possui freqüência entre 200 e 400 Hz.

Timbre: O timbre nos permite distinguir entre sons de mesma freqüência (mesma altura) e de mesma intensidade, emitidos por fontes diferentes. Por exemplo, o timbre nos permite distinguir entre uma mesma nota musical produzida por um piano ou por uma flauta, já que as sensações produzidas em nossa audição, são diferentes.

Eco: O eco é um fenômeno sonoro que ocorre devido à reflexão da onda. Para entendê-lo, imagine uma pessoa em um salão amplo que bate palmas uma única vez. Dependendo do tamanho do salão, depois de um curto intervalo de tempo, essa pessoa será capaz de ouvir esse som de palmas novamente. Isso ocorre porque o som, ao se propagar, acaba encontrando um obstáculo. Ao incidir nesse obstáculo, o som sofre uma reflexão e volta para a fonte, que nesse caso é a pessoa que bateu palmas. Na maioria das vezes o eco não é percebido; para que ele seja percebido é necessário que o obstáculo refletor, esteja no mínimo distante 17 m da fonte sonora. Para que o ouvido perceba os dois sons (o incidente e o refletido) de maneira distinta, é necessário que eles estejam separados por um intervalo de tempo de pelo menos um décimo de segundo ($\Delta T = 0{,}1$ s). O som refletido percorre uma distância 2d (ida e volta) e considerando que o som se propaga com velocidade de 340 m/s, tem-se:

$$V = 2\,d/\,\Delta T \Rightarrow d = V.\Delta T/2 \Rightarrow d = (340\,.\,0{,}1)/2 \Rightarrow \mathbf{d = 17\ m}$$

O eco é de fundamental importância para os morcegos. Como são criaturas com grau de visibilidade extremamente limitada, eles conseguem perceber os obstáculos à sua frente através da emissão de ultra-sons. Essas ondas, ao baterem nos obstáculos, voltam e através do intervalo de tempo entre o som emitido e o refletido, os morcegos conseguem perceber a distância que se encontram dos obstáculos.

6.7.3 Efeito Doppler

Você já percebeu que quando está parado a beira de um avenida e uma ambulância, com a sirene ligada, se aproxima de você o som emitido por ela torna-se mais agudo e quando ela se afasta de você, o som torna-se mais grave. Este é um fenômeno sonoro, chamado de Efeito Doppler, onde a freqüência do som varia devido ao movimento relativo entre fonte sonora e o observador. Quando a fonte sonora se aproxima do observador ou quando o observador se aproxima da fonte, a freqüência do som aumenta, tornando o som mais agudo e quando há o afastamento entre a fonte e o observador, a freqüência do som diminui, tornando-o grave. Denominando de f' a freqüência recebida pelo observador e f a freqüência emitida pela fonte sonora, elas se relacionam como:

$$f' = \left(\frac{V \pm Vo}{V \pm Vf}\right) f,$$

onde

f: freqüência emitida pela onda

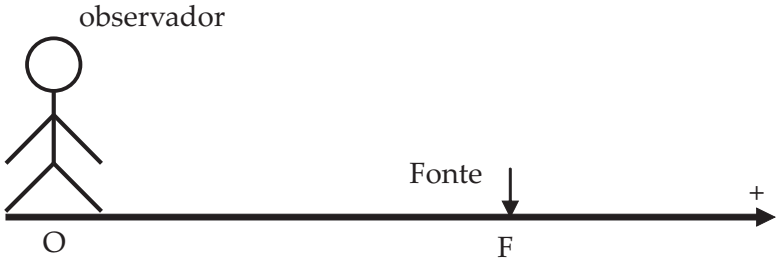
f': freqüência recebida pelo observador

V: velocidade da onda

Vo: velocidade do observador

Vf: velocidade da fonte

O sinal + ou -, que precede Vo e Vf, são utilizados da seguinte forma:



A trajetória é positiva de O para F e:

Vo será positivo (+) quando o observador se aproxima da fonte.

Vo será negativo (-) quando o observador se afasta da fonte.

Vf será positivo (+)quando a fonte se afasta do observador

Vf será negativo (-) quando a fonte se aproxima do observador

Vo = 0 se o observador está parado

Vf = 0 se a fonte está parada

Exemplo: Um carro com velocidade de 72 km/h se aproxima de um observador parado, a beira da rodovia, emitindo um som com a buzina, de 100 Hz. Considerando-se a velocidade do som como sendo de 340 m/s, determine a freqüência aparente do som emitido recebido pelo observador.

Usando-se expressão: $f' = \left(\frac{V \pm Vo}{V \pm Vf}\right) f$, com

V= 340 m/s, Vo = 0, Vf = -72 km/h = -20 m/s e f = 100 Hz, tem-se:

$$f' = \left(\frac{340 + 0}{340 - 20}\right)100 \Rightarrow f' = 106{,}25 \text{ Hz}.$$

Logo a freqüência do som aumentou, tornando-o mais agudo.

6.8 Exercícios Propostos

1 - (VUNESP 2005) Uma pequena esfera suspensa por uma mola executa movimento harmônico simples na direção vertical. Sempre que o comprimento da mola é máximo, a esfera toca levemente a superfície de um líquido em um grande recipiente, gerando uma onda que se propaga com velocidade de 20 cm/s. Se a distância entre as cristas da onda for 5,0cm, determine a freqüência de oscilação da esfera.

2 **-** Para ondas que têm a mesma velocidade de propagação em um dado meio, são inversamente proporcionais:

a) sua intensidade e sua amplitude.

b) seu período e seu comprimento de onda.

c) sua freqüência e seu comprimento de onda.

d) seu período e sua amplitude.

e) sua freqüência e sua amplitude.

3 - Assinale a(s) alternativa(s) correta(s):

a) Os raios alfa e raios beta são radiações de natureza eletromagnética.

b) O fenômeno pelo qual uma onda não forma uma sombra com limites precisos, quando contorna uma barreira que a bloqueia parcialmente, é chamado de difração.

c) As ondas sonoras são exemplos de ondas longitudinais, e as ondas eletromagnéticas são exemplos de ondas transversais.

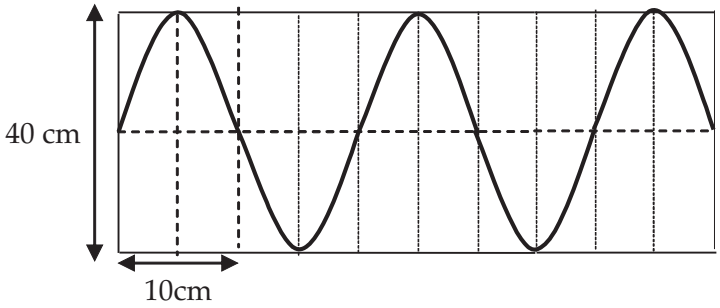
d) Uma onda de freqüência 50 Hz e comprimento de onda 20 cm está se movendo à velocidade de 10 m/s.

e) A onda sonora pode sofrer o fenômeno da difração

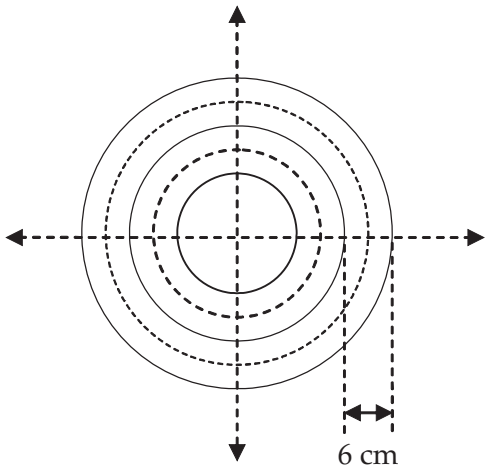
4 - Um automóvel, com velocidade constante de 108 km/h se aproxima de um homem, que se encontra parado, à beira da rodovia. Considerando-se que a velocidade do som é de 340 m/s e que a freqüência do som emitido pela buzina é de 600 Hz, determine a freqüência com que o homem ouvirá o som da buzina.

5 - Uma sucessão de 10 oscilações completas foram produzidas numa corda, num intervalo de tempo de 4,0s. a) determine o período da onda. B) Se a onda se propaga com uma velocidade de 2 m/s, determine o comprimento da onda.

6- Considere a onda representada na figura abaixo, que se move com velocidade de 20,0 m/s. A) determine sua amplitude, B) Determine o seu período e freqüência.



7- Pedras são atiradas sobre a superfície de um lago, formando ondas, como mostrada na figura. Sabendo-se que a freqüência com que as pedras são atiradas é de 4Hz, determine a velocidade de propagação da onda. (As linhas cheias representam cristas e as tracejadas, vales)



Bibliografia

Bonjorno, J.R., Bonjorno, R.A., Bonjorno, V., Clinton, M.R.; Temas de Física, Vol. 2. Editora FTD S.A. São Paulo-SP, 1998.

Carron, W., Guimarães, O. As faces da Física. Editora Moderna, São Paulo, 2005

D. Halliday,R.Resnick e J.Walker; Fundamentos de Física; Vol. 2; Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro-RJ, 2009.

Sears; Zemansky;Young e R.Fredman; Física II; Ed. Pearson, Addison Wesley. São Paulo-SP, 2008.

Okuno, E., Caldas, L.C. e Chow, C. Física para Ciências Biológicas e Biomédicas.Harper & Row do Brasil, São Paulo-SP, 1982.

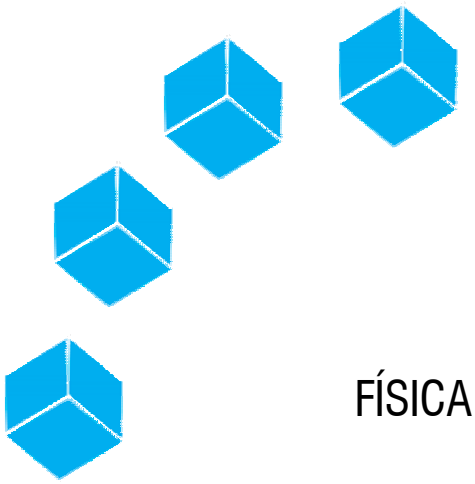
Ramalho Jr. F., Nicolau, G.F. e Toledo, P.A. Os fundamentos da Física-2 Termologia, Óptica e Ondas. Editora Moderna, São Paulo, 2003.

www.if.ufrj.br/teaching/fis2/ondas1/ondulatorio.html

www.if.ufrj.br/teaching/fis2/ondas2/ondas2.html

www.ufsm.br/gef/

BIOLOGIA



FÍSICA BÁSICA

Unidade 7

LENTES DELGADAS

LICENCIATURA

Unidade 7

LENTES DELGADAS

7.1 Introdução

Lentes são dispositivos ópticos de grande aplicabilidade prática. Elas encontram-se presentes nos óculos, equipamentos fotográficos, projetores, data show, microscópios, lunetas e principalmente em nossos olhos, se as quais não poderíamos enxergar. Com exceção do cristalino, que é um corpo lenticular transparente e que constitui parte do mecanismo da visão, as lentes de uma forma geral, são feitas de vidro, quartzo ou plásticos, que são meios nos quais ocorrem a refração.

Uma lente esférica é um corpo homogêneo e transparente em que duas ou mais superfícies são esféricas ou uma delas é plana e a outra esférica. Geralmente as duas superfícies têm raios diferentes e a espessura da lente é desprezível em relação à distância do objeto; nessa condição dizemos que a lente é delgada.

A lente é um objeto transparente com duas superfícies refratoras cujos eixos centrais coincidem; o eixo comum é o eixo central da lente. Quando uma lente está imersa no ar, a luz se refrata do ar para o interior da lente, atravessa a lente e depois se refrata de volta para o ar. Se inicialmente, os raios de luz forem paralelos ao eixo central da lente e ela os fizer convergir para um ponto, diz que a lente é convergente. Ao contrário, se ela os fizer divergir, a lente é divergente.

Os nomes das lentes esféricas são compostos de duas partes, cada uma referente a uma das superfícies. Como critério para nomenclatura dos diferentes tipos de lente, diz-se em primeiro lugar a face que possui maior raio de curvatura. Desta forma se a lente apresentar um maior raio da parte côncava do que a parte convexa, a lente é denominada de côncavo-convexa; caso contrário, convexo-côncava.

As lentes convergentes são mais espessas no centro do que nas bordas e o contrário ocorre com as lentes divergentes, como mostra a figura a seguir.

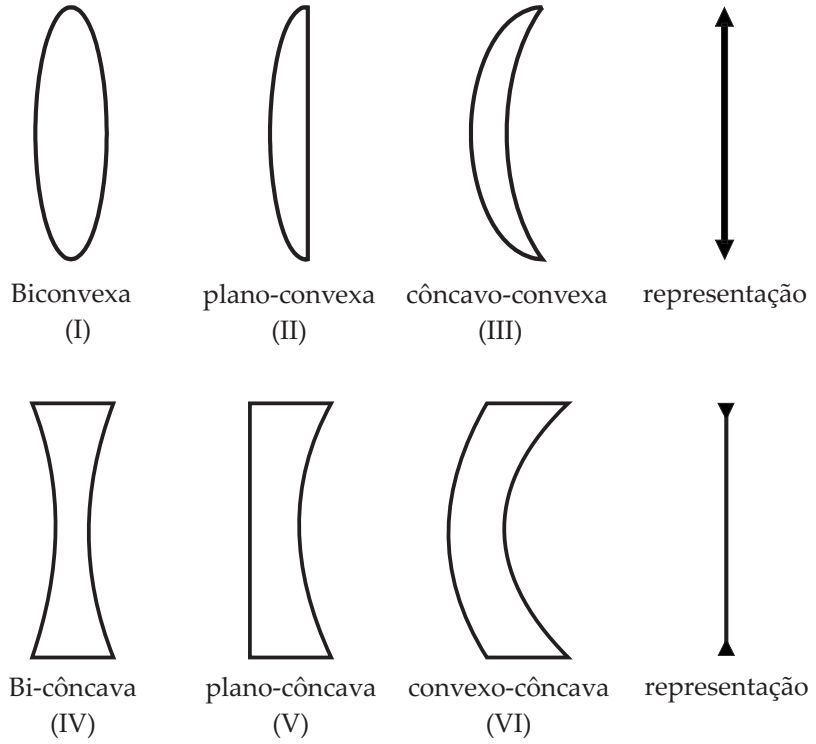


Figura 1 - Lentes de bordas delgadas (I, II, e III) e Lentes de bordas espessas (IV, V e VI)

O eixo óptico ou eixo principal é definido pela reta que passa pelo centro geométrico O da lente e é perpendicular à sua superfície, no ponto de intersecção.

O ponto focal principal ou simplesmente foco F é um ponto situado sobre o eixo óptico e possui a propriedade de que qualquer raio luminoso que se origina dele, para lente convergente, (figura 2-a) ou se dirige para ele, lente divergente (figura 2-b), após a refração, torna-se paralelo ao eixo óptico, como mostrado na figura 2.

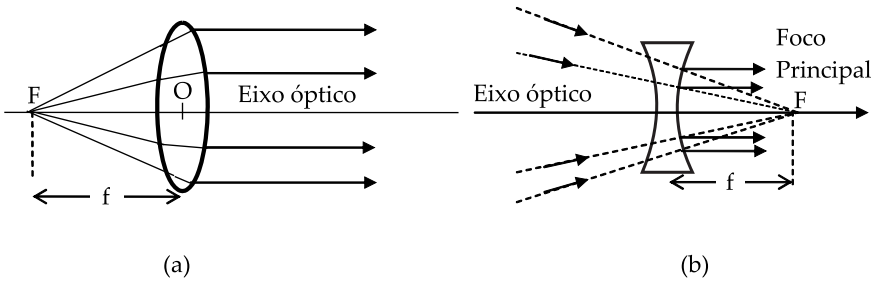


Figura 2 - (a) O foco principal de uma lente convergente tem natureza real. (b) O foco principal de uma lente divergente tem natureza virtual.

As lentes delgadas possuem um outro foco, chamado de ponto focal secundário F′, do lado oposto ao foco F e de igual distância focal f. Esse ponto possui a propriedade de que qualquer raio incidente paralelo ao eixo óptico, após ser refratado pela lente, conver-

ge para ele, no caso de lente convergente ou diverge dele, para o caso de lente divergente, conforme mostrado na figura 3.

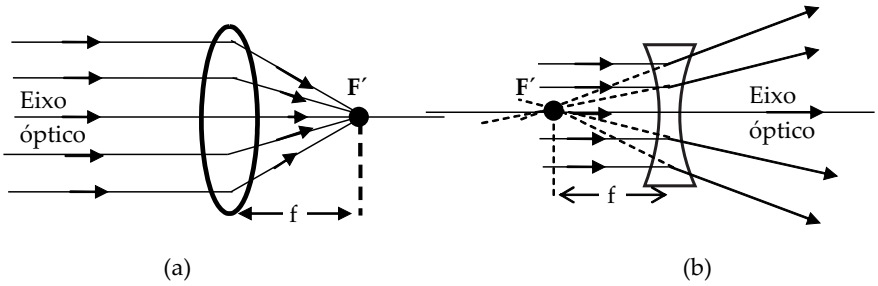


Figura 3 - (a) O foco secundário de uma lente convergente tem natureza real. (b) O foco secundário de uma lente divergente tem natureza virtual.

Observe que os focos principais são reais nas lentes convergentes, isto é, são definidos pelo cruzamento efetivo de raios luminosos e virtuais para a lente divergente, ou seja, são definidos pelo cruzamento de prolongamentos de raios.

7.2 Formação de Imagem

Considere um objeto de comprimento ou altura **h** a uma distância **o** de uma lente convergente (Fig.4). Sua imagem, de comprimento ou altura **h′**, formar-se á a uma distância **i** da lente. Para a construção e localização de sua imagem, utilizaremos as propriedades dos raios ao incidir sobre a lente:

1- Um raio luminoso (1) que incide diretamente sobre o eixo óptico da lente, emerge da lente na mesma direção.

2- Um raio luminoso (2) que incide paralelamente ao eixo óptico da lente, emerge na direção do foco da lente.

3- Um raio luminoso (3) que incide na direção do foco da lente, emerge paralelamente ao eixo óptico.

Utilizando-se as propriedades acima, construiremos a imagem de um objeto, para uma lente convergente. A imagem obtida é menor, invertida e real.

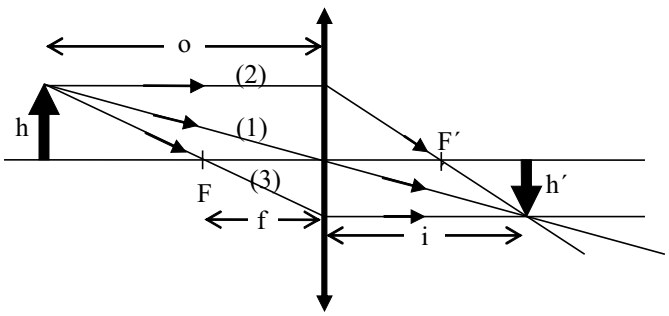


Figura 4 - Construção da imagem de um objeto real para uma lente convergente. (invertida, menor e real)

A característica da imagem de um objeto, formada por uma lente, dependerá da distância do objeto à lente. Quanto ao tamanho da imagem, ela poderá ser maior, menor ou igual ao do objeto; quanto à posição da imagem em relação ao eixo óptico ela será direita, se estiver do mesmo lado que o objeto e invertida, se estiver do lado oposto ao do objeto. Quanto à natureza da imagem ela será real, se for formada por cruzamento dos raios luminosos e virtual, se for formada por prolongamento dos raios.

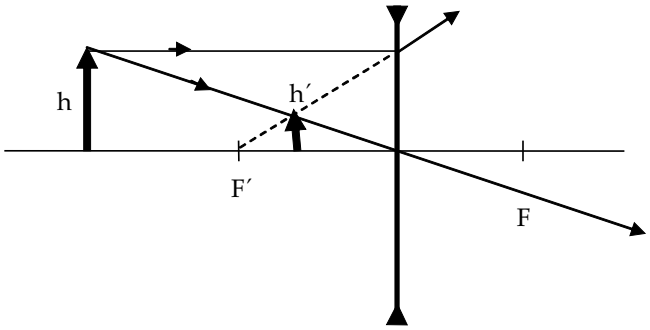


Figura 4 - Construção da imagem de um objeto real para uma lente divergente. (direita menor e virtual).

As relações entre as distâncias do objeto (o) e da imagem (i) em relação à lente e dos tamanhos do objeto (h) e da imagem (h´) podem ser obtidas através de relações geométricas, pelos triângulos formados pelos raios incidentes e emergentes.

Utilizando-se estas relações obtém-se:

$$\frac{h}{\acute{h}} = \frac{o}{i}$$

Através desta relação, definimos o Aumento linear transversal A, como sendo:

$$A = -\frac{\acute{h}}{h} = -\frac{i}{o}$$

O sinal (-) na equação acima significa que a imagem é invertida em relação ao objeto.

Ainda usando-se das relações geométricas entre os raios, obtém-se:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{o} + \frac{1}{i}$$

As distâncias: i e o podem ser positivas ou negativas. A distância o será considerada positiva, quando o objeto estiver do lado de incidência da luz sobre a lente e será considerada negativa, se estiver do outro lado. A distância i será considerada positiva, quando a imagem estiver do outro lado da lente, em relação a incidência de luz e será negativa, se estiver do mesmo lado. Assim a imagem será

considerada real quando i for positivo e será virtual para i negativo. A distância focal f de uma lente convergente será sempre positiva.

Para construir a imagem de um objeto, situado em diferentes posições sobre o eixo óptico, tanto para lentes convergentes e divergentes, acesse o site:

http://www.unb.br/iq/kleber/EaD/Fisica-4/Aulas/Aula-14/aula-14.html-

7.3 Instrumentos Ópticos

Os instrumentos ópticos se dividem em: instrumentos de projeção e instrumentos de observação. Chamamos de instrumentos de projeção, tais como: câmara fotográfica, projetores de filme e slide e retroprojetores, àqueles que fornecem uma imagem real que pode ser projetada sobre um anteparo, uma tela ou um filme.

Os instrumentos ópticos que fornecem uma imagem final virtual do objeto são denominados de instrumentos de observação. Entre eles, encontram-se a lente de aumento, lupa e microscópio, que através de uma lente convergente, fornece de um objeto real, uma imagem virtual direita e maior.

Lente de Aumento

Para obter uma imagem direita, ampliada e virtual de um objeto, ele deve ser colocado entre o ponto focal F e a lente convergente. Nestas condições teremos uma imagem ampliada e, portanto a lente funcionará como uma lente de aumento, como mostra a figura 5.

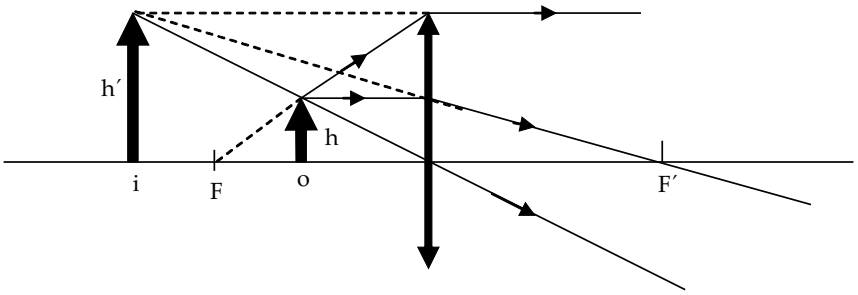


Figura 5 - Esquema da trajetória dos raios luminosos para uma lente de aumento.

Conforme mostra a figura, o tamanho (h´) do objeto é maior do que o tamanho (h) da imagem, sendo esta imagem virtual, pois se encontra no mesmo lado dos raios incidentes.

Exemplo: Um objeto é colocado sobre o eixo óptico de uma lente de aumento, cuja distância focal é de 12 cm. Se a distância entre o objeto e a lente é de 8 cm, determine a posição da imagem e sua natureza.

Utilizando-se a equação:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{o} + \frac{1}{i}, \text{ tem-se: } \frac{1}{f} - \frac{1}{o} = \frac{1}{i} \Rightarrow \frac{1}{i} = \frac{1}{12} - \frac{1}{8} \Rightarrow \frac{1}{i} = -\frac{1}{24} \text{ ou}$$

i = -24 cm. O sinal (-) significa que a imagem é virtual.

O aumento linear é dado por: A, logo:

$$A = -\frac{i}{o}, \text{ logo: } A = -\frac{-24}{8} = +3.$$

Portanto a imagem será virtual, direta e ampliada.

Microscópio Composto

O microscópio composto é um equipamento óptico usado na observação de objetos de pequenas dimensões. Ele consta da associação de duas lentes convergentes; a primeira que está próxima do objeto e é chamada de objetiva e a outra lente, que é uma lente de aumento e é denominada de ocular e com a qual observamos a imagem fornecida pela objetiva. A figura 5 mostra o esquema da trajetória dos raios luminosos que formarão a imagem no microscópio. Note que o objeto a ser observado está situado um pouco além do foco principal da objetiva. A imagem formada pela objetiva (I_1) é real, invertida e maior que o objeto. Essa imagem será o objeto para a ocular, que fornece a imagem final do sistema (I_2), que é virtual, invertida e maior que o objeto. O aumento linear do microscópio será igual ao produto do aumento linear de cada lente.

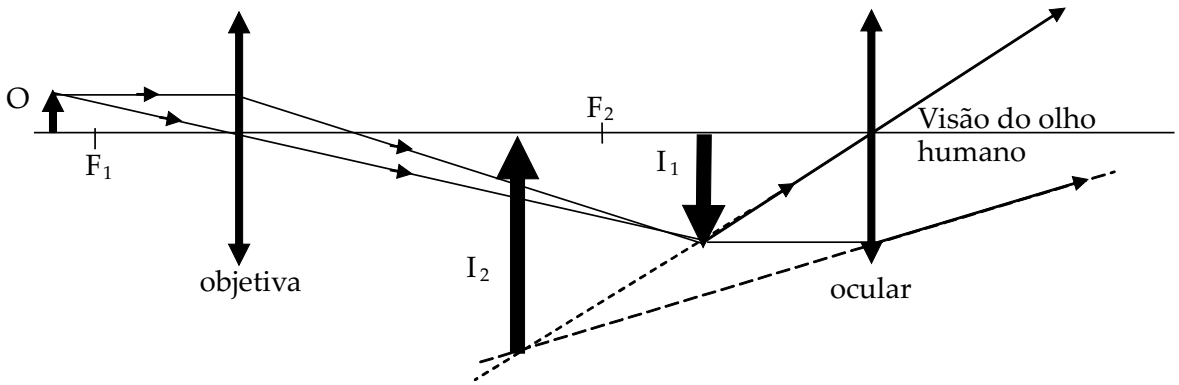


Figura 6 - Esquema da trajetória dos raios luminosos para um microscópio composto.

7.4 Olho Humano

Comparando-se com os padrões tecnológicos atuais, o olho humano é um instrumento óptico altamente sofisticado. Seu funcionamento é semelhante ao de uma máquina fotográfica, onde o cristalino é a lente, a íris o diafragma e a retina é o filme fotográfico.

Cristalino

È uma lente de distância focal variável. Essa variação de distância focal é devida a ação dos músculos ciliares que comprimem o cristalino, possibilitando uma acomodação visual para obtermos a formação de uma imagem nítida. O esforço de acomodação varia com a proximidade do objeto ao olho:

- Quanto mais próximo estiver o objeto, menor deve ser a distância focal do cristalino, portanto maior esforço visual para observá-lo.
- Quanto mais distante estiver o objeto, maior será a distância focal do cristalino; portanto menor o esforço para observá-lo.

Retina

È a parte sensível a luz, sobre a qual o cristalino projeta as imagens dos objetos colocados distantes dos olhos.

Íris

È o regulador da quantidade de luz que deve penetrar no olho. Possui um orifício central que se comporta como um diafragma, chamado de pupila. A íris abre-se bastante quando há pouca luz e fecha-se acentuadamente quando há muita luz.

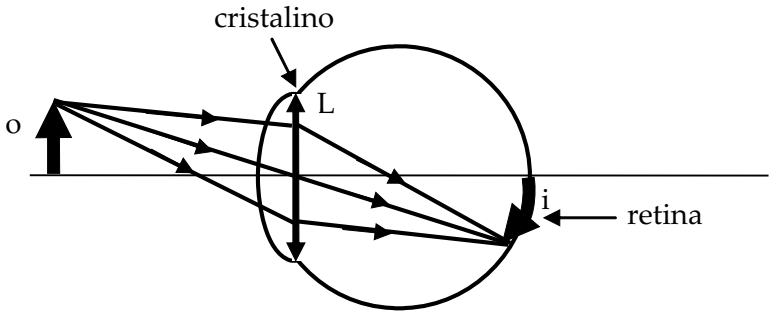


Figura 7- Esquema de formação da imagem no olho humano

7.4.1 Defeitos da Visão

Miopia

Em virtude de um alongamento antero-posterior do olho humano ou de um excesso de curvatura na córnea e/ou cristalino, quando um olho míope não realiza esforço de acomodação, o foco da lente L não está na retina, mas sim antes dela. a posição mais afastada em que essa pessoa pode ver nitidamente sem esforço de acomodação (ponto remoto) está consequentemente, a uma distância finita e não infinita. Isto significa que o míope não enxerga bem de longe. A correção da miopia é feita com lente divergente. A lente deve fazer com que os raios provenientes do infinito (paralelos) emerjam como se proviessem do ponto remoto. Desse modo, a imagem que a lente fornece de um objeto no infinito forma-se no ponto remoto do olho humano, podendo ser vista nitidamente, sem esforço. Assim sendo, o foco imagem F' da lente deve coincidir com o ponto remoto do olho.

Hipermetropia

Em virtude de um encurtamento antero-posterior do olho humano ou de uma falta de curvatura na córnea e/ou cristalino, quando um olho hipermetrope não realiza nenhum esforço de acomodação o foco F da lente está situado além da retina. Todavia, realizando um esforço de acomodação, a pessoa hipermetrope pode diminuir a distância focal de trazer o foco F para a retina. Assim para ver nitidamente um objeto no infinito, o hipermetrope deve realizar esforço de acomodação. O hipermetrope já realiza um esforço para ver no infinito. Por isso comparado com uma pessoa de visão normal, ele esgota antes sua capacidade de acomodação. Isso significa que o hipermetrope não enxerga bem de perto.

A correção da hipermetropia é realizada com lentes convergentes.

Astigmatismo

O astigmatismo ocorre devido a uma imperfeição do olho, particularmente da córnea; considerando-se os diversos planos que contém o eixo olho e interceptam a córnea, os arcos obtidos não apresentam a mesma curvatura, isto é, não apresentam o mesmo raio de curvatura, como acontece com olho normal, onde a córnea é perfeitamente esférica. O astigmata possui a córnea mais ovalada do que esférica e portanto a imagem não se forma nítida na retina. A correção do astigmatismo é feita com o uso de lentes cilíndricas, que podem ser convergentes ou divergentes.

7.5 Exercícios Propostos

1 - Para uma lente convergente, construa a imagem de um objeto para os seguintes casos:

a) objeto situado sobre o foco principal da lente.

b) objeto situado entre o foco principal e a lente.

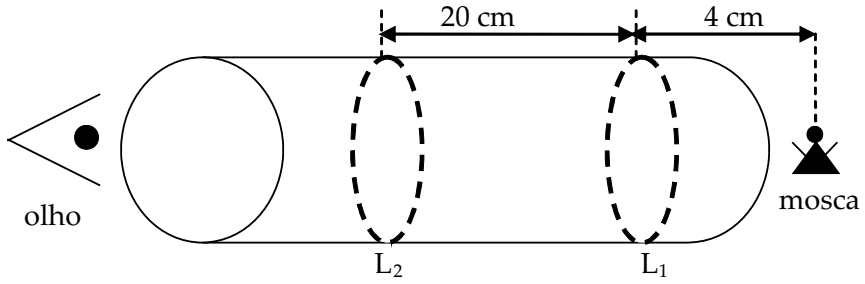
2 - Uma câmara fotográfica deve produzir sobre o filme, a imagem de um objeto situado a 40 cm da lente. Essa imagem deve ser 6 vezes menor que o objeto.

A) Que tipo de lente deve ser usada?

B) Determine a que distância o filme deve estar da lente.

C) Encontre a distância focal da lente.

3 - (UECE) Um estudante construiu um microscópio usando um tubo plástico de PVC e duas lentes convergentes L_1 e L_2, cujas distâncias focais medem respectivamente: f_1= 3,0 cm e f_2 = 10 cm. As lentes distam 20 cm uma da outra, como mostra a figura. Uma mosca colocada a 4,0 cm da lente L_1 é observada com este microscópio. Determine a ampliação linear com que o observador verá a imagem da mosca.



4 - Um pesquisador observa um pequeno inseto com uma lupa localizada a 2,0 cm do inseto e observa uma imagem com um aumento linear de 8 vezes. Determine a distância focal da lente.

5 - a) Que tipo de lente deve ser utilizado para a correção da hipermetropia? Justifique

b) Que tipo de lente deve ser utilizado para a correção da miopia? Justifique

c) Que tipo de lente deve ser utilizado para a correção do astigmatismo? Justifique

Bibliografia

Carron, W., Guimarães, O. As faces da Física. Editora Moderna, São Paulo, 2005.

D. Halliday, R.Resnick e J.Walker; Fundamentos de Física; Vol.4; Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro -RJ, 2009.

Sears; Zemansky; Young e R.Fredman; Física IV; Ed. Pearson, Addison Wesley. São Paulo -SP, 2008.

Okuno, E., Caldas, L.C. e Chow, C. Física para Ciências Biológicas e Biomédicas.Harper & Row do Brasil, São Paulo-SP, 1982.

Ramalho Jr. F., Nicolau, G.F. e Toledo, P.A. Os fundamentos da Física-2 Termologia, Óptica e Ondas. Editora Moderna, São Paulo, 2003.

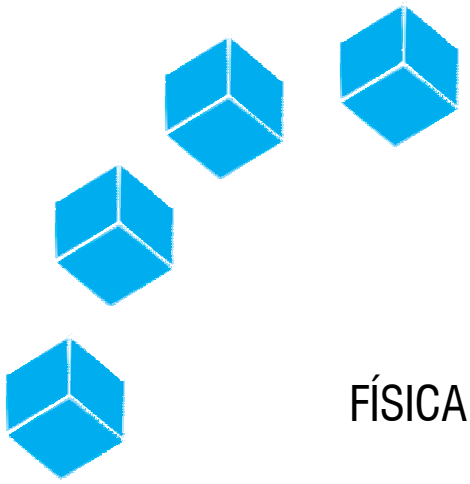
http://educar.sc.usp.br/otica/lente.htm

http://www.unb.br/iq/kleber/EaD/Fisica-4/Aulas/Aula-14/aula-14.html-

http://www.fisica.ufsc.br/~lab2/pdfs/exp09.pdf

http://www.unb.br/iq/kleber/EaD/Fisica-4/Aulas/Aula-14/aula-14.html-

BIOLOGIA



FÍSICA BÁSICA

Unidade 8

ELETRICIDADE

LICENCIATURA

Unidade 8

ELETRICIDADE

8.1 Introdução

No século VI A.C., o grego Thales de Mileto descobriu uma resina fóssil, cujo nome em grego é elektron, que adquiria a propriedade de atrair corpos leves,quando atritada na lã. Este fato ficou praticamente esquecido, até que em 1600, o médico William Gilbert inventou o pêndulo elétrico, o qual tornou possível a observação de uma série de fenômenos que se transformaram na base da eletricidade. Muitos estudos se desenvolveram, até que, no final do século XVIII, o francês C. A. Coulomb, formulou a lei da força elétrica, conhecida como a Lei de Coulomb. Os avanços prosseguiram com o conhecimento do campo elétrico, potencial elétrico e capacitância. Também grandes avanços ocorreram com a eletricidade dinâmica, com a descoberta da corrente elétrica e suas aplicações em circuitos elétricos.

Todos os corpos são formados de átomos. Cada átomo é constituído de partículas elementares: elétrons, prótons e nêutrons. Os prótons e os nêutrons localizam na parte central do átomo e formam o núcleo do átomo enquanto que os elétrons, orbitam ao redor do núcleo, formando uma "nuvem eletrônica".

Devido ao comportamento diferente, verificado nos prótons e elétrons, convencionou-se que existem dois tipos de carga elétrica: positiva, que representa a carga do próton e negativa, que representa a carga do elétron sendo que o nêutron, não possui carga elétrica. Como a carga elétrica do elétron é a menor quantidade de carga existente na natureza, ela foi tomada como sendo a carga padrão na medida de carga elétrica. No sistema Internacional de unidades, a unidade de carga elétrica é o Coulomb (C). A carga elétrica elementar é dada por:

Carga elementar = $1{,}6 \times 10^{-19}$ C

Carga do elétron = $-1{,}6 \times 10^{-19}$ C

Carga do próton = $+1{,}6 \times 10^{-19}$ C

No átomo, o número de prótons é igual ao número de elétrons, onde dizemos que o átomo é **eletricamente neutro**. No núcleo os prótons e nêutrons estão fortemente ligados, entretanto, devido a sua distribuição, os elétrons podem ser mais facilmente arrancados do átomo. Quando isto ocorre, o átomo passa a ter uma falta

de elétrons. A falta ou excesso de elétrons, de um corpo, faz com que o corpo esteja **eletrizado**.

8.2 Princípios da Eletrostática

Experiências comprovam que ao atritarmos dois corpos, o número de cargas cedidas por um corpo é igual ao número de cargas recebidas pelo outro, ou seja num sistema eletricamente isolado, o soma algébricas da cargas elétricas, é constante.

A experiência mostra que ao aproximarmos dois corpos, contendo cargas elétricas de mesmo sinal, ambos sofrerão uma força de **repulsão** e quando os corpos apresentam cargas elétricas de sinais opostos, ambos sofrem uma força de **atração**.

Condutores e Isolantes

Em algumas substâncias, os elétrons, por estarem mais fracamente ligados ao núcleo, se movem mais facilmente do que outras; estas substâncias são chamadas de **condutores**. Estas substâncias, geralmente são metálicas e devido à propriedade de condução, são utilizadas nos fios e condutores de corrente elétrica. Ao contrário dos condutores, os **isolantes ou dielétricos**, são substâncias onde os elétrons não têm liberdade de movimento, pois se encontram fortemente ligados ao núcleo. Como exemplo destas substâncias, têm-se os materiais plásticos, madeira seca e, borracha.

Um corpo eletricamente neutro, que possui o mesmo número de cargas positivas e negativas, pode quebrar este equilíbrio ao ser eletrizado. Quando dois corpos são atritados, pode ocorrer a passagem de elétrons de um corpo para o outro. Neste caso diz-se que houve uma **eletrização por atrito** e os dois corpos ficam carregados com cargas iguais, porém de sinais contrários.

Quando colocamos dois corpos condutores em contato, um eletrizado e o outro neutro, pode ocorrer a passagem de elétrons de um para outro, fazendo com que o corpo neutro se eletrize. Na **eletrização por contato**, os dois corpos ficam eletrizados com cargas de mesmo sinal.

Nos dois processos de eletrização, há o contato entre os corpos, entretanto não é necessário este contato, já que o corpo pode ser eletrizado por uma simples aproximação com outro corpo. Consideramos um condutor inicialmente neutro e um bastão eletrizado negativamente. Quando aproximamos o bastão eletrizado (indutor) do corpo neutro (induzido), as suas cargas negativas repelem os

elétrons livres do corpo neutro para posições as mais distantes possíveis. Desta forma o corpo fica com falta de elétrons numa extremidade e com excesso de elétrons na outra. O fenômeno da separação de cargas num condutor, provocado pela aproximação de um corpo eletrizado, é denominado de **indução eletrostática**. Neste processo, o corpo induzido eletrizará sempre com cargas de sinal contrário ao indutor.

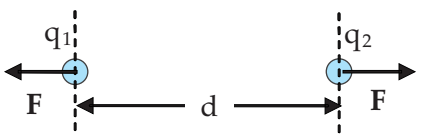
Lei de Coulomb

Como citado anteriormente, quando aproximamos duas cargas elétricas, elas interagem entre si, sofrendo uma repulsão ou atração. A lei de Coulomb fornece a intensidade desta força. Considere duas cargas puntiformes q_1 e q_2, separadas pela distância d. A intensidade da força entre as cargas q_1 e q_2 é dada por:

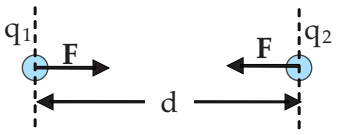
$$F = K \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$$

Onde q_1 e q_2 são os módulos das cargas elétricas, d é a distância entre as cargas e K é a constante eletrostática, e no sistema internacional de unidades, para cargas situadas no vácuo (K_o) vale: $K_o = 9{,}0 \times 10^9\ N.m^2/C^2$.

Esta força é de natureza elétrica, forma um par: ação e reação e, portanto têm a mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos, como mostra a figura.



Mesmo sinal: repulsão



Sinais opostos: atração

Ver simulação em:
http://www.if.ufrgs.br/fis/EMVirtual/cap1/cargas.htm#sub2

8.3 Campo Elétrico

O conceito de campo elétrico pode ser melhor compreendido, fazendo- se uma analogia com o campo gravitacional da Terra. A massa da Terra cria ao seu redor, um campo gravitacional **g**. Um corpo de massa **m** próximo à superfície da Terra sentirá o efeito deste campo e será atraído em direção a Terra; esta força de atração é denominada de força peso. Da mesma forma, uma carga **Q**, gera ao seu redor, um campo elétrico e, portanto uma carga **q** (chama-

da de carga de prova) colocada ao seu redor, sofrerá a ação de uma força elétrica. O campo elétrico é uma característica do espaço ao redor da carga **Q**, independente da presença ou não de uma carga de prova.

Quando movimentamos uma carga de prova q, através de um campo elétrico, aproximando ou se afastando da carga Q, a carga de prova sofrerá intensidades diferentes da força F. Assim, em cada ponto do campo elétrico, definimos um vetor campo elétrico $\vec{E}$ definido por:

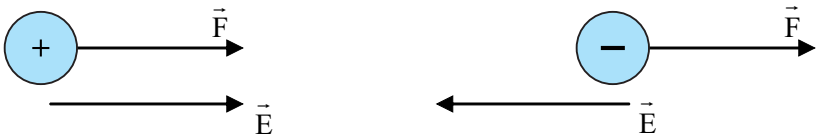
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

onde $\vec{F}$ é a força sobre a carga elétrica e q é a carga de prova . Esta expressão pode ser escrita como:

$\vec{F} = q.\ \vec{E}$, o que significa que:

$q > 0$ a força $\vec{F}$ e o campo elétrico $\vec{E}$, têm o mesmo sentido e

$q < 0$ a força $\vec{F}$ e o campo elétrico $\vec{E}$, têm sentidos opostos.



Campo Elétrico de uma Carga Puntiforme.

Considere uma carga puntiforme Q fixa, originando um campo elétrico E, de tal forma que uma carga de prova q nele colocada, num ponto P a uma distância d, fica sujeita a uma força F, cuja intensidade é dada pela Lei de Coulomb:

$$F = K_o \frac{Q.q}{d^2}$$

A intensidade do campo elétrico é dada por:

$$E = F/q, \text{ logo : } E = Ko \frac{Q}{d^2}$$

Esta expressão fornece a intensidade do campo elétrico E, e é expresso na unidade: (Newton)/(metro): N/m.

A direção do vetor campo elétrico será sempre da reta que une as duas cargas e o sentido dependerá do sinal da carga.

Se numa região tivermos várias cargas Q, cada uma originando um campo elétrico num ponto P, o campo elétrico resultante,

será a soma vetorial do campo elétrico gerado por cada uma das cargas Q.

8.4 Potencial Elétrico

Em algumas situações, fica mais fácil entender os fenômenos elétricos por meio do conceito de energia, já que ela é uma grandeza escalar. Quando colocamos uma carga de prova (q) num campo elétrico, dotamos este sistema (carga de prova + campo elétrico) de energia potencial elétrica, ou seja, a força elétrica poderá realizar trabalho.

Inicialmente, vamos definir o trabalho realizado pela força elétrica sobre uma carga de prova q. Podemos fazer uma analogia com o campo gravitacional terrestre: um corpo de massa m colocado próximo à superfície da Terra sofre a ação do campo gravitacional e ao se afastar ou se aproximar da superfície da Terra, a força gravitacional realizará um trabalho sobre o corpo. O trabalho realizado por uma força $\vec{F}$ para deslocar o corpo de uma distância $\vec{d}$ é dado por:

$$W = \vec{F} . \vec{d}$$

Considere um campo elétrico uniforme de intensidade **E**. Nesse campo, vamos supor que uma carga elétrica puntiforme q positiva sofre um deslocamento do ponto A ao ponto B, ao longo de uma linha de força, como mostra a figura (a):

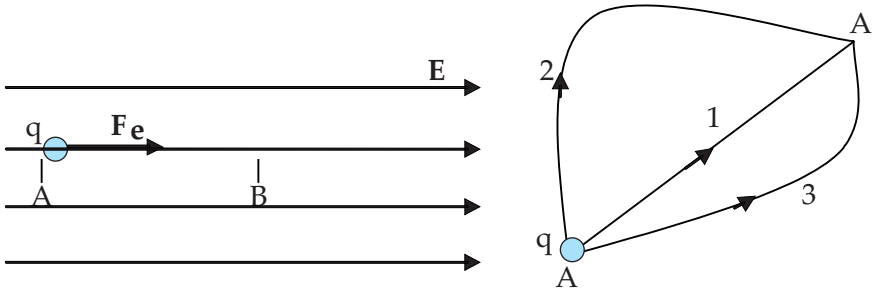


Figura 1 - (a) Carga elétrica num campo Elétrico E, (b) W independe da trajetória.

A força elétrica F = q .E, que atua em q é constante, pois o campo elétrico é uniforme. Seja d o módulo do deslocamento de A para B e F_e= q.E, a intensidade da força elétrica, logo o trabalho realizado por uma força constante e paralela será dado por:

$$\mathbf{W_{AB} = q.E.d}$$

Este trabalho é positivo, pois a força elétrica está a favor do deslocamento. Se q fosse levada de B para A, a força elétrica teria sentido contrário ao deslocamento e o trabalho seria negativo. Como o trabalho depende do deslocamento realizado pela carga, ele independe da trajetória, mas sim dos pontos de partida (A) e chegada (B). Na figura 1(b), o trabalho realizado pela força elétrica é o mesmo nas trajetórias: 1, 2 ou 3.

Verifica-se que se outra carga for deslocada entre os pontos A e B, altera-se o trabalho da força elétrica, porém o quociente W_{AB}/q permanece constante e só depende dos pontos A e B do campo. A grandeza escalar W_{AB}/q, que depende dos pontos A e B do campo, é indicada por: $V_A - V_B$ e recebe o nome de **diferença de potencial elétrico (ddp)** entre os pontos A e B, ou também **diferença de tensão entre os pontos A e B:**

$$\mathbf{V_A - V_B = W_{AB}/q \quad ou \quad U = W_{AB}/q}$$

Onde V_A e V_B são os potenciais elétricos dos pontos A e B.

A unidade de potencial elétrico é definida como:

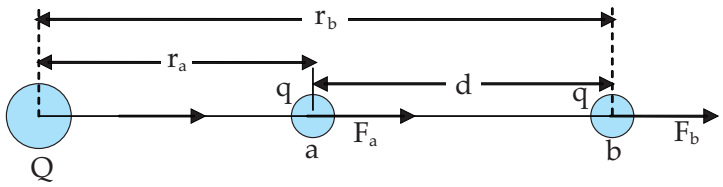
Unidade de ddp= unidade de trabalho/unidade de carga= Joule/Coulomb= 1 Volt= 1V.

Da expressão acima podemos concluir que:

$$\mathbf{W = q\,(V_A - V_B)}$$

A expressão: $V_A - V_B = W_{AB}/q$ permite calcular a diferença de potencial entre dois pontos de um campo elétrico. Para o cálculo do potencial elétrico em um ponto é preciso atribuir um valor arbitrário ao potencial elétrico de um outro ponto. Quando dizemos que a ddp entre dois pontos é 110 V, isto é, $V_A - V_B = 100$ V, estamos atribuindo o valor zero à V_B, porém se adotarmos $V_A = 0$, teremos $V_B = -100$ V, logo: o ponto cujo potencial elétrico é adotado como nulo, constitui o ponto de referência para as medidas de potenciais. Quando adquirimos uma bateria de 12 V, significa que a ddp entre os seus terminais é de 12 V. Os pássaros pousam em um fio de alta tensão (12.000 V) e não sofrem nenhum choque; apesar de estarem sobre um fio de alta tensão, não há uma diferença de potencial e, portanto não há corrente elétrica.

Consideremos o deslocamento retilíneo de uma carga de prova q, colocada inicialmente a uma distância r_a, de uma carga Q, como mostra a figura:



A carga q encontra-se sob a ação de um campo elétrico, originado por uma carga Q, sendo que a força elétrica tem valores diferentes para os pontos a e b. O trabalho realizado pela força elétrica, para deslocar a carga q de uma distância r_a até r_b é dado por:

$$W/q = V_A - V_B = Ko\frac{Q.}{r_A} - Ko\frac{Q}{r_B}$$

De um modo geral associamos a cada ponto P do campo de uma carga elétrica puntiforme Q situado a uma distância r dessa carga um **potencial elétrico V_P**, tal que:

$$V_P = Ko\ \frac{Q.}{r}$$

As células do corpo humano caracterizam-se por apresentar em suas membranas uma diferença de potencial elétrico que é chamado de "polarização elétrica da membrana". Há uma diferença negativa do compartimento intracelular em relação ao compartimento extracelular, ou seja, o interior da membrana apresenta uma carga elétrica negativa em relação ao seu exterior. O valor dessa diferença é conhecido como potencial de repouso da membrana.

Como surge esse potencial elétrico?

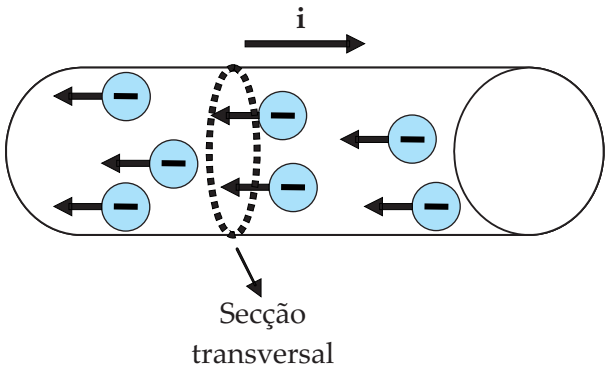
Inicialmente, devemos saber que nas células nervosas excitáveis (os neurônios) existem concentrações diferentes de íons Na+ (sódio), Cl- (cloro) e potássio (K+) nos compartimentos intra e extracelular. Em condições estáveis (de equilíbrio), os íons Cl- e Na+ existem em maior concentração do lado de fora das células do que do lado de dentro. O potássio existe em maior concentração do lado de dentro do que do lado de fora. Além disso, existem ânions (íons negativos) orgânicos em maior concentração do lado de dentro da célula do que do lado de fora.

8.5 Corrente Elétrica

Consideremos um pedaço de um fio de cobre isolado. Nesse metal, os elétrons livres não estão em repouso, mas sim num movimento desordenado, sem uma direção preferencial. Ao aplicarmos uma diferença de potencial em seus extremos (ligando os seus extremos à uma pilha, por exemplo), será estabelecida uma direção preferencial ao movimento dos elétrons, do menor potencial para o maior, originando-se desta forma **uma corrente elétrica**. Portanto podemos definir corrente elétrica, como sendo o movimento ordenado dos portadores de carga, que ocorre em condutores sólido, líquidos ou gasosos.

Num condutor, a corrente elétrica pode ocorrer nos dois sentidos, entretanto pode-se definir um sentido convencional. Numa solução eletrolítica, temos íons positivos movimentando-se num sentido e íons negativos movimentando-se em sentido contrário. O sentido escolhido para a corrente elétrica é o sentido do movimento dos portadores de carga positivos, portanto contrário ao sentido do movimento dos portadores de cargas negativos.

A figura abaixo mostra os portadores de carga, atravessando uma secção transversal de um segmento de um fio metálico.



A corrente elétrica (i) é definida como o fluxo de portadores de cargas que atravessa uma secção por unidade de tempo, ou seja:

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

A corrente é uma grandeza escalar e sua unidade é o ampère (A), que é definido como: coulomb/segundo. Também se utilizam os submúltiplos:

$$1\ mA = 10^{-3}\ A,\ 1\mu A = 10^{-6}\ A.l$$

São considerados dois tipos de corrente elétrica: a contínua (CC) e a alternada (CA).

Na **corrente contínua (CC)** o sentido e intensidade se mantêm constante, como por exemplo, a corrente gerada por uma bateria de automóvel e pilhas. Já na **corrente alternada (CA)** a intensidade e o sentido variam periodicamente com o tempo. È o caso da corrente usada em residências, geradas por hidrelétricas e termelétricas, cuja freqüência é de 60 HZ ou 60 ciclos por segundo.

Efeitos da corrente elétrica

Efeito Fisiológico: O efeito fisiológico corresponde à passagem da corrente elétrica por organismos vivos. A corrente elétrica age diretamente no sistema nervoso, provocando contrações musculares; quando isso ocorre, dizemos que houve um choque elétrico. A

condição básica para se levar um choque é estar sob uma diferença de potencial (ddp), capaz de fazer com que circule uma corrente tal que provoque efeitos no organismo. O pior caso de choque é aquele que de origina quando uma corrente elétrica entra pela mão de uma pessoa e sai pela outra. Nesse caso, atravessando o tórax da ponta a ponta, ela tem grande chance de afetar o coração e a respiração. O valor mínimo de intensidade de corrente que se pode perceber pela sensação de cócegas ou formigamento leve é 1 mA. Entretanto, com uma corrente de intensidade 10 mA, a pessoa já perde o controle dos músculos, sendo difícil abrir a mão e livrar-se do contato (tetanização). O valor mortal está compreendido entre 10 mA e 3 A, aproximadamente. Nesses valores, a corrente, atravessado o tórax, atinge o coração com intensidade suficiente para modificar seu ritmo (fibrilação ventriculada).

Efeito Magnético: O **efeito magnético** se manifesta quando há o aparecimento de um campo magnético na região próxima de onde se aplica a corrente elétrica a um condutor. Este efeito é a base do funcionamento de motores, transformadores, relés, etc...

Efeito Químico: Uma solução eletrolítica sofre decomposição quando é atravessada por uma corrente elétrica; é a eletrólise. Esse efeito é muito utilizado no recobrimento de metais, por exemplo: cromagem e niquelação.

Efeito Térmico, também chamado de **Efeito Joule**, surge dos inúmeros choques dos elétrons de um condutor quando esse é percorrido por uma corrente elétrica. Quando os átomos recebem energia eles passam a vibrar com mais intensidade e quanto maior a vibração maior é a temperatura do condutor, e esse aumento de temperatura é observado com o aquecimento do condutor. Esse efeito é aplicado nos aquecedores em geral como, por exemplo, os chuveiros elétricos secadores de cabelo, ferro elétrico, etc...

Efeito Luminoso: Em determinadas condições, a passagem da corrente elétrica através de um gás rarefeito, faz com que ele emita luz. Isto é aplicado à lâmpadas fluorescentes e anúncios em luminosos.

8.6 Exercícios Propostos

1 - Responda às questões:

a) O que acontecerá a um corpo condutor eletrizado, quando entrar em contato com o solo?

b) Por que não conseguimos eletrizar por atrito um corpo condutor, segurando-o diretamente com as mãos?

c) Por que os caminhões que transportam combustíveis possuem uma corrente metálica que se arrasta pelo chão?

d) Nos dias onde a umidade relativa do ar é muito baixa, é muito comum as pessoas ao se tocarem, levar um pequeno choque. Explique porque isto ocorre.

e) Indique o sinal das cargas para corpos eletrizados por: atrito, contato e indução.

2 - Seja F, a intensidade da força entre duas cargas de mesmo sinal e mesmo módulo (q) separadas por uma distância (d).

a) duplicando-se o valor da carga (q), o que ocorre com a força F?

b) duplicando-se a distância (d) entre as duas cargas, o que ocorre com a força F?

c) trocando-se o sinal de uma das cargas, o que ocorre com a força F?

3 **-** A molécula de hidrogênio possui dois prótons, que distam $1,0 \times 10^{-10}$ m. Determine o módulo da força elétrica que um exerce sobre o outro.

4 - a) Um elétron é abandonado a partir do repouso, num campo elétrico uniforme de módulo igual a $4,0 \times 10^{3}$ N/C. Desprezando o efeito da gravidade, calcule a aceleração do elétron.

b) Quais são o módulo e a direção do campo elétrico que equilibrará o peso de uma partícula alfa, que é formada por 2 prótons e 2 nêutrons?

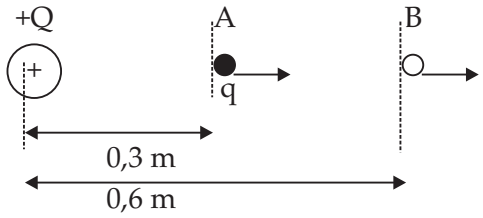
5 - A corrente elétrica que percorre um fio de transmissão de energia elétrica é de 4,0 A. Sabendo-se que a carga elementar do elétron é de $1,6 \times 10^{-19}$ C, determine o número de elétrons, que passa por uma secção reta do fio, durante 1 minuto.

6 - Um homem está perto de uma árvore que é atingida por um raio. Durante um curto intervalo de tempo, acumula-se na base da árvore uma carga de 3,0 μC. a) Se o homem encontra-se a 4 m da árvore, determine o potencial elétrico gerado pela descarga sobre ele.b) A que distância o homem deverá estar da árvore, para que o potencial sobre ele diminua pela metade. Constante eletrostática: $K= 9,0 \times 10^{9}$ V.m/C.

7 - Em algumas regiões do Pantanal, freqüentemente a ave Tuiuiú é eletrocutada e chega à morte.Isto ocorre devido a sua grande envergadura, sendo que as pontas de suas asas atingem simultaneamente dois fios energia elétrica (de alta tensão). Explique por que as aves são eletrocutadas.

8 - No campo elétrico gerado por uma carga Q = 4μC são dados dois pontos, A e B, conforme a figura acima. Determine: a) os po-

tenciais elétricos de A e de B; b) o trabalho da força elétrica que atua sobre uma carga elétrica q = 1μC, no deslocamento de A para B. O meio é o vácuo.



Bibliografia

Bonjorno, J.R., Bonjorno, R.A., Bonjorno, V., Clinton, M.R.; Temas de Física, Vol 3. Editora FTD S.A. São Paulo-SP, 1998.

Carron, W., Guimarães, O. As faces da Física. Editora Moderna São Paulo-SP, 2005.

D. Halliday, R. Resnick e J.Walker; Fundamentos de Física; Vol. 3; Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro - RJ, 2009.

Sears; Zemansky; Young e R.Fredman; Física III; Ed. Pearson, Addison Wesley. São Paulo -SP, 2008.

Okuno, E., Caldas, L.C. e Chow, C. Física para Ciências Biológicas e Biomédicas. Harper & Row do Brasil, São Paulo-SP, 1982.

Ramalho Jr. F., Nicolau, G.F. e Toledo, P.A. Os fundamentos da Física -3 Eletricidade, Física Moderna e Análise Dimensional. Editora Moderna, São Paulo, 2003.

http://educacao.uol.com.br/fisica/ult1700u39.jhtm

http://www.df.ufscar.br/PotencialEletrico.pdf

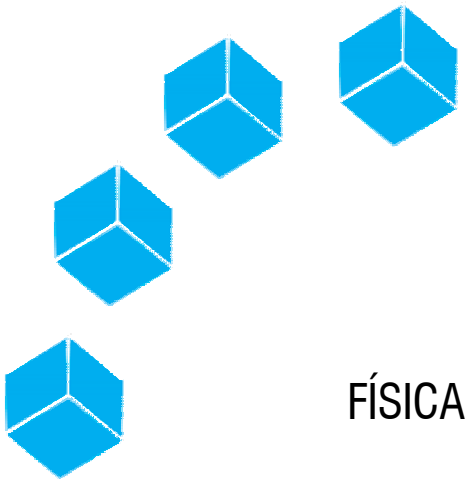
http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/corrente/dif_potencial/

http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico

http://www.if.ufrgs.br/fis/EMVirtual/cap1/cargas.htm#sub2

www.saladefisica.cjb.net

BIOLOGIA



FÍSICA BÁSICA

Unidade 9

ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

LICENCIATURA

Unidade 8

ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

9.1 Introdução

Entre as grandes descobertas científicas do século XIX, está a de que a luz é uma onda eletromagnética, feito realizado pelo físico escocês Maxwell. Utilizando-se dos princípios da eletricidade e do magnetismo, Maxwell apresentou as seguintes hipóteses:

- Um campo magnético variável produz um campo elétrico

- Um campo elétrico variável produz um campo magnético

Com estas duas hipóteses, estabeleceu-se que uma onda eletromagnética é formada por campos elétricos e magnéticos variáveis, que se propagam no espaço.

As ondas eletromagnéticas são ondas transversais, se propagam perpendicularmente aos campos elétricos e magnéticos e, portanto podem ser polarizadas. Maxwell demonstrou que as ondas eletromagnéticas se propagam com a velocidade da luz no vácuo, $c = 3{,}0 \times 10^8$ m/s e mais tarde verificou-se que a luz é uma onda eletromagnética.

9.2 Espectro Eletromagnético

O termo espectro eletromagnético, compreende uma faixa muito grande de comprimentos de ondas e freqüências das ondas eletromagnéticas; ele pode variar de baixas freqüências (100 Hz) até freqüências muito altas (10^{20} Hz). A velocidade de uma onda é dada por: $V = \lambda.f$ e para as ondas eletromagnéticas tem-se:

$$C = \lambda.f$$

o que significa que quanto maior a freqüência da onda, menor será comprimento de onda e maior será sua energia, como veremos a seguir.

È sabido que a maior parte da energia radiante do sol está concentrada na região do visível. Esta região corresponde a aproximadamente 44% do total da luz emitida pelo Sol, sendo que 48% encontra-se na região do infravermelho e 7% no ultravioleta. Menos de 1% da radiação solar é emitida ma forma de raios gama, raios-X e ondas de rádio.

A figura abaixo mostra o espectro eletromagnético, com as variações de comprimento de onda, freqüências e os vários tipos de energia.

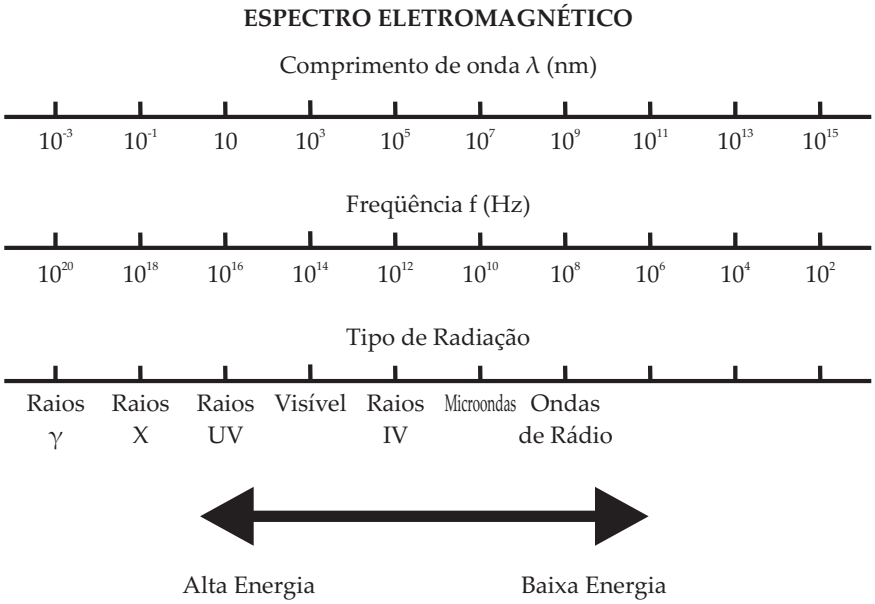


Figura 1 - Espectro Eletromagnético

O espectro eletromagnético pode ser muito bem visualizado, pelo vídeo:

http://videoseducacionais.cptec.inpe.br/swf/natureza_radiacao/1_2/

9.3 Ondas de Rádio e Microondas

As ondas de rádio, com freqüência entre 10^4 Hz e 10^8 Hz, que incluem as ondas: AM, FM, TV e ondas curtas, são muito bem refletido pela ionosfera, que é uma camada ionizada da atmosfera, e responsável pela propagação destas ondas. Esta camada é que permite com que estas ondas possam ser captadas a grandes distâncias de sua fonte.

As ondas de rádio e as demais ondas eletromagnéticas se propagam muito mais rápido e tem alcance maior do que as ondas sonoras. Quando estamos ouvindo um programa de rádio, o aparelho detecta as ondas eletromagnéticas transmitidas pela emissora e as converte em ondas sonoras. A emissão de ondas de rádio com freqüências de mais ao menos 10^8 Hz e comprimento de onda de aproximadamente 1,0 m, corresponde às ondas de TV. Estas ondas podem ser transmitidas entre continentes, utilizando-se satélites artificiais.

As microondas, de comprimento de onda entre 1 m e 10^{-3} m e freqüência de 10^{9} a 10^{11} Hz, são usadas também em TV, telefonia, forno de microondas e radares para detectar aviões e navios. No forno de microondas, as ondas interagem com as moléculas de água, presente nos alimentos, fazendo-as vibrar e produzindo um aumento de temperatura. Os recipientes que contém os alimentos são poucos afetados por esta radiação e, portanto são pouco aquecidos.

9.4 Radiação Infravermelha, Visível e Ultravioleta

Pode-se dizer que o Sol emite energia em, praticamente, todos os comprimentos de onda do espectro eletromagnético permeados pelas diversas linhas de absorção, sendo que 44% de toda essa energia emitida se concentra entre 400 e 700 nm, denominado espectro **visível** de energia. O restante é dividido entre **radiação ultravioleta** (< 400nm) com 7%, **infravermelho próximo** (entre 700 e 1500nm) com 37% e **infravermelho** (> 1500nm) com 11%. Menos de 1% da radiação emitida concentra-se acima da região do infravermelho, como microondas e ondas de rádio, e abaixo da região ultravioleta, como raios X e raios gama. A radiação infravermelha tem freqüência intermediária entre a da microonda e a da luz visível, entre 10^{12} e 10^{14} Hz. É emitida pela radiação solar e tem grande participação no balanço climático terrestre, participando efetivamente do Efeito Estufa e no corpo humano produz o aquecimento da pele podendo causar queimadura.

A radiação ultravioleta (UV) situa-se entre a radiação visível e os raios –X, com freqüência variando entre 10^{15} e 10^{17} Hz. Grande parte da radiação UV que se origina do sol é absorvida pela camada de ozônio, que se situa a aproximadamente 35 km de altura. A porção de radiação que atinge a Terra é essencial para o desenvolvimento de plantas e animais, entretanto a exposição a esta radiação em determinados horários do dia pode causar sérios problemas a pele, inclusive o câncer de pele. De acordo com o comprimento de onda a radiação UV pode ser dividida em: UV-A, UV-B e UV-C.

UV-A É importante para sintetizar a vitamina D no organismo. Porém o excesso de exposição pode causar queimaduras e, em longo prazo, causa o envelhecimento precoce.

UV-B Fortemente absorvida pelo O_3 estratosférico. É prejudicial à saúde humana, podendo causar queimaduras e, em longo prazo, câncer de pele. Sofre pouca absorção pelo O_3 estratosférico.

UV-C Completamente absorvida pelo O_2 e O_3 estratosférico e, portanto, não atinge a superfície terrestre. É utilizada na esterilização de água e materiais cirúrgicos.

Para se estimar a radiação ultravioleta que atinge a superfície terrestre, criou-se um índice de radiação ultravioleta.O Índice Ultravioleta (IUV) é uma medida da intensidade da radiação UV, relevante aos efeitos sobre a pele humana, incidente sobre a superfície da Terra.O IUV representa o valor máximo diário da radiação ultravioleta, isto é, no período referente ao meio-dia solar, o horário de máxima intensidade de radiação solar. Como a cobertura de nuvens é algo muito dinâmico e variável, o IUV é sempre apresentado para uma condição de céu claro, ou seja, na ausência de nuvens que, na maioria dos casos, representa a máxima intensidade de radiação.

O IUV é apresentado como um número inteiro. De acordo com recomendações da Organização Mundial da Saúde, esses valores são agrupados em categorias de intensidades, conforme mostra a tabela abaixo:

CATEGORIA	ÍNDICE ULTRAVIOLETA
BAIXO	< 2
MODERADO	3 a 5
ALTO	6 a 7
MUITO ALTO	8 a 10
EXTREMO	> 11

Este índice depende de vários parâmetros tais como: concentração de ozônio, posição geográfica da localidade, altitude da superfície, hora do dia, estação do ano e cobertura de nuvens. O fluxo de radiação UV diminui com o aumento da distância ao Equador. Ou seja, regiões mais próximas à linha do Equador recebem maior quantidade de energia solar. Quanto mais alta é a localidade, menor é o conteúdo de ozônio integrado na coluna atmosférica e, conseqüentemente, maior a quantidade de energia ultravioleta incidente na superfície. Cerca de 20 a 30% da quantidade de energia UV no verão chega a Terra em torno do meio-dia (entre 11h e 13h), e cerca de 70 a 80% entre as 9h e 15h. A presença de nuvens e aerossóis (partículas em suspensão na atmosfera) atenuam a quantidade de radiação UV que atinge a superfície, porém, parte dessa radiação que não é absorvida ou refletida por esses elementos e atinge a superfície terrestre. Deste modo, dias nublados também podem oferecer perigo, principalmente para as pessoas de pele sensível. A areia pode refletir até 30% da radiação ultravioleta que incide numa superfície, enquanto na neve fresca essa reflexão pode chegar a mais de 80%. Superfícies urbanas apresentam reflexão média entre 3 a 5%.. Este fenômeno aumenta a quantidade de energia UV disponível em um alvo localizado sobre este tipo de solo, aumentando os riscos em regiões turísticas como praias e pistas de

esqui. Com base neste índices, que são fornecidos diariamente pelo CPTEC (www.cptec.inpe.br) você pode consultar a tabela para identificar o seu fototipo de pele e portanto saber qual o filtro protetor adequado para o seu uso.

A luz visível, com freqüência entre 4,0 x 10^{14} e 7,5 x 10^{14} Hz, situa-se numa pequena faixa do espectro eletromagnético e consegue sensibilizar a retina do olho, provocando a sensação de visão. O maior comprimento de onda da luz visível, cerca de 750 nm, que corresponde a uma freqüência de 4,0 x 10^{14} Hz, é o da cor vermelho. À medida que o comprimento de onda diminui a cor muda para alaranjado, amarelo, verde, azul, anil até atingir o violeta, que possui o menor comprimento de onda: cerca de 400 nm, correspondendo a uma freqüência de 7,5 x 10^{14} Hz.

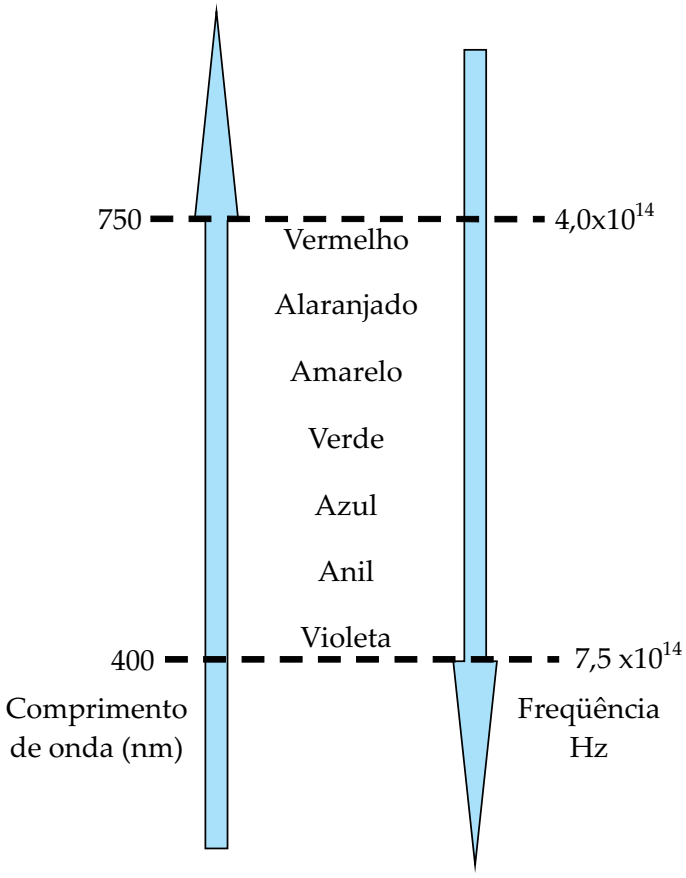


Figura 2 - Espectro da luz visível.

9.5 Raios X e Raios Y

Os raios X, com comprimentos de onda entre 0,1 e 100 nm, menores do que a radiação UV, e, portanto mais energéticos, originam-se da desaceleração brusca de elétrons, ao se aproximarem de um alvo; esta desaceleração produz uma radiação, a que W. Roentgen (1895), denominou de raio X. Essa radiação tem a capacidade de sensibilizar chapas fotográficas e atravessar corpos opacos à luz.

O poder de penetração dos raios X é maior para comprimento de ondas menores, mas depende também do material em que ele incide. Os raios X são bastante absorvidos pelos ossos humanos, que contém cálcio, mas atravessam tecidos moles.

Os raios X devem ser utilizados com grande cautela. Os operadores de aparelhos de raios X utilizam equipamentos de proteção, como, por exemplo, aventais de chumbo e biombos e paredes revestidas de bário. Os aparelhos de raios-X também podem ser usados no tratamento de algumas doenças, como o câncer de pele.

As radiografias são poucos eficientes na visualização de determinadas estruturas quando há superposição de órgãos. È através da tomografia computadorizada (TC) que se pode obter uma imagem de qualquer parte do corpo. A TC utiliza um aparelho de raios X que gira a sua volta, fazendo radiografias transversais de seu corpo. Estas radiografias são então convertidas por um computador nos chamados cortes tomográficos. Isto quer dizer que a TC constrói imagens internas das estruturas do corpo e dos órgãos através de cortes transversais, de uma série de seções fatiadas que são posteriormente montadas pelo computador para formar um quadro completo. Portanto, com a TC o interior de seu corpo pode ser retratado com precisão e confiança para ser depois examinado. Ao contrário da maioria dos exames de raios X, a TC pode detectar até as menores alterações, em tecidos, por exemplo, precocemente. Isto naturalmente simplifica o tratamento e melhora as chances de recuperação. Além do mais, a TC torna possível retratar as partes do corpo em três dimensões e deste modo certas áreas que estão superpostas podem ser examinadas.

Raios γ

É um dos tipos de radiação que emitem os núcleos dos átomos dos elementos radioativos naturais e artificiais; é uma radiação eletromagnética com um comprimento de onda extraordinariamente curto, menor que 0,1 nm e por isso possuem uma extraordinária capacidade de penetração. Os raios gama surgem na desaceleração das partículas carregadas, na fusão espontânea ou artificial dos núcleos dos átomos de urânio e plutônio e em algumas outras reações nucleares.

Devido ao perigo que oferecem os raios gama para as pessoas e os organismos vivos, os reatores atômicos devem estar protegidos de muros com grossas paredes de chumbo bem como, as substâncias radioativas devem ser acondicionadas em recipientes adequados e seguros. Os raios gama das fontes radioativas naturais e artificiais e os que surgem nas reações nucleares artificiais têm ampla aplicação na ciência e na indústria. Com eles é possível destruir tumores cancerosos, através da radioterapia, radiografar enormes

lingotes de metal e peças acabadas para encontrar defeitos ocultos. Também é utilizado para se conservar e esterilizar produtos alimentícios e medicamentosos.

9.6 Teoria dos Quanta

Max Planck, em 1901 e Albert Einstein, em 1905, iniciaram a formulação da teoria dos quanta. Segundo esta teoria, a radiação eletromagnética é emitida e se propaga descontinuamente, em pequenos pulsos de energia, chamados de pacotes de energia, quanta ou fótons. Assim, a onda eletromagnética apresenta também um caráter corpuscular. **Fótons são partículas sem carga a tem massa de repouso nula**.

Em determinados fenômenos, a luz apresenta natureza de corpuscular e em outras, natureza ondulatória. A teoria da natureza ondulatória da luz, apesar de não explicar o efeito fotoelétrico, permite justificar, por exemplo, os fenômenos de interferência e difração da luz. Para conciliar tais fatos, apresentaram-se a natureza dual da luz, isto é, em determinados fenômenos a luz se comporta como onda e em outros como partícula. O mesmo raio de luz pode difratar ao redor de um obstáculo e a seguir incidir na superfície de um metal, provocando a emissão de fotoelétrons.

Planck descobriu que todos os fótons associados a uma freqüência particular f de luz, possuem a mesma energia E, que é diretamente proporcional à freqüência f, ou seja:

$$\mathbf{E = h.f,}$$

Onde h é a constante de Planck e vele: $6{,}63 \times 10^{-34}$ j.s.

Da expressão da energia podemos ver que quanto maior a freqüência de uma onda, maior será a energia.

Esta energia também pode ser calculada em função do comprimento de onda, desde que a freqüência f e o comprimento de λ se relacionam por: $c = \lambda.f$, logo:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

O fóton é a menor quantidade de luz que pode ser emitida ou absorvida em qualquer processo. Em particular, o fóton é a menor unidade de luz que pode ser absorvida por uma célula fotossensível da retina do olho.

Exemplo: Determine a energia de um fóton emitido por um tubo de raios-X, sabendo-se que sua freqüência é de 36×10^{18} Hz.

Usando-se a relação: E = h.f, tem-se: $E = 6{,}63 \times 10^{-34} \times 36 \times 10^{18} = 2{,}38 \times 10^{-14}$ J

A título de comparação, vamos calcular algumas energias:

1 - energia cinética de uma pessoa de massa 70 kg, movendo-se a 36 km/h:

$$V = 36 \text{ km/h} = 10 \text{ m/s}, \qquad Ec = \frac{1}{2} mV^2 = \frac{1}{2} 70.(10)^2 = 3.500J$$

2 - energia cinética de um caminhão de massa 30.000 kg, movendo-se a 108 km/h:

$$V = 108 \text{ km/h} = 30 \text{ m/s}, \qquad Ec = \frac{1}{2} mV^2 = \frac{1}{2} 30.000(30)^2 = 1{,}35 \times 10^7 \text{ J}$$

Como visto nos exemplos acima, a energia do fóton é muito pequena quando comparada com energias que ocorrem em nosso cotidiano.

9.7 Interação da Radiação com a Matéria

As radiações eletromagnéticas, tanto na forma de onda como na forma corpuscular podem interagir com a matéria produzindo ionizações e excitações atômicas e moleculares. As radiações que possuem energia suficiente para arrancar o elétron, preso ao núcleo, e transferir-lhe energia cinética, são chamadas de radiações ionizantes.

A radiação eletromagnética na forma de partículas (radiação corpuscular) é constituída de um feixe energético de partículas como, por exemplo: elétrons, prótons, nêutrons, partícula α, partícula β, etc.... Algumas destas partículas são emitidas espontaneamente por núcleos atômicos em busca de uma maior estabilidade energética. Este fenômeno é chamado de decaimento nuclear ou simplesmente, desintegração e como conseqüência estas partículas se transformam em outras partículas.

Efeito Fotoelétrico

Quando uma radiação eletromagnética incide sobre a superfície de um metal, elétrons podem ser arrancados desta superfície. Este fenômeno, descoberto H. Hertz, em 1887, é denominado de Efeito Fotoelétrico e os elétrons arrancados são chamados de fotoelétrons. Os conceitos da Física Clássica não foram suficientes para a explicação do fenômeno, mas em 1905, Einstein desenvolveu uma teoria, levando em conta a quantização da energia. Ele propôs que, no efeito fotoelétrico, um fóton da radiação incidente, ao atingir o

metal, é completamente absorvido por um único elétron, cedendo-lhe sua energia: E = hf. Essa interação ocorre instantaneamente, de modo semelhante a uma colisão de duas partículas, de tal forma que o elétron da placa fica com uma energia adicional hf. A teoria de Einstein sugere que a energia radiante ou a luz, que atinge o metal é composta por partículas, ou seja, por fótons e que este podem ser absorvido pelo metal apenas um de cada vez, não existindo frações de um fóton. Tais explicações estão em total concordância com as hipóteses de Planck, sendo que com isto, Einstein explicou corretamente que a energia que o elétron absorve deve aumentar com a freqüência e não com a intensidade da radiação incidente, fato que a Física Clássica não conseguia explicar.

Cada elétron ligado a um metal interage com o núcleo através de uma força atrativa. Desta forma o elétron precisa receber uma quantidade mínima de energia para poder ser retirado; caso a energia do fóton incidente seja inferior a esta energia, o elétron não será retirado do metal e o efeito fotoelétrico não ocorrerá. Mas se a energia do fóton for superior a energia mínima requerida, o elétron será arrancado do metal. A energia mínima requerida para arrancar o elétron do metal, chama-se de Função Trabalho (ϕ) e depende do tipo de metal utilizado. Se a energia do fóton incidente hf, superar a função trabalho (ϕ) do metal a diferença entre elas será transferida ao elétron, na forma de energia cinética (E_c), ou seja:

$$E_c = hf - \phi$$

Existem muitas aplicações do efeito fotoelétrico, pois os elétrons extraídos metal podem forma uma corrente elétrica e, portanto alimentar circuitos elétricos. É o que ocorre em células fotoelétricas ou fotovoltaicas, que são dispositivos capazes de transformar a energia luminosa, proveniente do Sol ou de outra fonte de luz em energia elétrica. Uma célula fotoelétrica pode funcionar como geradora de energia elétrica a partir da luz, ou como um sensor capaz de medir a intensidade luminosa.

Células geradoras de energia são chamadas também de “células solares”, por se aproveitarem principalmente da luz solar para gerar energia elétrica. Por não gerar nenhum tipo de resíduo a célula solar é considerada uma forma de produção de energia limpa, sendo alvo de estudos em diversos institutos de pesquisa ao redor do mundo.

9.8 Exercícios Propostos

1 - Pesquise as seguintes freqüências: telefonia celular, rádio FM, rádio AM, forno de microondas e determine a energia de cada onda eletromagnética.

2 - O espectro de luz visível, encontra-se na faixa de: 400 a 700 nm (10^{-9} m). Indique para cada cor do espectro visível, o seu comprimento de onda e sua energia.

3 - Quais os efeitos da radiação ultravioleta no organismo humano?

4 - Explique com suas palavras, como ocorre o efeito fotoelétrico e a sua importância na teoria da luz.

5 - Defina: energia ionizante e cite 3 radiações eletromagnéticas ionizantes.

6 - Quais os efeitos da radiação infravermelho no clima e no organismo humano?

7 - A luz apresenta um comportamento dual: ora se comporta como uma onda, ora se comporta como uma partícula. Cite 2 experimentos ou fenômenos para cada tipo de comportamento da luz.

Bibliografia

D. Halliday, R.Resnick e J.Walker; Fundamentos de Física; Vol.4; Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro -RJ, 2009.

Sears; Zemansky; Young e R.Fredman; Física IV; Ed. Pearson, Addison Wesley. São Paulo -SP, 2008.

Okuno, E., Caldas, L.C. e Chow, C. Física para Ciências Biológicas e Biomédicas.Harper & Row do Brasil, São Paulo-SP, 1982.

http://www.ecientificocultural.com/ECC2/artigos/polar03.htm

http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/ondas/ondas_eletromagneticas/

http://videoseducacionais.cptec.inpe.br/swf/natureza_radiacao/1_2/

http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia2000/turmaA/grupo6/espectro_eletro.htm

http://www.fisica.ufs.br/CorpoDocente/egsantana/cuantica/negro/espectro/espectro.htm

www.ufsm.br/gef/

FÍSICA BÁSICA
Coordenação e registro: Editora UFMS
Projeto gráfico: Lennon Godoi
Editoração eletrônica: Marcelo Brown
Fotolitos: Cromoarte - Editora e Publicidade Ltda