Cinemática

Conceitos Básicos

$$\mathbf{v}_{\text{média}} = \frac{\Delta S}{\Delta t} \text{ (m/s)}$$

- Progressivo: Quando o sentido do movimento coincidir com a orientação da trajetória; nesse caso temos $v > 0$ e $\Delta s > 0$.
- Retrógrado: Quando o sentido do movimento for contrário à orientação da trajetória; nesse caso teremos $v < 0$ e $\Delta s < 0$.

$$a = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} \text{ (m/s}^2\text{)}$$

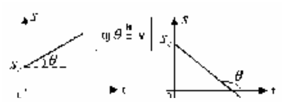
- Acelerado: Quando o módulo da velocidade aumenta no decorrer do tempo; nesse caso v e a tem o mesmo sinal.
- Retardado: Quando o módulo da velocidade diminui no decorrer do tempo; nesse caso v e a tem sinais contrários.

$$Km/h \underset{\times 3{,}6}{\overset{\div 3{,}6}{\rightleftarrows}} m/s$$

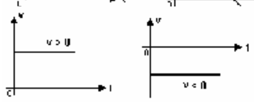
M.U.

$S = S_0 + \mathbf{v} \cdot t$

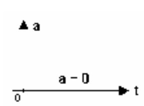
$\vec{v}$ = constante



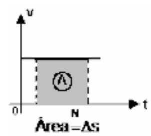
$$\mathbf{v}_{\substack{média \\ espaços \\ iguais}} = \frac{2 \cdot \mathbf{v}_1 \cdot \mathbf{v}_2}{\mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2}$$



$$\mathbf{v}_{\substack{média \\ tempos \\ iguais}} = \frac{\mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2}{2}$$

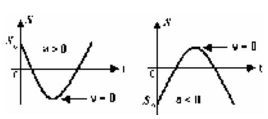


Área "acima" do eixo dos tempos $\rightarrow$ +
Área "abaixo" do eixo dos tempos $\rightarrow$ –



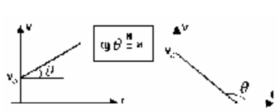
M.U.V.

$$S = S_0 + \mathbf{v}_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

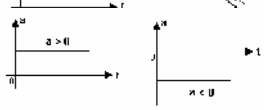


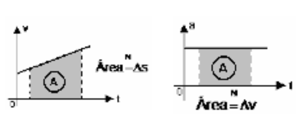
$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_0 + a \cdot t$$

$$\mathbf{v}^2 = \mathbf{v}_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta S$$



$$\mathbf{v}_{média} = \frac{\mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2}{2}$$





Área "acima" do eixo dos tempos $\rightarrow$ +
Área "abaixo" do eixo dos tempos $\rightarrow$ –
$\vec{a}$ = constante

Queda Livre

Sendo S = altura e v = 0 na altura máxima

Trajetória para "cima" $\rightarrow \vec{a} = -\vec{g}$
Trajetória para "baixo" $\rightarrow \vec{a} = +\vec{g}$

$$S = S_0 + \mathbf{v}_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

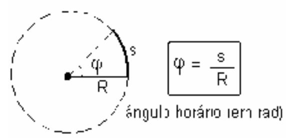
$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_0 + g \cdot t$$

$$\mathbf{v}^2 = \mathbf{v}_0^2 + 2 \cdot g \cdot \Delta S$$

Onde:
Num movimento de subida e descida de um corpo;
O tempo de subida é igual ao tempo de descida;
Pontos de iguais alturas, possuem a mesma velocidade em módulo;
A velocidade é nula no ponto mais alto da trajetória.

M.C.U.

- Espaço Angular e Velocidade Angular



$$\omega_m = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{\varphi - \varphi_0}{t - t_0}$$

- Relação entre velocidade linear e velocidade angular

$\mathbf{v} = \omega \cdot R$ (v $\rightarrow$ m/s) ($\omega \rightarrow$ rad/s)

- Freqüência

$$f = \frac{n^o\ \mathbf{v}oltas}{\Delta t} \text{ (Hz)}$$

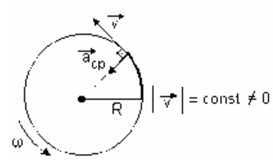
(Uma volta completa)

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

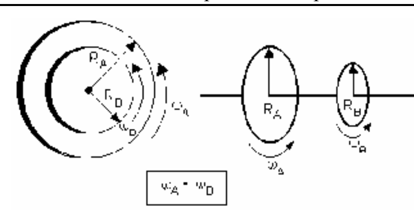
$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ ou } \omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

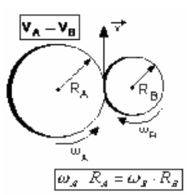
- Aceleração Centrípeta

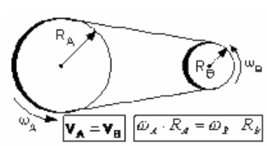
$$a_{cp} = \frac{\mathbf{v}^2}{R} \text{ ou } a_{cp} = \omega^2 \cdot R$$



Acoplamento de polias:



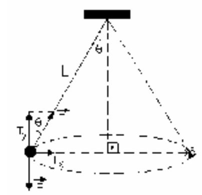




M.H.S.

Pêndulo Simples

- Componentes da tração



$T_X = T \cdot \text{sen}\theta = F_{cp}$

$T_Y = T \cdot \cos\theta = P$

- Período

$T = 2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g}}$

Sistema massa-mola

- Período

$T = 2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$

Dinâmica

Leis de Newton

1ª Lei de Newton (Princípio da Inércia) Um ponto material livre de ação de forças, ou está em repouso ou realiza um movimento retilíneo uniforme.

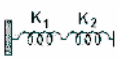
2ª Lei de Newton (Princípio fundamental da dinâmica)

$\vec{F}_{resultante} = m \cdot \vec{a}$ (kg · m/s^2 = N)

3ª Lei de Newton (Princípio da ação e reação) Toda ação provoca uma reação de mesma intensidade, mesma direção e sentido oposto.

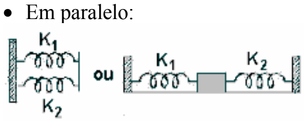
Associação de molas:

- Em série:



$\dfrac{1}{K_S} = \dfrac{1}{K_1} + \dfrac{1}{K_2}$

- Em paralelo:



$K_P = K_1 + K_2$

Aplicações das Leis de Newton

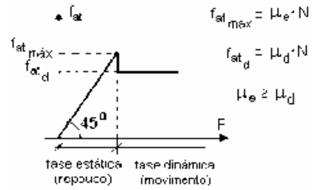
- Peso

$\vec{P} = m \cdot \vec{g}$

- Lei de Hooke

$\vec{F}_{elástica} = K \cdot \vec{x}$

- Força de atrito $f_{atrito} = \mu \cdot N$



- Plano Inclinado:

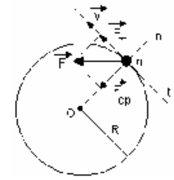
$N = P \cdot \cos\theta$ e $P_x = P \cdot \text{sen}\theta$

- Força Centrípeta

$F_{CP} = \dfrac{m \cdot \mathbf{v}^2}{R}$

$F_{CP} = m \cdot \omega^2 \cdot R$

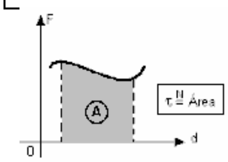
$F = \sqrt{F_{CP}^{\ 2} + F_T^{\ 2}}$



- Força do Ar $F_{ar} = -b \cdot \mathbf{v}^n$

Onde "b" é uma constante aerodinâmica e "n" é um número inteiro. Para a maioria dos casos usaremos n = 2.

Trabalho



$\vec{\tau} = \vec{F} \cdot \vec{d}$ (N·m → J)

$\tau = F \cdot d \cdot \cos\theta$

$\tau_P < 0$ (se o corpo estiver subindo)

$\tau_P > 0$ (se o corpo estiver descendo)

$\tau_{F_{elástica}} = \dfrac{k \cdot x^2}{2}$

Potência

$P = \dfrac{\tau}{\Delta t}$ (J/s→W) ou $P = F \cdot \mathbf{v}$

Cavalo-vapor: 1cv = 735,5 W

Horse-power: 1HP = 746 W

$P_{Total} = P_{útil} + P_{dissipada}$

- Rendimento: $\eta = \dfrac{P_{útil}}{P_{total}}$

Energia

$E_{cinética} = \dfrac{m \cdot \mathbf{v}^2}{2}$

- Teorema da energia cinética=TEC

$\tau_{\vec{F}_{Resultante}} = \Delta E_c$

$E_{P_{gravitacional}} = m \cdot g \cdot h$

O nível de referência (N.R.) pode ser escolhido em qualquer altura.

$E_{P_{elástica}} = \dfrac{k \cdot x^2}{2}$

- Teorema da energia gravitacional

$\tau_{\vec{F}_{Resultante}} = -\Delta E_P$

$E_M = E_C + E_P$

- Teorema da energia mecânica

$$E_{M_{inicial}} = E_{M_{final}}$$

- Teorema da Variação da energia mecânica

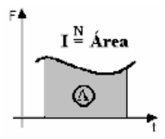
$$\tau_{\vec{F}_{dissipativas}} = -\Delta E_M$$

O trabalho realizado pelas forças dissipativas é sempre negativo, pois estas forças sempre se opõem ao movimento.

Impulso e Quantidade de Movimento

$\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$ (N.s)

$\vec{Q} = m \cdot \vec{v}$ (Kg.m/s)



- Teorema do Impulso – Quantidade de Movimento (T.I.Q.)

$\vec{I} = \Delta\vec{Q}$

- Princípio da conservação da quantidade de movimento: Num sistema isolado de forças externas, a quantidade de movimento permanece constante ($\Delta\vec{Q} = 0$)

$$\vec{Q}_{antes} = \vec{Q}_{depois} \qquad E_C = \frac{Q^2}{2 \cdot m}$$

- Choques – Colisões – Impactos

$$e = \frac{|v'_B - v'_A|}{|v_B - v_A|} = -\left(\frac{v'_B - v'_A}{v_B - v_A}\right) = \frac{|v_{AFAST.}|}{|v_{APROX.}|}$$

Classificação dos choques:

-Choque totalmente elástico:

$$e = 1 \qquad E_{C_{antes}} = E_{C_{depois}}$$

-Choque parcialmente elástico:

$$0 < e < 1 \qquad E_{C_{antes}} > E_{C_{depois}}$$

-Choque inelástico, plástico ou anelástico:

$$e = 0 \qquad E_{C_{antes}} > E_{C_{depois}}$$

Em todos os tipos de choque, sempre será observado a conservação da quantidade de movimento ($Q_{antes} = Q_{depois}$).

Gravitação

1ª lei de Kepler (Lei das órbitas): Cada planeta descreve uma órbita elíptica em torno do Sol, da qual o Sol ocupa um dos focos.

2ª lei de Kepler (Lei das Áreas): O raio-vetor (segmento de reta imaginário que liga o Sol ao planeta) "varre" áreas iguais, em intervalos de tempo iguais.

$$\frac{A_1}{\Delta t_1} = \frac{A_2}{\Delta t_2}$$

3ª lei de Kepler (Lei dos períodos): Os quadrados dos períodos de translação dos planetas em torno do Sol são proporcionais aos cubos dos raios médios de suas órbitas.

$T^2 = K \cdot R^3$ (R= raio médio)

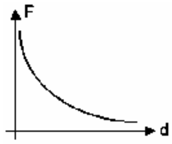
Onde K é uma constante que depende unicamente da massa do corpo central

$$K = \frac{4 \cdot \pi^2}{G \cdot M_{corpo\ central}}$$

$R = \frac{a+b}{2}$ onde a = distância do periélio e b = distância do afélio

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^3$$

- Força Gravitacional

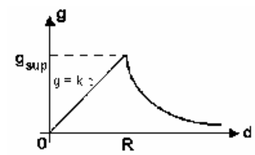


$$F_{gravitacional} = G\frac{M \cdot m}{d^2}$$

$G = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$ (constante universal)

- Gravidade

$$g = G\frac{M}{d^2}$$



Na superfície $d = R$ (raio do corpo maior)

No exterior $d = R+h$

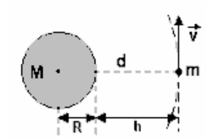
No interior $g_{int} = \left(\frac{G \cdot M}{R^3}\right) \cdot d$

onde no centro $g = 0$

Sendo d a distancia do ponto interior no planeta ao centro.

- Velocidade Orbital

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{d}}$$



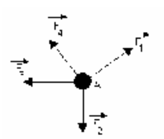
- Energias no Campo Gravitacional

$$E_C = \frac{G \cdot M \cdot m}{2 \cdot d}$$

$$E_P = -\frac{G \cdot M \cdot m}{d}$$

Estática (Equilíbrio)

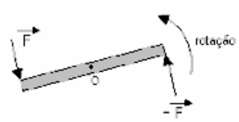
Um ponto material sujeito ao sistema de forças $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \ldots, \vec{F}_n$



Se esse ponto material estiver em equilíbrio, então:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 = \vec{0}$$

- Equilíbrio de um Corpo Extenso:



Quando um corpo não executa movimento de translação, a força resultante que atua nele é zero.

- Momento da força $\vec{F}$, ou torque da força $\vec{F}$, em relação ao ponto O, através do produto:

$$M_O = \pm F \cdot d; \qquad M_O = \pm F \cdot r \cdot \text{sen}\,\theta$$

- Condições de Equilíbrio de um Corpo Extenso (Rígido):

1ª condição: A resultante das forças que atuam sobre o corpo deve ser nula.

$$\sum \vec{F}_{externas} = \vec{0} \rightarrow \begin{cases} \sum F_X = 0 \\ \sum F_Y = 0 \end{cases}$$

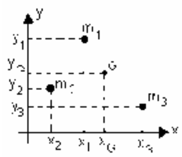
2ª condição: A soma algébrica dos momentos em relação a um ponto qualquer é nula. Matematicamente temos:

$$\sum \vec{M} = \vec{0}$$

- Equilíbrio Dinâmico: A força resultante e o momento resultante são nulos, mas o corpo pode está se movimentando com $v = \text{const.}$ e/ou $\omega = \text{const.}$.

COLÉGIO LUCIANO FEIJÃO
Av. Dom José Tupinambá da Frota, 325 Centro - Sobral - CE Cep: 60.050-070
CNPJ: 09.533.217/0001-31 Fona/Fax: (88) 3611.5544
SITE: www.lucianofeijao.com.br

- Equilíbrio Estático: A força resultante e o momento resultante são nulos, e o corpo está com $v = 0$ e $\omega = 0$.
- Centro de Massa



$$x_G = \frac{m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3}{m_1 + m_2 + m_3}$$

$$y_G = \frac{m_1y_1 + m_2y_2 + m_3y_3}{m_1 + m_2 + m_3}$$

- Áreas:

$$x_G = \frac{A_1x_1 + A_2x_2 + A_3x_3}{A_1 + A_2 + A_3} \qquad y_G = \frac{A_1y_1 + A_2y_2 + A_3y_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

- Pesos:

$$x_G = \frac{P_1x_1 + P_2x_2 + P_3x_3}{P_1 + P_2 + P_3} \qquad y_G = \frac{P_1y_1 + P_2y_2 + P_3y_3}{P_1 + P_2 + P_3}$$

Equilíbrio dos Fluidos (Hidrostática)

- Densidade Absoluta ou massa específica

$d = \frac{m}{V}$ (kg/m^3)

1 g/cm^3 = 1g/ml   1 g/cm^3 = 10^3 Kg/m^3 1 g/cm^3 = 1Kg/L

$$d_{mistura} = \frac{d_1 \cdot V_1 + d_2V_2}{V_1 + V_2}$$

- Pressão

$p = \frac{F}{A}$ (N/m^2 Pa)

$1atm \cong 1{,}0 \cdot 10^5\ N/m^2 = 1{,}0 \cdot 10^5 Pa$ $1m^3 = 1000L$

$1cm^2 = 10^{-4} m^2$

- Teorema de Stevin

$p_2 = p_1 + \mu \cdot g \cdot h$

$1{,}0mmHg = 1{,}0Torr$ $1{,}0N/m^2 = 1{,}0Pa$

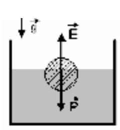
$1{,}0atm = 76cmHg = 760mmHg = 760Torr = 10mH_2O$

- Vasos comunicantes: Para dois líquidos $h_1 \cdot d_1 = h_2 \cdot d_2$
- Prensa hidráulica (Princípio de Pascal $\rightarrow p_1 = p_2$)

$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$ $A_1 \cdot x_1 = A_2 \cdot x_2$ $F_1 \cdot x_1 = F_2 \cdot x_2$

- Empuxo

$E = d_{líquido} \cdot V_{deslocado} \cdot g$



O volume de líquido deslocado será igual ao volume imerso do corpo, se o corpo *não* for poroso.

O corpo flutua parcialmente imerso:

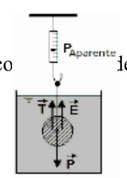
$E = P$ onde $d_{corpo} < d_{líquido}$

O corpo flutua totalmente imerso:

$E = P$ onde $d_{corpo} = d_{líquido}$

O corpo afunda:

$E < P$ onde $d_{corpo} > d_{líquido}$



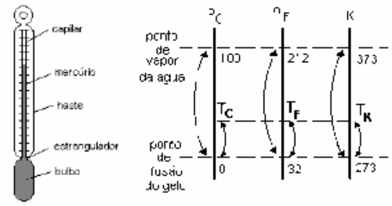
Como calcular o peso (aparente) de um co[rpo imerso n]de um líquido?

$T + E = P \rightarrow T = P - E$

mas $T = P_{APARENTE}$, logo

$P_{APARENTE} = P - E$

Termologia



- Escalas Termométricas

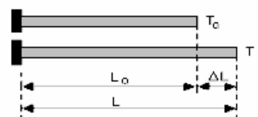
$$\frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9} = \frac{T_K - 273}{5}$$

- Variação de Temperatura

$$\frac{\Delta T_C}{5} = \frac{\Delta T_F}{9} = \frac{\Delta T_K}{5}$$

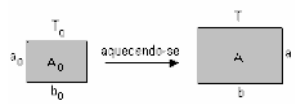
Dilatação

- Dilatação Linear



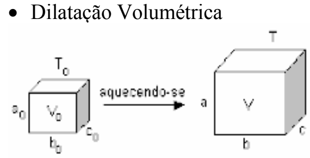
$\Delta L = L_O \cdot \alpha \cdot \Delta T$

- Dilatação Superficial



$\Delta A = A_O \cdot \beta \cdot \Delta T$

- Dilatação Volumétrica

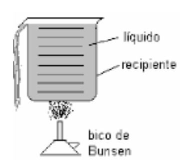


$\Delta V = V_O \cdot \gamma \cdot \Delta T$

- Relação entre os Coeficientes

$$\frac{\alpha}{1} = \frac{\beta}{2} = \frac{\gamma}{3}$$

- Dilatação dos Líquidos



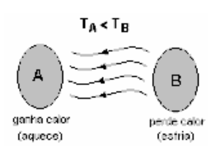
$\Delta V_{LÍQ} = V_{O_{LÍQ}} \cdot \gamma_{LÍQ} \cdot \Delta T$

$\Delta V_{APA} = \Delta V_{LÍQ} - \Delta V_{REC}$

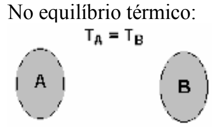
$\gamma_{APA} = \gamma_{LÍQ} - \gamma_{REC}$

Calorimetria

- Calor é a energia que flui entre um sistema e sua vizinhança como conseqüência da diferença de temperatura entre esses dois sistemas.



No equilíbrio térmico:



- Quantidade de calor sensível

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

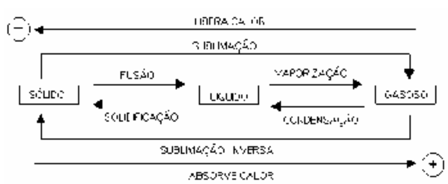
COLÉGIO LUCIANO FEIJÃO
Av. Dom José Tupinambá da Frota, 325 Centro - Sobral - CE Cep: 60.050-070
CNPJ: 09.533.217/0001-31 Fona/Fax: (88) 3611.5544
SITE: www.lucianofeijao.com.br

1 cal = 4,186J   1 Kcal = 1000cal

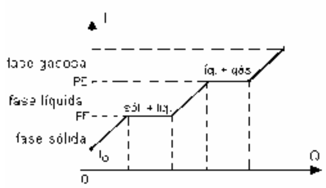
- Capacidade térmica

$C = \dfrac{Q}{\Delta T}$ $C = m \cdot c$

Mudança de Estado Físico



- Curva de aquecimento para uma substância pura



- Quantidade de calor latente

$Q = m \cdot L$

Durante a mudança de estado físico de uma *substância pura*, a temperatura se mantém constante.

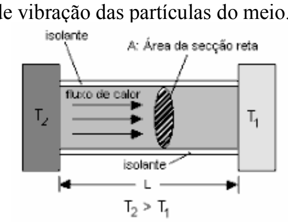
Se o calor latente de uma substância for positivo (L>0), a substância absorve calor para que ocorra a mudança de estado. Se for negativo (L<0), a substância libera calor.

- Equação da troca de calor

$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \ldots + Q_n = 0$

Trocas de calor

- Condução - É a forma de transmissão de calor através da transferência de vibração das partículas do meio.



- Fluxo de calor ou potência calorífica ou ainda taxa de transferência de calor

$\phi = \dfrac{Q}{\Delta t}$ $\phi = \dfrac{K \cdot A \cdot |\Delta T|}{L}$

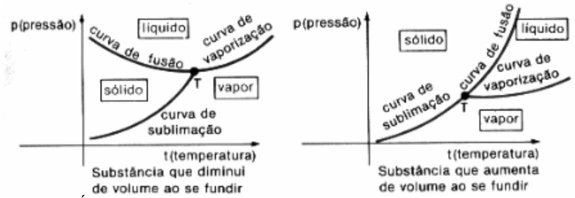
Se o valor de **K** é alto, o material é bom condutor de calor. Se o valor de **K** é baixo, o material é um bom isolante térmico, ou seja, mau condutor.

Os metais são bons condutores de calor (em Eletricidade aprenderemos que eles também são bons condutores elétricos).

- Convecção - É uma forma de transmissão de calor que ocorre em fluidos, ou seja, em líquidos e gases, porém juntamente com o transporte de matéria.

- Irradiação - É o processo através do qual a energia térmica se transfere de uma região para outra sem que haja obrigatoriamente um meio entre elas, ou seja, o calor transmitido por irradiação pode se propagar no vácuo. Isso acontece quando a energia se propaga na forma de energia radiante, através de ondas eletromagnéticas, principalmente na faixa do infravermelho.

Diagrama de fases



- Gás - É a substância que na fase gasosa se encontra em uma temperatura superior à sua temperatura crítica e que não pode ser liquefeita por compressão isotérmica.
- Vapor - É a substância que na fase gasosa se encontra em uma temperatura abaixo de sua temperatura crítica e que pode ser liquefeita por compressão isotérmica.

Estudo dos Gases

- Pressão de um gás perfeito

$p = \dfrac{1}{3} \cdot \dfrac{m \cdot v^2}{V}$ $p = \dfrac{1}{3} \cdot d \cdot v^2$

1atm = 760mmHg = 1,0 x 10^5 N/m^2

- Equação de Clapeyron

$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$

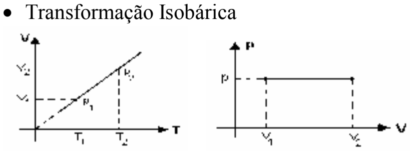
R = 2cal/mol.K   R= 0,082atm.L/mol.K   R=8,31J/mol.K

R=8,31(N/m^2)m^3/mol.K

- Número de moles contido no gás

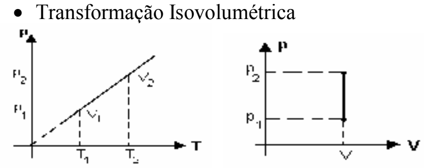
$n = \dfrac{m}{M} = \dfrac{N}{N_A}$ $N_A \approx 6{,}023 \times 10^{23}$ mol^{-1}

- Transformação Isobárica



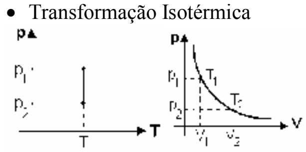
$\dfrac{V_1}{T_1} = \dfrac{V_2}{T_2}$

- Transformação Isovolumétrica



$\dfrac{p_1}{T_1} = \dfrac{p_2}{T_2}$

- Transformação Isotérmica



$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$

- Transformação adiabática

$p_1 \cdot V_1^{\gamma} = p_2 \cdot V_2^{\gamma}$

- Expoente de Poisson

$\gamma = \dfrac{C_P}{C_V} = \dfrac{c_P}{c_V}$

- Calor molar à volume constante

$C_V = M \cdot c_V$

- Calor molar à pressão constante

COLÉGIO LUCIANO FEIJÃO
Av. Dom José Tupinambá da Frota, 325 Centro - Sobral - CE Cep: 60.050-070
CNPJ: 09.533.217/0001-31 Fona/Fax: (88) 3611.5544
SITE: www.lucianofeijao.com.br

$C_P = M \cdot c_P$

- Relação de Mayer

$C_P - C_V = R$

R é a constante dos gases perfeitos

- Lei Geral dos Gases Perfeitos

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

A Lei Geral dos Gases Perfeitos poderá ser aplicada apenas quando a massa do gás permanece inalterada, ou seja, quando o número de moles for o mesmo no estado final e no estado inicial da transformação.

- Energia Cinética Média e Velocidade Média das Moléculas de um Gás

$e_C = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T$ Onde: $k = \frac{R}{N_A} = 1{,}38 x 10^{23}\ J/K$

$v^2 = \frac{3 \cdot R \cdot T}{M}$

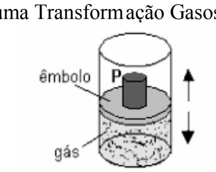
- Energia Interna (ou energia cinética) de um Gás Ideal:

$U = N \cdot e_C$ $U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T$ $U = \frac{3}{2} \cdot p \cdot V$

$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$

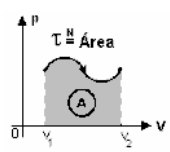
Termodinâmica

- Trabalho numa Transformação Gasosa



$\tau = p \cdot \Delta V$

A expressão anterior só é válida quando a transformação é isobárica (p = const.).



- Primeira Lei da Termodinâmica

$\Delta U = Q - \tau$

- Transformação Isobárica

$\Delta U = Q_P - \tau$ $Q_P = m \cdot c_P \cdot \Delta T = n \cdot C_P \cdot \Delta T$

- Transformação Isovolumétrica

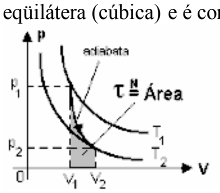
$\Delta U = Q_V - \tau \xrightarrow{\tau = 0} \Delta U = Q_V$

- Transformação Isotérmica

$\Delta U = Q - \tau \xrightarrow{\Delta U = 0} \tau = Q$

- Transformação Adiabática

O gráfico (pressão x volume) para a transformação adiabática está plotado abaixo, e também é uma hipérbole, mas não eqüilátera (cúbica) e é conhecida como adiabata:



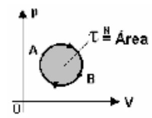
$\rightarrow p \propto \frac{1}{V^{\gamma}}$

$\boxed{T_1 > T_2}$

A partir desse diagrama, podemos concluir que $\Delta U = Q - \tau$, onde $Q = 0$, logo: $\Delta U = -\tau$

No caso apresentado no gráfico, ocorreu uma expansão; então, o trabalho realizado é positivo e a energia interna, por conseguinte, sofreu uma diminuição.

- Transformações Cíclicas



$\Delta U = Q - \tau \xrightarrow{\Delta U = 0} Q = \tau$

$\tau > 0$ (sentido horário)

$\tau < 0$ (sentido anti – horário)

- Balanço Energético

$Q > 0$ (o gás absorve calor)

$Q < 0$ (o gás libera calor)

$Q = 0$ (o gás não troca calor → transformação adiabática)

$\tau > 0$ (o gás realiza trabalho e o volume aumenta)

$\tau < 0$ (o gás recebe trabalho e o volume diminui)

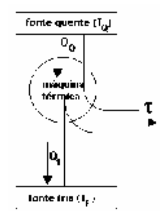
$\tau = 0$ (o gás não realiza e nem recebe trabalho, logo o volume permanece constante → transformação isométrica)

$\Delta U > 0$ (aumenta a energia interna do gás e aumenta a temperatura do gás)

$\Delta U < 0$ (diminui a energia interna do gás e diminui a temperatura do gás)

$\Delta U = 0$ (não varia a energia interna do gás e não varia a temperatura do gás → transformação isotérmica)

- Máquina térmica



É um dispositivo que opera em ciclo, absorvendo calor ou rejeitando e realizando trabalho. A quantidade de energia calorífica que se transformou em trabalho é chamada de energia útil.

$Q_Q = Q_F + \tau$

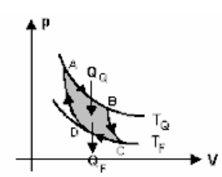
- Rendimento de uma máquina térmica

$\eta = \frac{\tau}{Q_Q}$ $\eta = 1 - \frac{Q_F}{Q_Q}$

- Apresentamos a Segunda Lei da Termodinâmica, com o enunciado de Kelvin – Planck:

É impossível que uma máquina térmica qualquer, operando em ciclo, receba calor de uma fonte quente e execute uma quantidade equivalente de trabalho sem desperdiçar nenhuma quantidade de calor, ou seja, é impossível que uma máquina térmica tenha um rendimento de 100%.

- Ciclo de Carnot



$\tau \overset{N}{=} \text{Área} \rightarrow \tau > 0$

$\frac{Q_F}{Q_Q} = \frac{T_F}{T_Q}$

$\boxed{T_Q > T_F}$

- Rendimento máximo teórico de Carnot

$\eta_{máx} = 1 - \frac{T_F}{T_Q}$

Óptica Geométrica

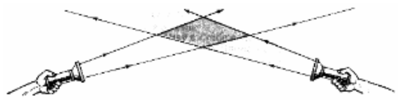
Princípios da Ótica Geométrica:

- Propagação retilínea da luz:

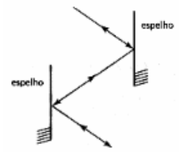
Num meio homogêneo e transparente, a luz se propaga em linha reta.

- Independência dos raios luminosos:

.

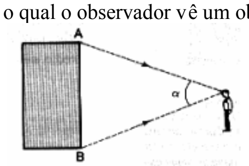


- Reversibilidade dos raios luminosos:

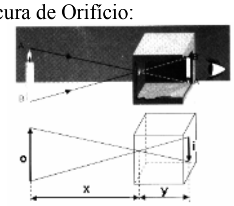


- Ângulo Visual:

É o ângulo α sob o qual o observador vê um objeto AB:



- Câmara Escura de Orifício:



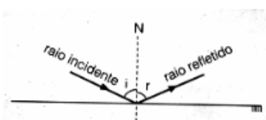
$$\frac{o}{i}=\frac{x}{y}$$

Reflexão da Luz

- Leis da Reflexão:

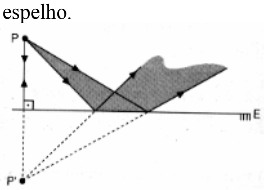
1ª Lei: O raio incidente, a reta normal e o raio refletido são coplanares.

2ª Lei: O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão: $\boxed{i=r}$.

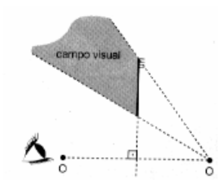


- Imagem de Um Ponto

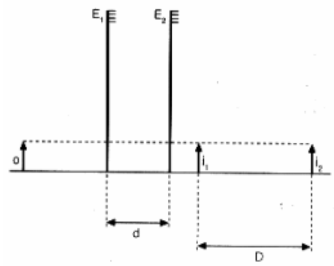
O ponto objeto real P e o ponto imagem virtual P' são eqüidistantes do espelho.



- Campo Visual:



- Translação (Espelho Plano):



$D=2\cdot d$

Como o tempo que o espelho leva para percorrer a distância "d" é o mesmo tempo que a imagem leva para percorrer a distância "D", podemos concluir que:

$v_{imagem}=2\cdot v_{espelho}$

- Rotação (Espelho Plano):

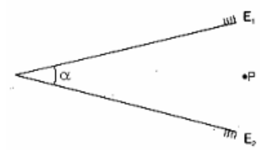
Se um espelho plano sofre uma rotação de um ângulo δ, o raio refletido sofrerá uma rotação de 2 ϕ.

$\delta=2\cdot\phi$

Como o tempo que o espelho leva para descrever o ângulo "$\omega_{espelho}$" é o mesmo tempo que o raio refletido leva para descrever o ângulo "$\omega_{raio\ refletido}$", podemos concluir que:

$\omega_{raio\_refletido}=2\cdot\omega_{espelho}$

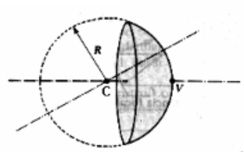
- Imagens formadas por dois Espelhos Planos:

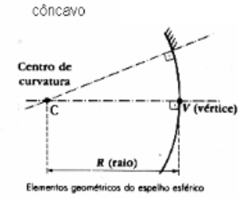


$N=\frac{360°}{\alpha}-1$

- Se $\frac{360°}{\alpha}$ for par, a expressão acima valerá para qualquer posição do ponto luminoso P colocado entre os espelhos, mas,
- Se $\frac{360°}{\alpha}$ for ímpar, a expressão acima somente será válida se o ponto P estiver na bissetriz do ângulo α.

Espelhos Esféricos

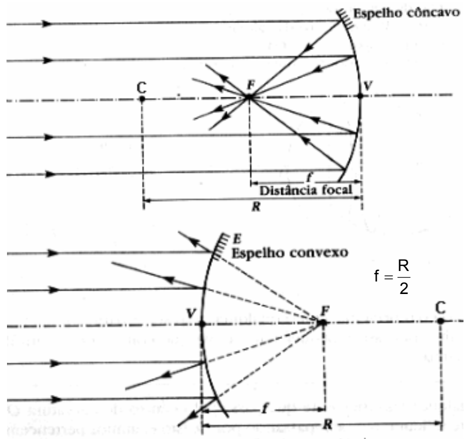




- Foco Principal:

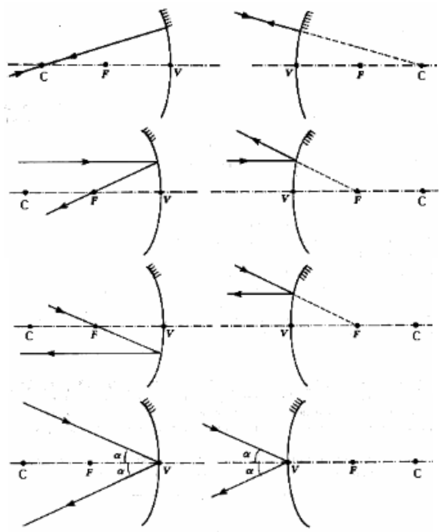
COLÉGIO LUCIANO FEIJÃO
Av. Dom José Tupinambá da Frota, 325 Centro - Sobral - CE Cep: 60.050-070
CNPJ: 09.533.217/0001-31 Fona/Fax: (88) 3611.5544
SITE: www.lucianofeijao.com.br

PROF. PAULO ÊNIO



O foco principal é real no espelho côncavo e virtual no convexo.

- Raios Notáveis:

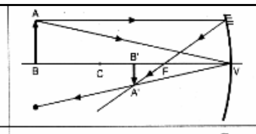
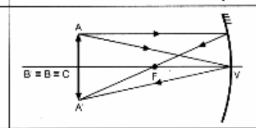
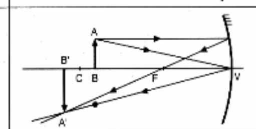
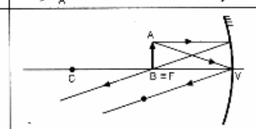
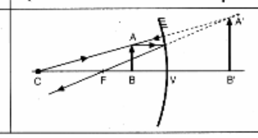


- Construção Geométrica das Imagens:

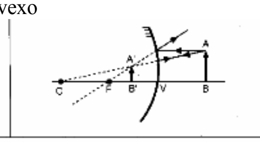
Imagem Real: É aquela formada pelo cruzamento dos raios refletidos.

Imagem Virtual: É aquela formada pelo cruzamento dos prolongamentos dos raios refletidos.

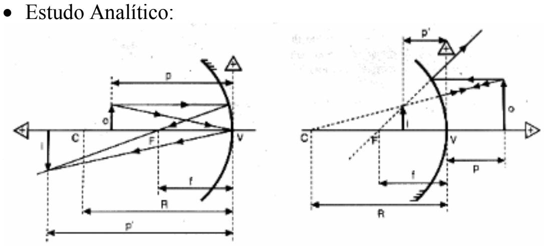
- Espelho Côncavo

Objeto extenso além do ponto C, em que: C = centro de curvatura; F = foco principal; V = vértice		real menor invertida
Objeto extenso sobre C		real igual invertida
Objeto extenso entre C e F		real invertida maior
Objeto extenso sobre F		A imagem é denominada imprópria, pois os raios refletidos são paralelos.
Objeto extenso entre F e V		virtual direita maior

- Espelho Convexo

Objeto extenso localizado na frente do espelho		virtual menor direita

- Estudo Analítico:



Em que:
f: distância focal
p: distância do objeto ao vértice
p': distância da imagem ao vértice

A: aumento linear transversal
i: altura da imagem
o: altura do objeto

- Equação de Gauss:

$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$ ou $f = \frac{p \cdot p'}{p + p'}$ $\quad R = 2 \cdot f$

- Equação do Aumento Linear Transversal:

$A = \frac{i}{o} = \frac{-p'}{p}$

Toda imagem real é obrigatoriamente invertida e toda imagem invertida é obrigatoriamente real.

Toda imagem virtual é obrigatoriamente direita e toda imagem direita é obrigatoriamente virtual.

- Espelho Côncavo:

$f > 0$ e $R > 0$

Imagem real ($p' > 0$) e invertida ($i < 0$; $A < 0$)

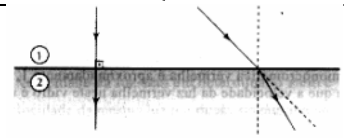
Imagem virtual ($p' < 0$) e direita ($i > 0$; $A > 0$)

- Espelho Convexo:

$f < 0$ e $R < 0$ imagem virtual ($p' < 0$) e direita ($i > 0$; $A > 0$)

COLÉGIO LUCIANO FEIJÃO
Av. Dom José Tupinambá da Frota, 325 Centro - Sobral - CE Cep: 60.050-070
CNPJ: 09.533.217/0001-31 Fona/Fax: (88) 3611.5544
SITE: www.lucianofeijao.com.br

Refração da Luz



- Índice de Refração Absoluto:

$$n = \frac{velocidade\_da\_luz\_no\_vácuo}{velocidade\_da\_luz\_no\_meio}$$

$$n = \frac{c}{v}$$

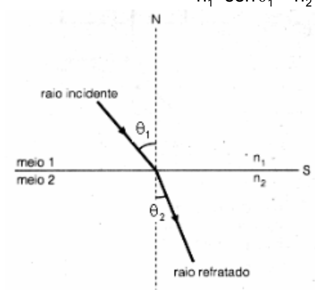
- Índice de Refração Relativo:

$$n_{1,2} = \frac{n_1}{n_2}$$

- Leis da Refração:

1ª Lei: O raio incidente, o raio refratado e a reta normal (N) são coplanares.

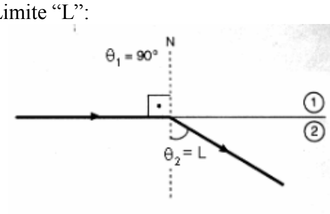
2ª Lei: Lei de Snell – Descartes: $n_1 \cdot sen\theta_1 = n_2 \cdot sen\theta_2$



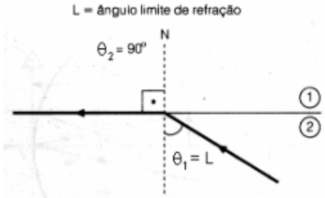
$$n_{1,2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{sen\,\theta_2}{sen\,\theta_1} = \frac{\mathbf{v}_1}{\mathbf{v}_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Não existe alteração da freqüência ao passar de um meio homogêneo para outro.

- Ângulo Limite “L”:



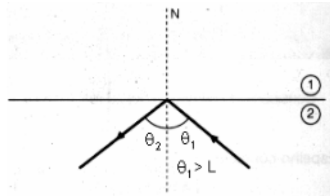
L = ângulo limite de refração



L = ângulo limite de incidência

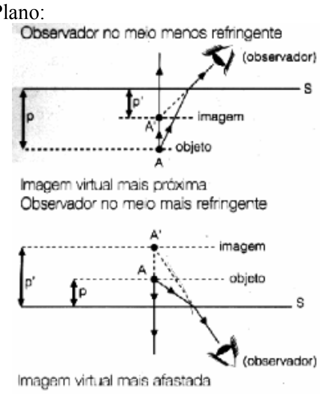
$$senL = \frac{n_{menor}}{n_{maior}}$$

- Reflexão Total:



- Fibra ótica:

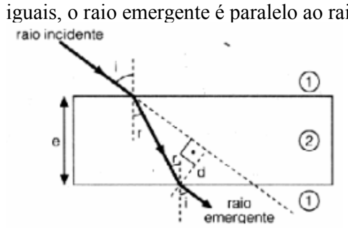
- Dioptro Plano:



$$\frac{n_{observador}}{n_{objeto}} = \frac{p'}{p}$$

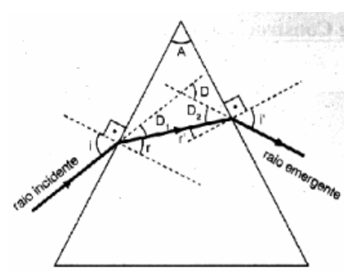
- Lâminas de Faces Paralelas:

Estudaremos apenas meios extremos idênticos e o meio intermediário mais refringente. Como os meios extremos são iguais, o raio emergente é paralelo ao raio incidente.



$$d = \frac{e \cdot sen(i - r)}{\cos r}$$

- Prismas:



$A = r + r'$

$D = i + i' - A$

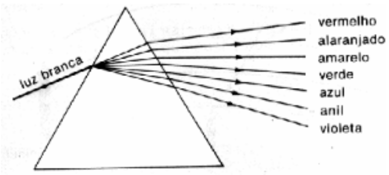
Desvio mínimo de um prisma:

Se $\boxed{i = i' \rightarrow r = r'}$, o desvio angular D é chamado de desvio angular mínimo D_m, logo:

$A = 2 \cdot r$

$D_m = 2 \cdot i - A$

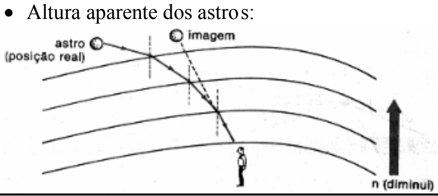
- Dispersão da luz:



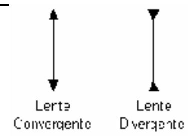
Para um Determinado Meio

Tipo de luz	Desvio	Velocidade
Vermelha	Menor	Maior
Violeta	Maior	Menor

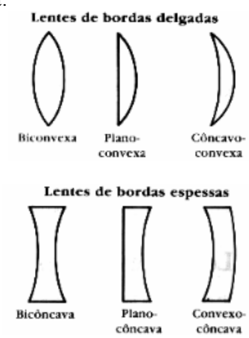
- Altura aparente dos astros:



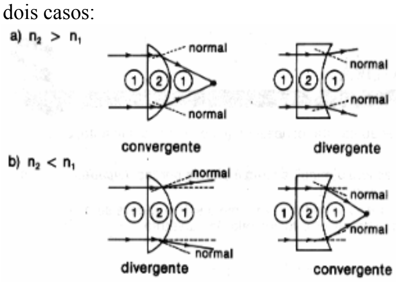
Lentes Esféricas



- Nomenclatura:

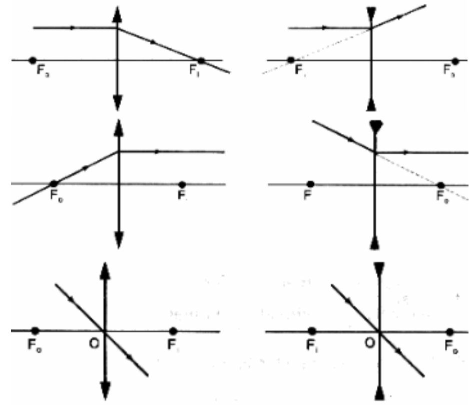


Quando um feixe de luz paralelo incide numa lente, podemos destacar dois casos:



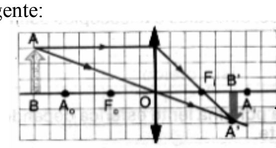
Bordas delgadas	$n_2 > n_1$	Convergente
	$n_2 < n_1$	Divergente
Bordas espessas	$n_2 > n_1$	Divergente
	$n_2 < n_1$	Convergente

- Raios Notáveis:



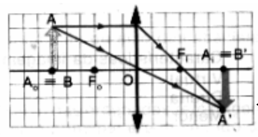
- Construção Geométrica e Características das Imagens:

Lente Convergente:

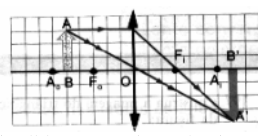


Real
Invertida
Menor

Ex: O cristalino dos olhos e a câmara fotográfica, que conjugam a imagem sobre o filme, são aplicações do caso acima.

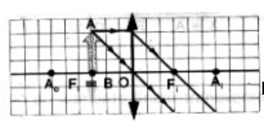


Real
Invertida
Igual



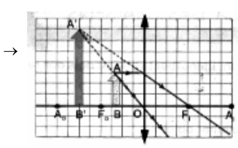
Real
Invertida
Maior

Ex: O projetor de slides e o projetor de cinema são aplicações do caso acima, onde as imagens (reais) são projetadas num anteparo (tela).



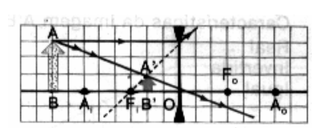
Imprópria

Virtual
Direita
Maior



Ex: A lupa (lente de aumento) usa o método acima para formação das imagens .

Lente Divergente:



Virtual
Direita
Menor

- Equação de Gauss:

COLÉGIO LUCIANO FEIJÃO
Av. Dom José Tupinambá da Frota, 325 Centro - Sobral - CE Cep: 60.050-070
CNPJ: 09.533.217/0001-31 Fona/Fax: (88) 3611.5544
SITE: www.lucianofeijao.com.br

$\frac{1}{f}=\frac{1}{p}+\frac{1}{p'}$ ou $f=\frac{p\cdot p'}{p+p'}$

- Equação do Aumento Linear Transversal (ou ampliação):

$A=\frac{i}{o}=\frac{-p'}{p}$

- Considerações de Sinais:

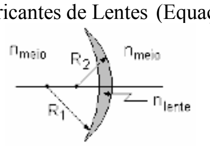
Lente Convergente: $f > 0$
Lente Divergente: $f < 0$
Imagem Real: $p' > 0$ e $i < 0$ (invertida)
Imagem Virtual: $p' < 0$ e $i > 0$ (direita)

- Vergência de Uma Lente:

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

onde : f - m (metro) e V - di (dioptria)
-Lente Convergente: $f > 0$; $V > 0$
-Lente Divergente: $f < 0$; $V < 0$

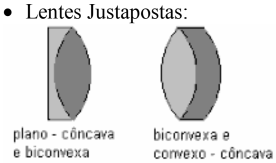
- Fórmula dos Fabricantes de Lentes (Equação De Halley):



$\frac{1}{f}=\left(\frac{n_{lente}}{n_{meio}}-1\right)\cdot\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$

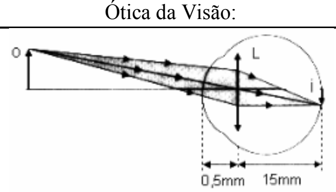
Face Côncava: $R < 0$
Face Convexa: $R > 0$
Se uma das faces é plana, $R\rightarrow\infty$, ou seja, $\frac{1}{R}=0$.

- Lentes Justapostas:



$V=V_1+V_2+...+V_n$ $\qquad$ $\frac{1}{f}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}+...+\frac{1}{f_n}$

Ótica da Visão:



- Defeitos da Visão:

Miopia: O observador não consegue ver nitidamente os objetos afastados. A imagem forma-se antes da retina. *A correção se faz com lentes divergentes.*

Hipermetropia: O observador não consegue ver nitidamente os objetos próximos. A imagem forma-se depois da retina. *A correção se faz com lentes convergentes.*

Presbiopia: Quando uma pessoa envelhece, os músculos ciliares perdem parte de sua elasticidade, em razão disso há a dificuldade de ver objetos próximos. *A correção se faz com lentes convergentes.*

Ondulatória

Ondas

Onda é uma perturbação que se propaga em um meio qualquer.

Uma onda transporta energia, mas não transporta matéria.

- Tipos de ondas:

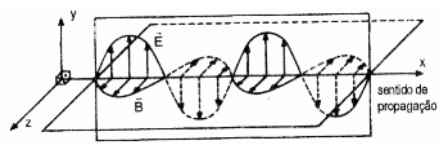
Ondas mecânicas: são aquelas que necessitam de um meio material para se propagarem (ex.: ondas na superfície de líquidos, onda sonora, ondas numa corda esticada, etc.).

Ondas eletromagnéticas: são aquelas que *não* necessitam de um meio material para se propagarem, ou seja, podem se propagar no vácuo (ex.: luz, raio-γ, raio-X, ...). Nas ondas eletromagnéticas, a energia transportada é diretamente proporcional a freqüência da onda:

$E=h\cdot f$

Onde: $h = 6{,}62 \times 10^{-34}$ J.s (const. de Planck).

As ondas eletromagnéticas são constituídas por dois campos, um elétrico (**E**) e outro magnético (**B**), ortogonais entre si:



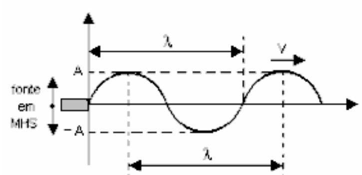
$c = 3{,}0 \times 10^8$ m/s (velocidade da luz no vácuo)

- Quanto à direção de propagação:

Onda transversal: a vibração do meio é perpendicular à direção de propagação (ex.: ondas luminosas, ondas em uma corda tensa, etc.)

Onda longitudinal: a vibração do meio ocorre na mesma direção que a propagação (ex.: onda sonora, onda se propagando em uma mola perturbada com um impulso longitudinal em sua extremidade, ondas na superfície da água, etc.)

- Ondas Periódicas:



Expressões Importantes:

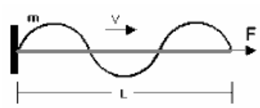
$f\cdot T=1\rightarrow\begin{cases}f=1/T\\T=1/f\end{cases}$

$v=\lambda\cdot f$

$v=\frac{\lambda}{T}$

A freqüência de uma onda sempre será igual à freqüência da fonte que a emitiu.

- Ondas numa Corda Tensa:



$v=\sqrt{\frac{F}{\mu}}$ (Lei de Taylor)

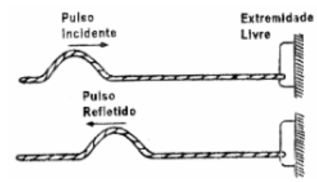
Onde:

$\mu=\frac{m}{L}$: densidade linear da corda.

- Reflexão de Ondas:

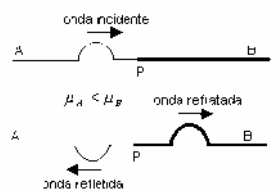
Reflexão com inversão de fase:

Reflexão sem inversão de fase:

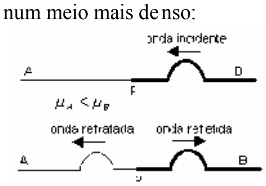


- Reflexão e Refração:

Onda incidente num meio menos denso:



Onda incidente num meio mais denso:



$f_A = f_B \rightarrow \frac{v_A}{\lambda_A} = \frac{v_B}{\lambda_B}$

A expressão acima serve para os dois casos citados anteriormente.

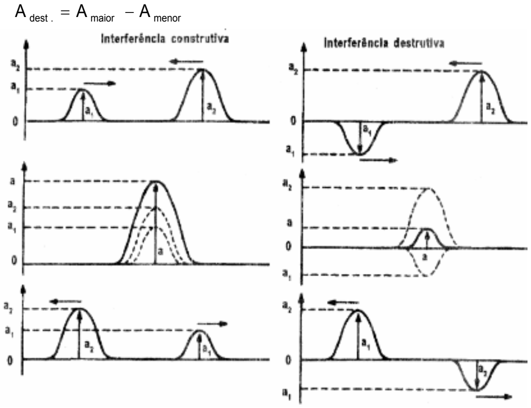
Interferência:

-Interferência construtiva.

$A_{const.} = A_1 + A_2$

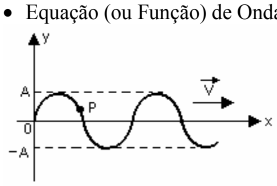
Interferência destrutiva.

$A_{dest.} = A_{maior} - A_{menor}$



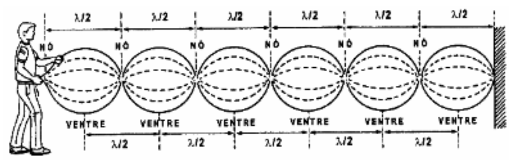
Após a interferência, cada pulso de onda se propaga independentemente do outro, isto é, como se nada tivesse acontecido. Este é o princípio da independência das ondas.

- Equação (ou Função) de Onda:



$$y(x,t) = A \cdot \cos\left[2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) + \varphi_o\right]$$

- Onda Estacionária:

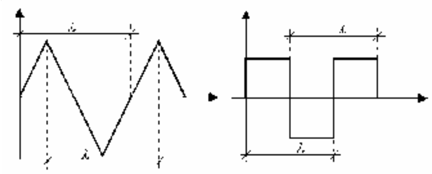


Nó: ponto onde não há vibração;

Ventre: é o ponto que vibra com amplitude máxima (2A).

A distância entre dois nós consecutivos, ou entre dois ventres consecutivos, é igual à $\frac{\lambda}{2}$.

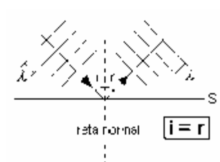
Existe ondas que não tem forma senoidal (ou cossenoidal). São as *ondas dentes-de-serra* ou *ondas quadradas*, que também podem ser periódicas.



- Fenômenos Ondulatórios:
- Leis da Reflexão:

1ª Lei da Reflexão: O raio de onda incidente, o raio refletido e a reta normal, são coplanares.

2ª Lei da Reflexão: O ângulo de incidência i e o ângulo de reflexão r possuem a mesma medida.

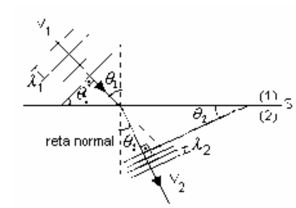


- Leis da Refração:

1ª Lei da Refração: O raio de onda incidente, o raio refratado e a reta normal são coplanares.

2ª Lei da Refração: (Lei de Snell – Descartes):

$n_1 \cdot \text{sen}\theta_1 = n_2 \cdot \text{sen}\theta_2$



Onde:

$\frac{\text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$

A freqüência f de uma onda ao passar de um meio para outro não se modifica, na verdade, a freqüência de uma onda nunca se modifica, ela é sempre igual a freqüência de vibração da fonte que a produziu.

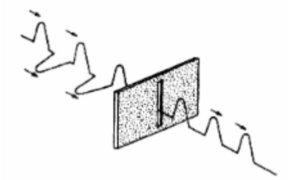
- Difração:

Difração é o fenômeno pelo qual uma onda tem a capacidade de superar um obstáculo, ao ser parcialmente interrompido por ele.

- Polarização:

COLÉGIO LUCIANO FEIJÃO
Av. Dom José Tupinambá da Frota, 325 Centro - Sobral - CE Cep: 60.050-070
CNPJ: 09.533.217/0001-31 Fona/Fax: (88) 3611.5544
SITE: www.lucianofeijao.com.br

Onda polarizada é uma onda que passa a apresentar vibrações em uma única direção.



O polarizador funciona como uma espécie de filtro que só permite a passagem das vibrações em determinada direção.

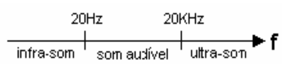
A polarização é um fenômeno ondulatório apresentado somente por ondas transversais, ocorrendo, portanto com a luz quando atravessa placas polarizadoras (ou polaróides) .

Acústica

Ondas Sonoras

O som é uma forma de energia (energia sonora). É uma onda mecânica longitudinal que ao se propagar, abala o meio de propagação (o ar, geralmente).

Por ser uma onda mecânica, o som não se propaga no vácuo, pois necessita de um meio para se propagar. As ondas eletromagnéticas é o único tipo de onda que se propaga no vácuo.



O som é uma onda periódica com certa harmonia; o ruído é uma onda sonora desarmônica.

- Velocidade de propagação do som:

$v_{sólidos} > v_{líquidos} > v_{gases}$

- Qualidades do som:
- Altura do Som: A altura do som é a qualidade que nos permite caracterizar o som como grave ou agudo, estando relacionado com a freqüência do som.

Um som é tanto mais grave quanto menor for a freqüência e tanto mais agudo quanto maior a freqüência.

- Intensidade do Som: A intensidade do som nos permite classificar o som como forte ou fraco. Essa qualidade é relacionada com a energia transportada pela onda. A sensação auditiva não varia de forma linear com a energia transportada pela onda. Assim, definem-se dois tipos de intensidade: a intensidade energética (física) e a intensidade fisiológica (nível sonoro).
- Intensidade física do som (I)

$I = \frac{Pot}{A}$ $\quad Pot = \frac{energia}{\Delta t}$ $\quad I = \frac{Pot}{4\pi R^2}$ (W/m^2)

R: raio da superfície esférica

- Nível sonoro (β)

$$\beta = 10 \cdot Log_{10}\left(\frac{I}{I_o}\right)$$

Onde $\mathbf{I_o}$ é a menor intensidade sonora audível (ou limiar auditivo) que vale 1,0 x 10^{-12} W/m^2, e que a unidade de I na expressão acima é dada em decibel (dB).

- Timbre: O timbre é uma qualidade do som que permite ao ouvido humano distinguir dois sons de mesma altura e intensidade, emitidos por instrumentos diferentes. O timbre está relacionado com a forma da onda.
- Quando uma onda sonora encontra um obstáculo, ou seja, uma superfície de separação entre dois meios, vários fenômeno podem ocorrer simultaneamente ou não:

-Reflexão: o som volta ao meio original;

-Refração: o som muda de meio de propagação;

-Absorção: o som é absorvido, podendo extinguir-se ou não.

Por exemplo: alguém fala em um auditório. Parte desse som nos atinge diretamente; outra parte pode refletir-se no teto ou nas paredes do salão, vindo a nos atingir novamente. O primeiro som a nos atingir é o som direto; o segundo, é o som refletido.

- A reflexão pode provocar três tipos de fenômenos: reforço, reverberação e eco, relacionados com o intervalo de tempo entre a chegada dos sons diretos e refletidos.

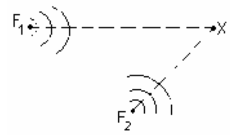
-Reforço ocorre quando o intervalo de tempo entre a chegada do som direto e o refletido é praticamente nula.

-Reverberação ocorre quando o intervalo de tempo entre a chegada do som direto e a do refletido é pouco inferior a 0,1s;

-Eco ocorre quando o intervalo de tempo entre a chegada do som direto e a do som refletido é superior a 0,1s. Para que haja eco, o obstáculo deve estar pelo menos à 17m de distância da pessoa.

- Interferência sonora:

A *interferência* merece um comentário especial. Considere duas fontes sonoras F_1 e F_2 emitindo, em fase, ondas de mesma amplitude e de mesmo comprimento de onda.



No ponto X, onde há a superposição das ondas, podemos ter uma interferência construtiva (ponto de máximo, ou seja, som mais forte) se a diferença de caminhos percorridos pelas ondas for um número par de meios comprimentos de onda. Se a interferência for destrutiva (ponto de mínimo, ponto nodal, ou seja, som fraco ou nulo) a diferença entre os caminhos das ondas é um número ímpar de meios comprimentos de onda. Matematicamente temos:

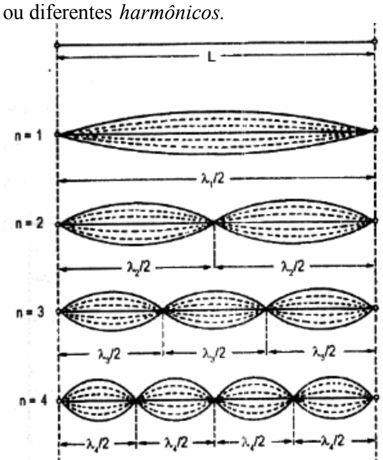
$$\overline{F_1X} - \overline{F_2X} = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

-interferência construtiva: n = 0,2,4,6,8,...

-interferência destrutiva: n = 1,3,5,7,9,...

- Cordas Vibrantes:

As extremidades fixas da corda sempre serão *nós*. Entre dois nós haverá sempre 1 ventre, e entre as extremidades fixas haverá sempre *n* ventres. Haverá, portanto diferentes modos de vibração ou diferentes *harmônicos.*



$L = n \cdot \frac{\lambda_n}{2}$ $\quad \lambda_n = \frac{2 \cdot L}{n}$ $\quad f_n = \frac{n \cdot v}{2 \cdot L}$

- Relações entre o enésimo harmônico e o 1º harmônico numa corda:

$f_n = n \cdot f_1 \qquad \lambda_n = \dfrac{\lambda_1}{n}$

A velocidade da onda numa corda tensa é igual em todos os harmônicos (verificação pela Lei de Taylor).

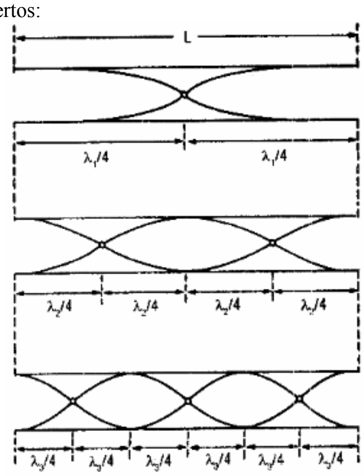
$v_1 = v_2 = v_3 = ... = v_n$

- Fórmula de Lagrange:

$f_n = \dfrac{n}{2 \cdot L}\sqrt{\dfrac{F}{\mu}}$ onde: $\mu = \dfrac{m}{L}$

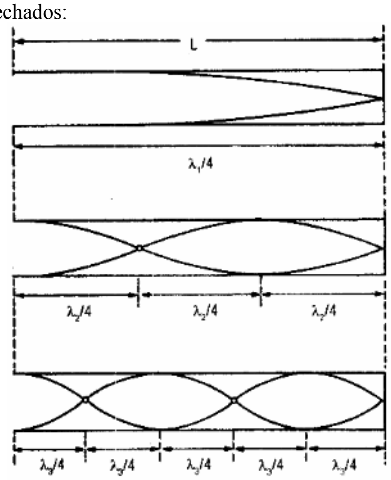
- Tubos Sonoros:

Tubos abertos:



$L = n \cdot \dfrac{\lambda_n}{2} \qquad \lambda_n = \dfrac{2 \cdot L}{n} \qquad f_n = \dfrac{n \cdot v}{2 \cdot L}$

Tubos fechados:



$L = n \cdot \dfrac{\lambda_n}{4} \qquad \lambda_n = \dfrac{4 \cdot L}{n} \qquad f_n = \dfrac{n \cdot v}{4 \cdot L}$

Onde:

n é o número de harmônicos, ou ainda, a quantidade de quartos de comprimento de onda, que será (neste caso) números ímpares (n = 1, 3, 5, 7, 9, ...),

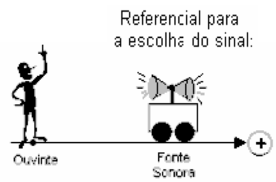
- Relação entre o enésimo harmônico e o 1º harmônico nos tubos sonoros:

$f_n = n \cdot f_1 \qquad \lambda_n = \dfrac{\lambda_1}{n}$

-tubo aberto: n = 1,2,3,4,5,6, ...

-tubo fechado: n = 1,3,5,7,...

- Efeito Doppler:



$f_{APA} = f_{REAL} \cdot \left(\dfrac{v_{SOM} \pm v_{OUVINTE}}{v_{SOM} \pm v_{FONTE}} \right)$

-na aproximação: $f_{APA} > f_{REAL}$ (o som aparenta ser mais agudo)

-no afastamento: $f_{APA} < f_{REAL}$ (o som aparenta ser mais grave)

$v_{FONTE} \begin{cases} \rightarrow (+) & \text{fonte se afastando do ouvinte} \\ \leftarrow (-) & \text{fonte se aproximando do ouvinte} \end{cases}$

$v_{OUVINTE} \begin{cases} \rightarrow (+) & \text{ouvinte se aproximando da fonte} \\ \leftarrow (-) & \text{ouvinte se afastando da fonte} \end{cases}$

$v_{OUVINTE} = 0$ Ouvinte parado

$v_{FONTE} = 0$ Fonte parada

Eletricidade

Eletrostática

- Carga Elétrica:

Observa-se experimentalmente, na natureza da matéria, a existência de uma força com propriedades semelhantes à força gravitacional, embora atue em condições diferentes. Esta força é denominada *força elétrica*. Todos os corpos que exercem forças elétricas possuem o que chamamos de *cargas elétricas*.

- Carga Elementar:

A carga elétrica de um elétron é em módulo, igual a de um próton, e vale:

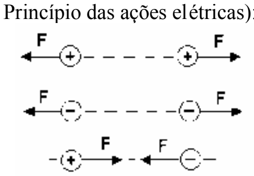
$e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C

Onde:

$Q = \pm n \cdot e$

- Princípios Fundamentais da Eletrostática:

1º Princípio (ou Princípio das ações elétricas):



2º Princípio (ou Princípio da conservação das cargas elétricas):

$\sum Q_{antes} = \sum Q_{depois}$

- Eletrização por atrito:

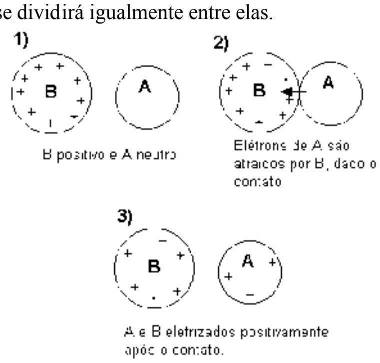
Na eletrização por atrito os corpos sempre se eletrizam com cargas de mesmo módulo, mas de sinais contrários.

- Eletrização por contato:

Na eletrização por contato, os corpos sempre se eletrizam com cargas de mesmo sinal, mas não necessariamente com o

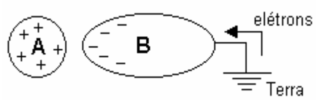
COLÉGIO LUCIANO FEIJÃO
Av. Dom José Tupinambá da Frota, 325 Centro - Sobral - CE Cep: 60.050-070
CNPJ: 09.533.217/0001-31 Fona/Fax: (88) 3611.5544
SITE: www.lucianofeijao.com.br

mesmo valor. Um caso particular e importante a ser considerado é quando tratamos com esferas condutoras de mesmo tamanho e mesmo material: a carga elétrica total do sistema se dividirá igualmente entre elas.

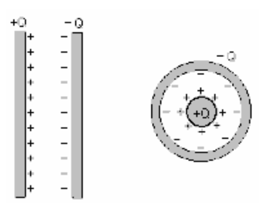


- Eletrização por indução:

Nesse processo o corpo A é chamado de indutor e o corpo B, de induzido.
Num processo de eletrização por indução, o induzido sempre se eletriza com carga de sinal contrário à do indutor.



$|Q_{indutor}| \geq |Q_{induzido}|$



- Unidades:

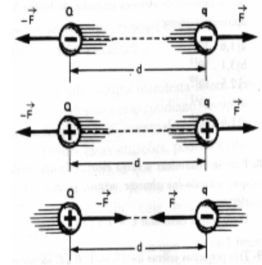
Submúltiplos	Símbolo	Valor
milicoulomb	mC	10^{-3} C
microcoulomb	μC	10^{-6} C
nanocoulomb	nC	10^{-9} C
picocoulomb	pC	10^{-12} C

Força Elétrica (Lei de Coulomb)

$$F = K \cdot \frac{|Q| \cdot |q|}{d^2}$$

Quando o meio que envolve as cargas é o vácuo, a constante eletrostática é indicada por K_0 e vale:

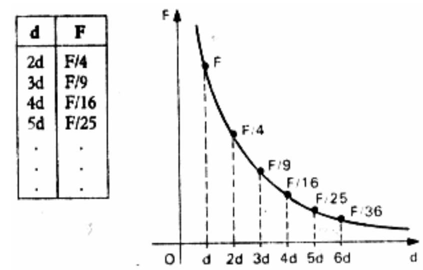
$$K_0 = 9{,}0 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2}$$



A constante K, como já podemos perceber, depende do meio considerado, e é definida no SI como sendo:

$K = \frac{1}{4\pi\varepsilon}$, onde ε é conhecida como permissividade do meio.

No vácuo $\varepsilon_0 = 8{,}85 \times 10^{-12}$ $C^2/N.m^2$.



Campo Elétrico

- Determinação do Vetor Campo Elétrico:

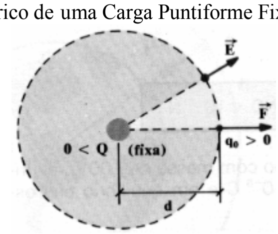
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_o} \qquad E = \frac{F}{|q_o|}$$

A força elétrica $\vec{F}$ está aplicada na carga e o vetor campo elétrico é uma característica do ponto onde a carga foi colocada. Para existir um campo elétrico numa região do espaço, não precisa necessariamente existir uma carga de prova; você precisará da carga de prova para calculá-lo.

- Direção do Campo Elétrico

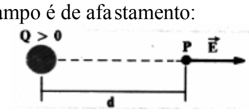
A direção do campo elétrico é a mesma da força elétrica e seu sentido depende do sinal da carga q_o:
-Se $q_o>0$, o sentido do campo é o mesmo da força.
-Se $q_o<0$, o sentido do campo é contrário ao da força.
No SI, a unidade de campo elétrico é o newton por coulomb (N/C).

- Campo Elétrico de uma Carga Puntiforme Fixa:

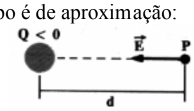


$$E = K \cdot \frac{|Q|}{d^2}$$

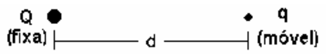
A direção do $\vec{E}$ é a mesma da força $\vec{F}$. O sentido do $\vec{E}$ depende do sinal de Q:
-Para Q > 0, o campo é de afastamento:

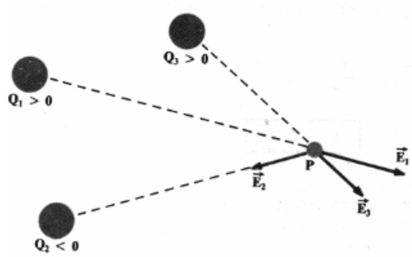


-Para Q < 0, o campo é de aproximação:



- Campo Elétrico de várias Cargas Puntiformes Fixas:

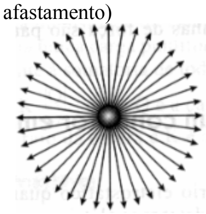




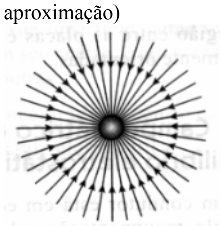
$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$

- Linhas de Força:

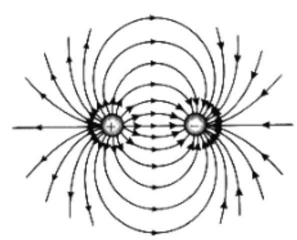
-Carga puntiforme positiva
(campo elétrico de afastamento)



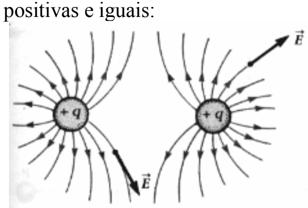
-Carga puntiforme negativa
(campo elétrico de aproximação)



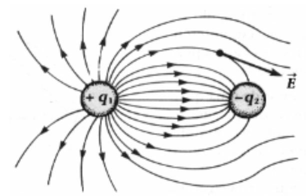
-Par de cargas de mesmo módulo e sinais opostos (dipolo elétrico):



-Duas cargas positivas e iguais:



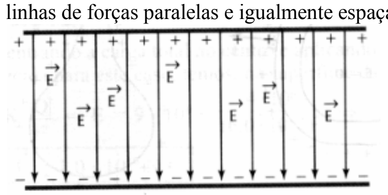
-Par de cargas de módulos diferentes e sinais opostos ($|q_1| > |q_2|$):



Note que as linhas de força nunca se cruzam, que o vetor campo elétrico é sempre tangente à linha de força e que onde as linhas são mais próximas o campo elétrico é mais intenso e onde as linhas são mais afastadas o campo elétrico é mais fraco.

- Campo Elétrico Uniforme.

Possui as linhas de forças paralelas e igualmente espaçadas.

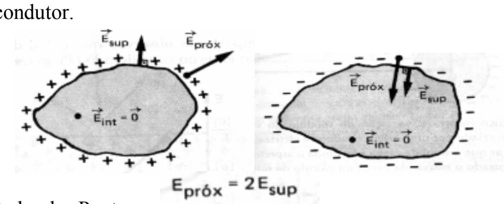


- Campo Elétrico de um Condutor em Equilíbrio Eletrostático:

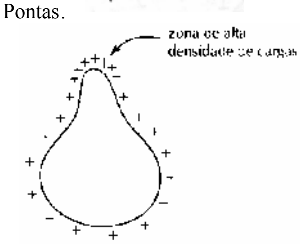
Um condutor está em equilíbrio eletrostático quando não há nele, movimentação de cargas elétricas.

Quando o corpo está eletrizado, a repulsão mútua entre as cargas faz com que elas fiquem distribuídas na superfície, o que corresponde ao máximo afastamento uma das outras.

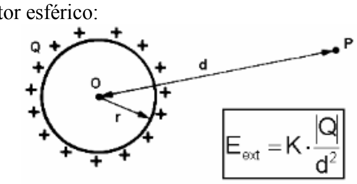
No interior de um condutor eletrizado e em equilíbrio, o campo elétrico é nulo em todos os pontos, qualquer que seja a forma do condutor.



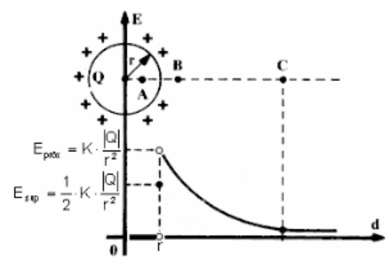
- Poder das Pontas.



- Condutor esférico:



$$E_{ext} = K \cdot \frac{|Q|}{d^2}$$



$\vec{E}_{int} = \vec{0}$ $\qquad E_{sup} = \frac{1}{2}\cdot K\cdot\frac{|Q|}{r^2}$ $\qquad E_{próx} = 2\cdot E_{sup}$

Potencial Elétrico

- Energia Potencial Elétrica entre duas Cargas Puntiformes:

$$Ep = K\cdot\frac{Q\cdot q}{d}$$

- Potencial Elétrico e Diferença de Potencial Elétrico:

$$V_A = \frac{Ep}{q} \qquad 1V = \frac{1J}{1C} \Rightarrow 1volt = \frac{1Joule}{1Coulomb}$$

Essa relação não depende da carga q, pois se mudarmos a carga q mudaremos também o valor de E_P, mas a relação E_P /q permanecerá constante.

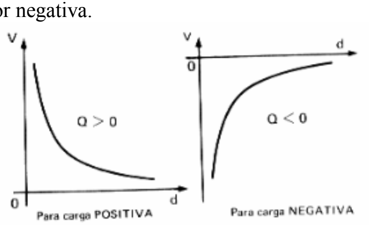
Se considerarmos dois pontos A e B de um campo elétrico, sendo V_A e V_B os seus respectivos potenciais elétricos, definimos diferença de potencial elétrico, ou d.d.p., ou ainda tensão elétrica, entre os pontos A e B, através da expressão:

$U_{AB} = V_A - V_B$

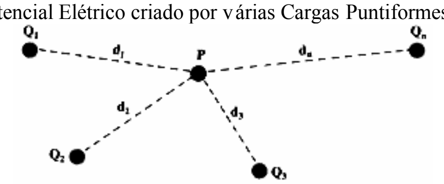
- Potencial Elétrico devido a uma Carga Puntiforme:

$$V = K\cdot\frac{Q}{d}$$

O potencial elétrico é uma grandeza escalar, cujo sinal depende do sinal da carga que cria o campo. Então, o sinal do potencial elétrico será: positivo, se a carga Q for positiva; negativo se a carga Q for negativa.



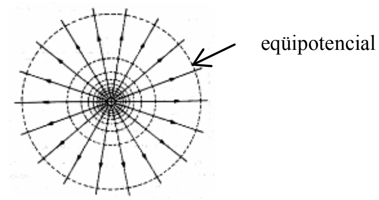
- Potencial Elétrico criado por várias Cargas Puntiformes:



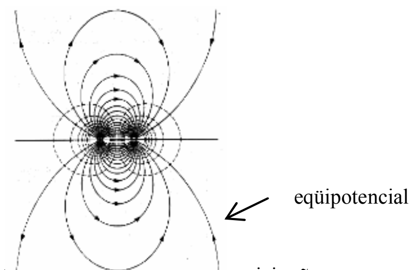
$$V_P = K\cdot\left(\frac{Q_1}{d_1}+\frac{Q_2}{d_2}+\frac{Q_3}{d_3}+...+\frac{Q_n}{d_n}\right)$$

- Eqüipotenciais:

São linhas (no plano) ou superfícies (no espaço) onde o *potencial*, em todos os pontos, assume o mesmo valor algébrico.

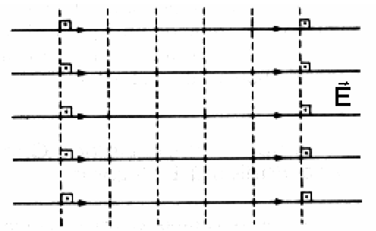


Num dipolo elétrico, isto é, para duas partículas eletrizadas com cargas de mesmo módulo, porém de sinais opostos, as eqüipotenciais assumem o aspecto da figura a seguir:



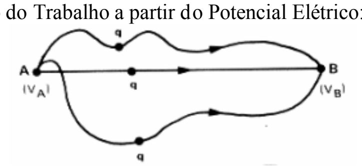
É muito importante observar que as eqüipotenciais são sempre perpendiculares as linhas de força.

Para um campo elétrico uniforme, as eqüipotenciais são retas ou planos normais à direção definida pelas linhas de força, e o campo elétrico está orientado no sentido dos potenciais decrescentes.



$V_A > V_B > V_C > V_D > V_E > V_F$

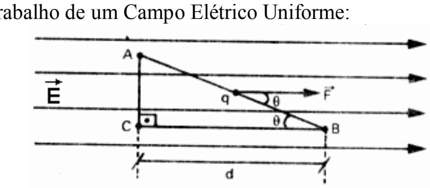
- Cálculo do Trabalho a partir do Potencial Elétrico:



$\tau_{A\to B} = q\cdot(V_A - V_B) \qquad \tau_{A\to B} = q\cdot U_{AB}$

Perceba que o trabalho não depende da trajetória, o que importa é o ponto de partida e o ponto de chegada.

- Trabalho de um Campo Elétrico Uniforme:



$\tau_{A\to B} = q\cdot E\cdot d$

É importante reconhecer que o valor da distância *d* nessa expressão não corresponde, necessariamente, à distância entre os pontos A e B, mas corresponde à distância entre dois planos perpendiculares às linhas de força contendo os pontos A e B.

Como conseqüência da expressão acima:

$U_{AB} = E\cdot d$

COLÉGIO LUCIANO FEIJÃO
Av. Dom José Tupinambá da Frota, 325 Centro - Sobral - CE Cep: 60.050-070
CNPJ: 09.533.217/0001-31 Fona/Fax: (88) 3611.5544
SITE: www.lucianofeijao.com.br

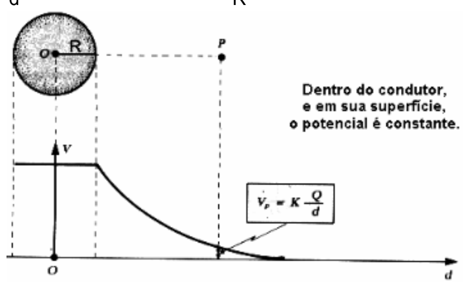
Essa fórmula só pode ser utilizada para um campo elétrico uniforme.

- Potencial Elétrico em um Condutor em Equilíbrio Eletrostático:

Um condutor eletrizado e em equilíbrio eletrostático, de formato arbitrário, possui todos os seus pontos internos e na superfície, a um mesmo potencial elétrico.

- Condutor Esférico:

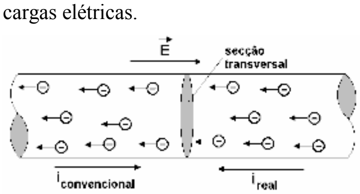
$V_P = K \cdot \dfrac{Q}{d}$ $\qquad V_{condutor} = K \cdot \dfrac{Q}{R}$

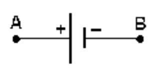


Eletrodinâmica

Corrente Elétrica

Chamaremos de corrente elétrica ao movimento ordenado de cargas elétricas.





Convencionaremos que o sentido da corrente elétrica num circuito se dá em sentido contrário ao movimento dos elétrons, como se fossem cargas positivas que se deslocassem.

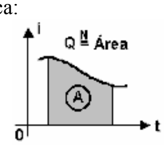
- Corrente Elétrica

$i = \dfrac{Q}{\Delta t}$ $\qquad 1A = \dfrac{1C}{1s} \Rightarrow 1\text{ampère} = \dfrac{1\text{coulomb}}{1\text{segundo}}$

- Submúltiplos do ampére.

Nome	Símbolo	Valor
miliampére	mA	10^{-3} A
microampére	µA	10^{-6} A

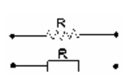
- Propriedade Gráfica:



Resistores

São chamados de resistores, num circuito elétrico, os condutores que, atravessados por uma corrente elétrica, transforma energia elétrica exclusivamente em energia térmica (Efeito Joule).

- Resistência Elétrica



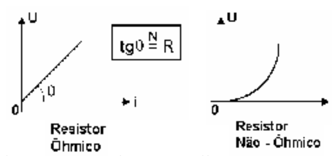
$R = \dfrac{U}{i}$ $\qquad 1\Omega = \dfrac{1V}{1A} \Rightarrow 1\text{ohm} = \dfrac{1\text{volt}}{1\text{ampère}}$

- 1ª Lei de Ohm: A intensidade da corrente elétrica que percorre um resistor é diretamente proporcional à tensão entre os seus terminais; e a resistência elétrica desse resistor deve ser independente da tensão que ele está sendo submetido.

$\dfrac{U_1}{i_1} = \dfrac{U_2}{i_2} = \dfrac{U_3}{i_3} = \ldots = \dfrac{U_n}{i_n} = R = \text{const.}$

ou seja:

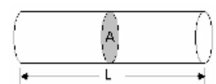
$U = R \cdot i$



O gráfico acima a esquerda, é a melhor representação para a 1ª Lei de Ohm, pois a fórmula U = R.i pode ser utilizada tanto para resistores ôhmicos como para resistores não-ôhmicos.

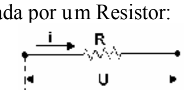
Para os resistores ôhmicos, a resistência permanece constante com a variação de temperatura.

- 2ª Lei de Ohm:



$R = \rho \cdot \dfrac{L}{A}$

- Potência Dissipada por um Resistor:



$P_{ot} = U \cdot i$ $\qquad P_{ot} = R \cdot i^2$ $\qquad P_{ot} = \dfrac{U^2}{R}$

- Efeito Joule:

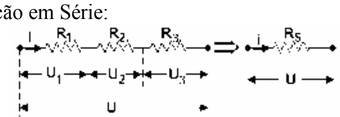
É o processo no qual um elemento elétrico (resistor, por exemplo) transforma energia elétrica em energia térmica (calor).

$E = P_{ot} \cdot \Delta t$

Onde **E** é a energia térmica produzida.

Associação de Resistores:

- Associação em Série:



Numa associação em série observa-se que:

$\mathbf{i_1 = i_2 = i_3 = i}$

$\mathbf{U = U_1 + U_2 + U_3}$

$R_S = R_1 + R_2 + R_3$

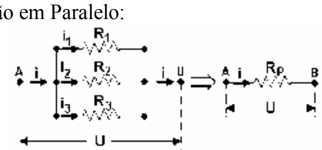
Se tivermos "n" resistores iguais, cuja resistência de cada um vale "R", todos ligados em série, a expressão acima transforma-se em:

$R_S = n \cdot R$

A resistência equivalente em série é sempre maior do que a de qualquer resistência da associação.

A maior resistência dissipa a maior potência elétrica.

- Associação em Paralelo:



Numa associação em paralelo observa-se que:

PROF. PAULO ÊNIO

$\mathbf{i = i_1 + i_2 + i_3}$

$\mathbf{U = U_1 = U_2 = U_3}$

$$\frac{1}{R_P} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Se tivermos “2” resistores quaisquer de resistências R_1 e R_2.

$$R_P = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{\text{produto}}{\text{soma}}$$

Se tivermos “n” resistores iguais, cuja resistência de cada vale “R”, ligados em paralelo, à expressão para o cálculo da resistência equivalente fica:

$$R_P = \frac{R}{n}$$

A resistência equivalente é menor do que a menor das resistências da associação.

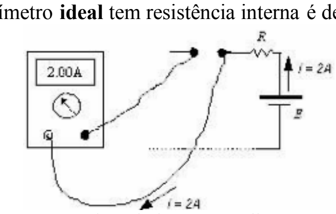
Através da menor resistência passa a maior corrente, e através da maior resistência passa a menor corrente.

A menor resistência dissipa a maior potência elétrica.

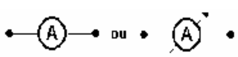
Aparelhos Elétricos

- Amperímetro:

Um amperímetro **ideal** tem resistência interna é desprezível.

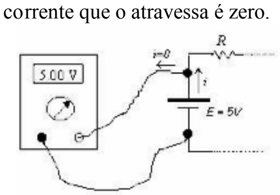


Se um amperímetro é instalado para medir corrente elétrica, *ele deve ser ligado em série no circuito*, para que desse modo sua instalação modifique o mínimo possível a resistência do circuito.

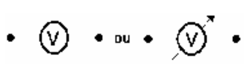


- Voltímetro:

O voltímetro **ideal** tem resistência interna infinita, por isso a intensidade da corrente que o atravessa é zero.

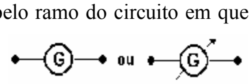


Se um voltímetro é instalado para medir a tensão, *ele deve ser ligado em paralelo no circuito*, para que desse modo sua instalação modifique o mínimo possível a resistência do circuito.



- Galvanômetro:

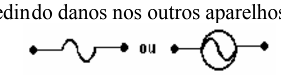
São amperímetros muito sensíveis, utilizados para medir correntes muito pequenas. São úteis em circuitos como o da Ponte de Wheatstone, onde não há interesse no valor da intensidade da corrente, mas na verificação de que ela não esteja passando pelo ramo do circuito em que o galvanômetro está inserido:



Pode acontecer de num circuito o amperímetro ou o voltímetro ou o galvanômetro não serem ideal, dessa maneira eles vão alterar um pouco o circuito, e vocês vão ter que resolver o problema considerando a resistência do aparelho.

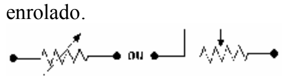
- Fusível:

O fusível é um dispositivo de segurança que deve ser colocado em série nos circuitos, pois, quando a corrente elétrica se torna elevada, eles se fundem, causando a interrupção da corrente elétrica e impedindo danos nos outros aparelhos.



- Reostato:

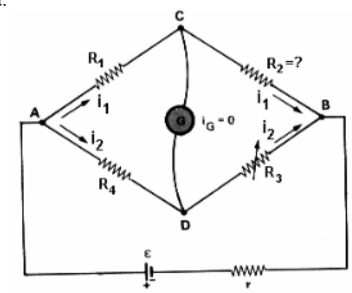
O reostato é uma importante aplicação da 2ª Lei de Ohm. Trata-se de um resistor no qual a resistência elétrica é variável com o movimento de um cursor sobre uma base com fio enrolado.



Aplicações

- Ponte de Wheatstone:

É uma montagem especial para medir o valor de uma resistência.



$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$$

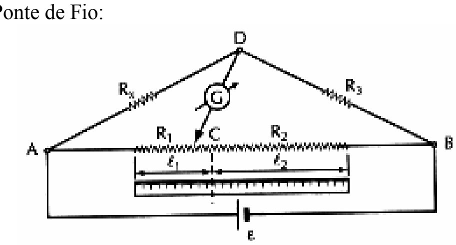
Só poderemos aplicar a relação acima se na questão vier dizendo que a ponte está em equilíbrio, ou uma das três afirmações a seguir:

-A corrente que passa no galvanômetro é nula ($i_G = 0$);

-A diferença de potencial entre os pontos C e D é nula ($U_{CD} = 0 \rightarrow V_C - V_D = 0$);

- O potencial de C é igual ao potencial de D ($V_C = V_D$).

- Ponte de Fio:



Faz-se variar o cursor C em cima do fio AB até que o galvanômetro indique zero, quando isso acontece dizemos que a ponte está em equilíbrio logo vale a seguinte relação:

$$R_X \cdot R_2 = R_3 \cdot R_1$$

Utilizando a 2ª Lei de Ohm, podemos escrever que:

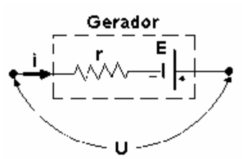
$$\mathbf{R}_X \cdot \ell_2 = \mathbf{R}_3 \cdot \ell_1$$

Só poderemos aplicar a relação acima se a ponte estiver em equilíbrio.

COLÉGIO LUCIANO FEIJÃO
Av. Dom José Tupinambá da Frota, 325 Centro - Sobral - CE Cep: 60.050-070
CNPJ: 09.533.217/0001-31 Fona/Fax: (88) 3611.5544
SITE: www.lucianofeijao.com.br

Geradores e Receptores

- Geradores:



- É um dispositivo elétrico que transforma energia de algum tipo em energia elétrica.

$E_U = E_G - E_D$

$Pot_U = Pot_G - Pot_D$

Onde:

$Pot_G = E \cdot i$

$Pot_D = r \cdot i^2$

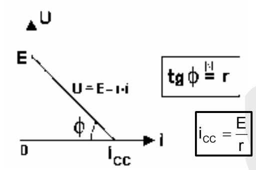
$Pot_U = U \cdot i$

- Equação do Gerador:

$U = E - r \cdot i$

Um gerador é dito ideal quando sua resistência interna for nula ($r = 0$).

- Graficamente:



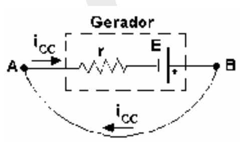
- Rendimento:

$\eta = \dfrac{Pot_U}{Pot_G}$ $\qquad \eta = \dfrac{U}{E}$

- Gerador em aberto:

$U = E - r \cdot i \xrightarrow{i=0} U = E$

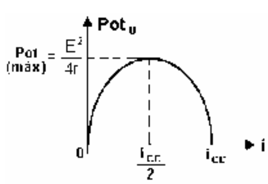
- Gerador em curto – circuito:



$U_{AB} = E - r \cdot i \xrightarrow{U_{AB}=0} \quad i_{CC} = \dfrac{E}{r}$

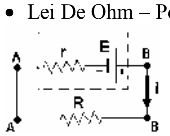
- Máxima potência transferida por um gerador a um circuito:

$Pot_U \to máx. \Rightarrow R_{equiv.} = r$



$$Pot_U \to máx \begin{cases} i = \dfrac{i_{CC}}{2} = \dfrac{(E/r)}{2} \to i = \dfrac{E}{2r} \\ U = E - r \cdot i \xrightarrow{i=\frac{E}{2r}} U = \dfrac{E}{2} \\ \eta = \dfrac{U}{E} = \dfrac{\cancel{E}/2}{\cancel{E}} \to \eta = 0{,}5 = 50\% \end{cases}$$

- Lei De Ohm – Pouillet:



$i = \dfrac{E}{R_{equiv.} + r}$

Associação de geradores:

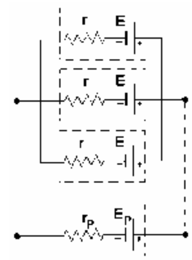
- Associação em série:

$E_S = E_1 + E_2 + E_3$

$r_S = r_1 + r_2 + r_3$

- Associação em paralelo:

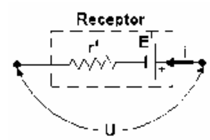
Só abordaremos a associação em paralelo de geradores rigorosamente iguais. Geradores diferentes em paralelo causariam perdas inúteis de energia com correntes circulando entre os mesmos sem realização de trabalho eficiente.



$E_P = E \qquad r_P = \dfrac{r}{n}$

Receptores:

Denomina-se receptor elétrico ao dispositivo capaz de transformar energia elétrica em outra forma de energia que não seja exclusivamente térmica.



$Pot_T = Pot_U + Pot_D$

Onde:

$Pot_U = E' \cdot i$

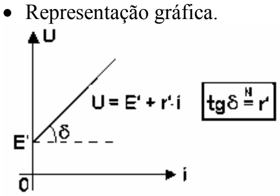
$Pot_D = r' \cdot i^2$

$Pot_T = U \cdot i$

- Eq. do receptor

$U = E' + r' \cdot i$

- Representação gráfica.

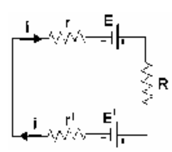


Note que a corrente elétrica através de um receptor caminha do pólo positivo para o pólo negativo, diferentemente de um gerador.

- Rendimento:

$\eta = \dfrac{Pot_U}{Pot_T} \qquad \eta = \dfrac{E'}{U}$

- Circuito Gerador – Receptor:



$i = \dfrac{E - E'}{R + r + r'}$

$i = \dfrac{\sum E - \sum E'}{\sum R + \sum r + \sum r'}$

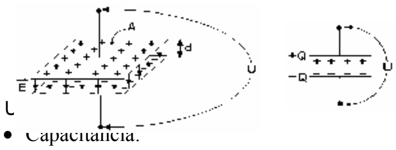
Capacitores e Complementos

Denomina-se *capacitor* ou *condensador* um conjunto de condutores e dielétricos (isolantes) convenientemente

COLÉGIO LUCIANO FEIJÃO
Av. Dom José Tupinambá da Frota, 325 Centro – Sobral – CE Cep: 60.050-070
CNPJ: 09.533.217/0001-31 Fona/Fax: (88) 3611.5544
SITE: www.lucianofeijao.com.br

arranjados de maneira a armazenar a máxima quantidade de carga elétrica possível.

- Capacitor de placas planas e paralelas



- Capacitância:

$C = \dfrac{Q}{U}$ $\qquad$ $C = \varepsilon \cdot \dfrac{A}{d}$

-A capacitância de um capacitor está relacionada com a capacidade que ele tem de armazenar carga nas suas placas, por isso que a capacitância também é conhecida como capacidade.

-A capacitância é uma constante do capacitor. Varia de capacitor para capacitor em função de sua geometria e do dielétrico utilizado. Não depende de sua carga e tensão, do mesmo modo que a capacidade de um reservatório de água não depende do fato de ele ter pouca, bastante ou nenhuma água.

-Um capacitor pode ser descarregado através de um fio condutor, que é ligado entre suas armaduras; os elétrons em excesso em uma delas passam para a outra, ficando ambas as placas neutras.

-Um capacitor também pode ser descarregado quando submetido a um campo elétrico muito intenso capaz de fazer com que o meio dielétrico que existe entre ele se torne condutor, descarregando as placas. Por isso cada dielétrico possui um valor máximo de campo elétrico que ele suporta sem tornar-se um condutor, e esse valor de campo elétrico máximo é chamado de *rigidez dielétrica* do meio.

-Normalmente o dielétrico utilizado é o ar ou não existe meio material entre as placas (vácuo), mas pode acontecer de se colocar um outro material dielétrico entre as placas do capacitor.

-Na figura de um capacitor colocada anteriormente, as placas eram quadriláteros, mas elas podem ter qualquer formato, contanto que as duas sejam iguais.

-Um capacitor é representado mediante o seguinte esquema:

- Unidades:

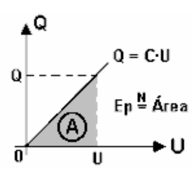
$1\text{farad} = \dfrac{1\text{coulomb}}{1\text{volt}} \Rightarrow 1F = \dfrac{1C}{1V}$

-Submúltiplos:

milifarad	mF	10^{-3}F
microfarad	μF	10^{-6}F
nanofarad	nF	10^{-9}F
picofarad	pF	10^{-12}F

- Energia potencial elétrica armazenada entre as placas de um capacitor

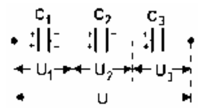
A energia potencial elétrica armazenada nas placas é medida pelo trabalho elétrico, quando a carga Q passa de uma armadura para outra, descarregando o capacitor. Ocorre que, durante essa operação, a tensão no capacitor diminui de U até zero.



$Ep = \dfrac{Q \cdot U}{2}$ $\qquad$ $Ep = \dfrac{C \cdot U^2}{2}$ $\qquad$ $Ep = \dfrac{Q^2}{2 \cdot C}$

Associação de capacitores

- Em série:



$Q_1 = Q_2 = Q_3$

$U = U_1 + U_2 + U_3$

$\dfrac{1}{C_S} = \dfrac{1}{C_1} + \dfrac{1}{C_2} + \dfrac{1}{C_3}$

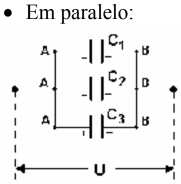
-Para dois capacitores

$C_S = \dfrac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \dfrac{\text{produto}}{\text{soma}}$

-Para "n" capacitores todos iguais

$C_S = \dfrac{C}{n}$

- Em paralelo:



$U_1 = U_2 = U_3$

$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$

$C_P = C_1 + C_2 + C_3$

- Capacitor com um dielétrico entre as placas:

$C = \kappa \cdot \varepsilon_o \cdot \dfrac{A}{d}$

Ao se introduzir um dielétrico entre as placas de um capacitor, o campo elétrico que ali existe é enfraquecido, logo podemos escrever:

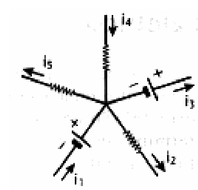
$E = \dfrac{E_O}{\kappa}$

Redes Elétricas:

Leis de Kirchhoff

- 1ª lei: Lei dos nós

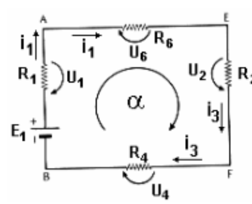
A soma das intensidades de corrente que chegam a um nó é igual à soma das intensidades de correntes que deixam o nó.



$i_1 + i_4 = i_2 + i_3 + i_5$

- 2ª lei: Lei das malhas

Percorrendo-se uma malha, num mesmo sentido, a soma algébrica das tensões encontradas em cada elemento do circuito é nula.



malha α – BAEF

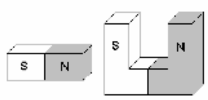
$E_1 - U_1 - U_6 - U_2 - U_4 = 0 \rightarrow$

$\rightarrow E_1 - R_1.i_1 - R_6.i_1 - R_2.i_3 - R_4.i_3 = 0$

COLÉGIO LUCIANO FEIJÃO
Av. Dom José Tupinambá da Frota, 325 Centro - Sobral - CE Cep: 60.050-070
CNPJ: 09.533.217/0001-31 Fona/Fax: (88) 3611.5544
SITE: www.lucianofeijao.com.br

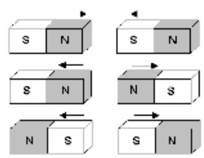
Eletromagnetismo

Ímãs



Pólos magnéticos diferentes se atraem e pólos magnéticos iguais se repelem.

Quando dividimos um ímã em partes, cada uma das partes passa a se comportar como um novo ímã, ou seja, cada parte possui um pólo norte e um pólo sul. ”*É impossível ter um ímã, ou qualquer objeto magnetizado, que possua apenas o pólo norte, ou apenas o pólo sul* ”.

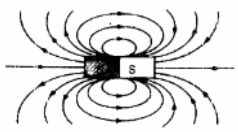


- Magnetismo Terrestre:

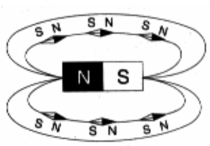
A Terra se comporta como um enorme ímã, com pólos magnéticos norte e sul.

Observe que o norte magnético está próximo do sul geográfico e o sul magnético está próximo do norte geográfico.

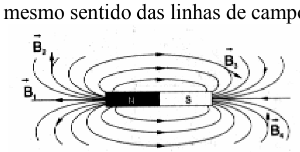
- Campo Magnético:



A orientação sul – norte do eixo de agulhas imantadas colocadas no plano do ímã é a orientação das linhas do campo magnético do ímã.



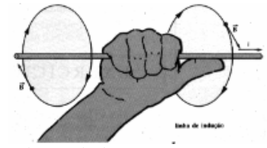
- Vetor indução magnética ou vetor campo magnético, sempre tangente e no mesmo sentido das linhas de campo:



Na figura anterior, onde as linhas de indução do campo magnético são mais próximas o campo magnético é mais intenso e onde as linhas de indução são mais afastadas, o campo magnético é mais fraco.

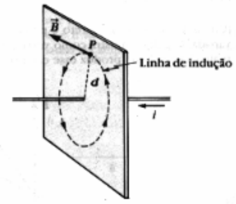
- Campo Magnético criado por um Condutor Retilíneo e Infinito, percorrido por uma Corrente Elétrica:

1ª regra da mão direita



O campo magnético criado por uma corrente elétrica que atravessa um fio retilíneo e infinito, é tanto maior quanto mais intenso for a corrente elétrica, e enfraquece à medida que nos afastamos do fio.

- Características do vetor campo magnético $\vec{B}$:



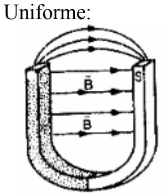
Módulo: $B = \frac{\mu_o}{2\pi} \cdot \frac{i}{d}$

Direção: perpendicular ao plano que contém o condutor e o segmento “d”.

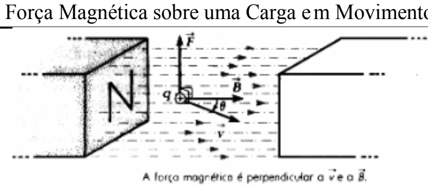
Sentido: Dado pela 1ª Regra da Mão Direita.

Onde: $\mu_o = 4\pi.10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$

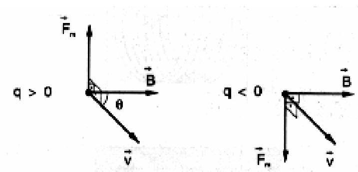
- Campo Magnético Uniforme:



Força Magnética sobre uma Carga em Movimento:



Onde:

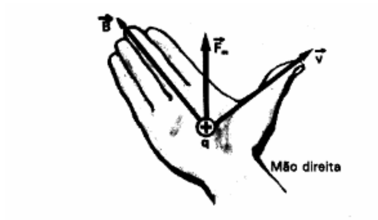


-Módulo: $F_m = |q| \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\theta$

-Direção: perpendicular ao $\vec{B}$ e ao $\vec{v}$

-Sentido: dado pela regra da mão direita espalmada (2ª regra da mão direita):

COLÉGIO LUCIANO FEIJÃO
Av. Dom José Tupinambá da Frota, 325 Centro - Sobral - CE Cep: 60.050-070
CNPJ: 09.533.217/0001-31 Fona/Fax: (88) 3611.5544
SITE: www.lucianofeijao.com.br



O polegar aponta o sentido de $\vec{v}$.
Os outros dedos apontam o sentido de $\vec{B}$.
A força sai da palma da mão.

-Quando a carga for negativa, o sentido do vetor força magnética, será contrário ao indicado pela regra da mão direita espalmada, ou então, faz-se com a mão esquerda.

-Algumas vezes teremos que trabalhar com vetores saindo do plano do papel ou entrando no plano do papel, para isso precisamos conhecer alguns símbolos para podermos representar tais vetores:

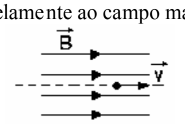
⊗ → **"vetor entrando"** no papel

⊙ → **"vetor saindo"** do papel

-Uma carga elétrica imersa em um campo magnético, só sofre influência desse campo se ela estiver em movimento, ou seja, uma força magnética só vai atuar nessa carga se a sua velocidade for diferente de zero. Mas esse não é o único fator dominante, o ângulo que o vetor velocidade faz com o vetor campo magnético também influencia no aparecimento dessa força magnética, como veremos a seguir.

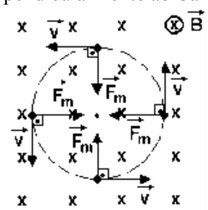
- Comportamento de uma carga lançada no interior de um Campo Magnético Uniforme:

-Carga lançada paralelamente ao campo magnético:



Como $\theta = 0$ → $\text{sen}\theta = 0$ → $F_m = 0$, ou seja, a carga elétrica não sofre a influência do campo magnético e sua trajetória é retilínea e o movimento é uniforme (v = const.).

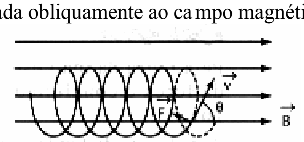
- Carga lançada perpendicularmente ao Campo Magnético:



Como $\theta = 90^o$ → $F_m = q.v.B$, e esta força magnética como sempre será perpendicular ao vetor velocidade, será a resultante centrípeta que atuará na carga ($F_m = F_{cp}$), logo a sua trajetória será circular e o raio R dessa trajetória, bem como o período (T) de revolução, será dado, respectivamente por:

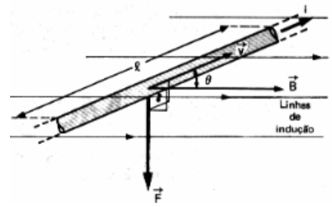
$$R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B} \qquad T = \frac{2\pi \cdot m}{q \cdot B}$$

- Carga lançada obliquamente ao campo magnético:



Sua trajetória forma uma figura denominada hélice cilíndrica

- Força magnética sobre um condutor retilíneo percorrido por uma corrente e imerso em um campo magnético uniforme:



Módulo: $F = B.i.l.\text{sen}\,\theta$

Direção: perpendicular ao plano determinado por $\vec{B}$ e i.

Sentido: Dado pela 3ª regra da mão direita:

- Casos particulares:

-Se **i** for paralela a $\vec{B}$, teremos:

$\theta = 0$ ou 180^o → $\text{sen}\,\theta = 0$ → $F = 0$

-Se **i** for perpendicular $\vec{B}$, teremos:

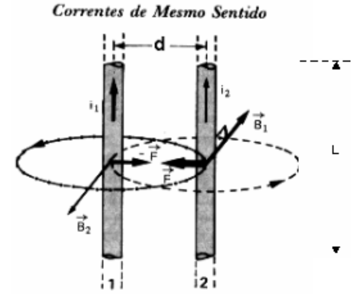
$\theta = 90^o$ → $\text{sen}\,\theta = 1$ → $F = B.i.l$

- Força magnética entre dois fios paralelos:

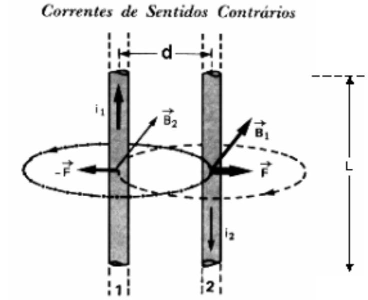
$$F = \frac{\mu_o}{2\pi} \cdot \frac{i_1 \cdot i_2}{d} \cdot L$$

Se as correntes elétricas tiverem o mesmo sentido, a força será de atração; se tiverem sentidos contrários, a força será de repulsão.

Correntes de Mesmo Sentido



Correntes de Sentidos Contrários



COLÉGIO LUCIANO FEIJÃO
Av. Dom José Tupinambá da Frota, 325 Centro - Sobral - CE Cep: 60.050-070
CNPJ: 09.533.217/0001-31 Fona/Fax: (88) 3611.5544
SITE: www.lucianofeijao.com.br

Física Moderna

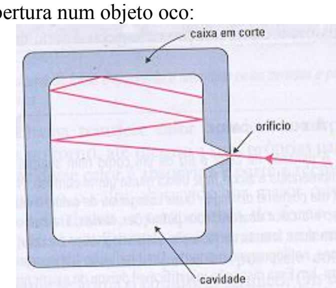
A radiação térmica dos corpos.

No século XIX, inúmeras tentativas foram realizadas para encontrar uma lei que relacionasse a temperatura e o comprimento de onda com a quantidade de energia irradiada pelos corpos aquecidos.

Já se sabia que os corpos emitem continuamente ondas eletromagnéticas cujas intensidades dependem da temperatura, ou seja, um corpo em qualquer temperatura emite radiações eletromagnéticas. Por estarem relacionadas com a temperatura em que o corpo se encontra, freqüentemente são chamadas radiações térmicas. Por exemplo, "sentimos" a emissão de um ferro elétrico ligado, mas não enxergamos as ondas por ele emitidas. É que em baixas temperaturas a maior taxa de emissão está na faixa do infravermelho. Assim aumentando-se gradativamente a temperatura de um corpo, ele começa a emitir luz visível, de início a luz vermelha, passando a seguir para a amarela, a verde, a azul e, em altas temperaturas, a luz branca, chegando à região do ultravioleta do espectro eletromagnético. No entanto as freqüências das ondas emitidas dependem apenas da temperatura, não importando de que é feito o material ou qualquer outra propriedade ou característica.

Para o estudo das radiações emitidas foi idealizado um corpo, denominado corpo negro.

O modelo prático mais simples de um corpo negro é o de uma pequena abertura num objeto oco:



Qualquer radiação que entra vai sendo refletida e absorvida nas paredes e acaba por ser completamente absorvida. Se o objeto oco for aquecido por uma fonte de calor no seu interior, há emissão de radiação pelo orifício.

Importante: Nesse modelo, é a abertura que constitui o corpo negro. O corpo negro absorve toda radiação que nele incide, isto é, sua absorvidade é igual a 1 (a = 1) e sua refletividade é nula (r = 0), decorrendo deste último fato seu nome (negro). O corpo negro não tem cor à reflexão, mas pode ter cor à emissão. Todo absorvente é bom emissor. Logo, o corpo negro, além de absorvedor ideal, é também um emissor ideal. Sua emissividade é igual a 1 (e = 1). Um corpo negro, independentemente do material com que é confeccionado, emite radiações térmicas com a mesma intensidade, a uma dada temperatura e para cada comprimento de onda. Daí decorre o uso do corpo negro para o estudo das radiações emitidas. Através do orifício tem-se a emissão de radiação por aquecimento. O estudo das relações entre o calor absorvido e o calor emitido é regido por duas leis (as leis da radiação de Kirchhoff).

Primeira Lei – a razão entre o poder emissivo (e) e o poder absorvido de um corpo e/a, é função da freqüência da radiação e da temperatura.

Segunda Lei – para determinada temperatura (T) e freqüência, a razão I entre o poder emissivo (e) e o poder absorvido (a), I = e/a, é a mesma para todos os corpos.

Se a = 100% da radiação incidente, emitira e = 100% (corpo negro).

Dois físicos estudaram o corpo negro onde se estabeleceu uma lei. A Lei de Stefan – Boltzmann:

- Para o corpo negro.

$P = \sigma S T^4$ ou $I = \sigma T^4$

P = Potência

σ = constante de Boltzmann.

($\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$)

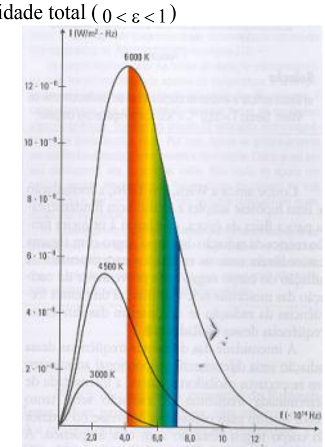
S = Área

T = temperatura.

- Para o corpo não negro.

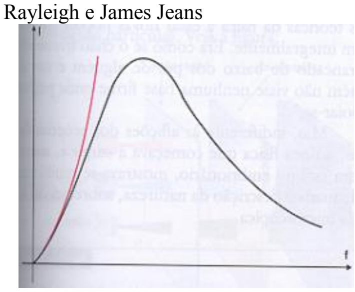
$P = \varepsilon \sigma S T^4$ ou $I = \varepsilon \sigma T^4$

ε = emissividade total ($0 < \varepsilon < 1$)



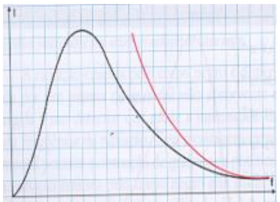
$$Área = I_{Total} = \sigma T^4$$

- Jeans Rayleigh e James Jeans



Comparação entre a curva experimental da intensidade da radiação do corpo negro em função da freqüência (linha preta) e a curva teórica prevista pela expressão de Rayleigh - Jeans (curva vermelha)

- Wien



Comparação entre a curva experimental da intensidade da radiação do corpo negro em função da freqüência (linha preta) e a curva teórica prevista pela expressão de Wien (curva vermelha)

Também, Wien encontrou lei empírica, a lei do Deslocamento de Wien, que relacionava a temperatura e a freqüência máxima da luz emitida pelo corpo aquecido:

$$f_{\mathrm{I\,máx}} = 1{,}01 \cdot 10^{11} \cdot T$$

ou

$$\lambda_{\mathrm{I\,máx}} T = 2{,}898 \cdot 10^{-3} m \cdot K$$

Princípio da Física Quântica

Em 1900 Max Planck formulou uma teoria conhecida como a teoria dos quanta.

"A radiação emitida pelo corpo negro não ocorre de maneira contínua, mas sim na forma de pequenos pacotes, de modo que a energia (E) de cada pacote seja proporcional à freqüência (f) da radiação".

$E = h \cdot f$

onde:

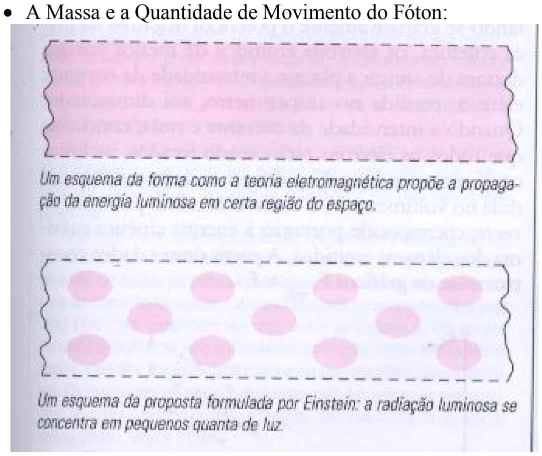
$h = 6{,}63 \cdot 10^{-34} J \cdot s$ ou $h = 4{,}14 \cdot 10^{-15} eV \cdot s$

Para converter os eV em J (Joule) , o valor em eV deve ser multiplicado por $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J, que por definição 1eV (elétron-volt) é a energia que um elétron recebe ao ser acelerado por meio de uma diferença de potencial $U_{AB} = V_A - V_B = 1$ V.

- O Fóton:

A radiação se comportava como se fosse composta de pacotes. Einstein chamou cada pacote de ***quantum*** (plural ***quanta***). Mais tarde, cada quantum foi chamado de ***fóton***, por sugestão do químico americano G. N. Lewis.

- A Massa e a Quantidade de Movimento do Fóton:

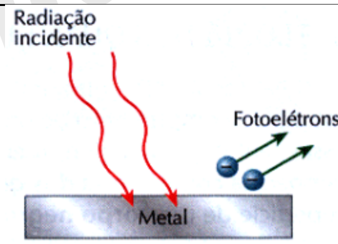


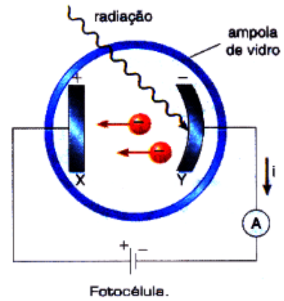
O fóton não existe em repouso e, portanto, não tem massa de repouso. Porém, como possui energia, podemos atribuir a ele uma massa dada pela equação de Einstein:

$E = m \cdot c^2 \Rightarrow m = \dfrac{E}{c^2}$ $\quad m = \dfrac{h \cdot f}{c^2}$

$Q = m \cdot \mathbf{v}$ $\quad Q = \dfrac{h \cdot f}{c}$

Efeito Fotoelétrico





Quando algumas radiações eletromagnéticas incidem numa placa metálica, elétrons podem absorver energia suficiente para escaparem dela: a esse fato se dá o nome de ***efeito fotoelétrico***, e os elétrons extraídos são chamados de ***fotoelétrons*** ou ***fotelétrons***. O efeito fotoelétrico pode ser observado usando o dispositivo esquematizado abaixo, chamado de fotocélula. Duas placas X e Y são colocadas no interior de uma ampola de vidro, no interior da qual foi feito vácuo. A radiação incide na placa Y.

- A Física Clássica não explicava três problemas:

- Problema da freqüência – quando a freqüência é maior ou igual a um valor mínimo chamado de freqüência de corte o efeito sempre ocorre.

- Problema do tempo – o momento que a radiação atinge o metal e o momento em que o elétron escapa é extremamente curto, para uma determinada freqüência.

- Problema da intensidade – independe da intensidade da luz.

Para o elétron escapar de metal, é necessário que ele tenha uma quantidade mínima de energia para vencer os choques com os átomos vizinhos e a atração elétrica dos núcleos desses átomos. A energia mínima necessária para um elétron escapar do metal corresponde a um trabalho W_f, denominado ***função trabalho*** do metal.

$$E_C = h \cdot f - W_f$$

O valor desse trabalho é característico para cada metal. Na tabela abaixo,

Metal	W_f (eV)
Sódio	2,28
Alumínio	4,08
Zinco	4,31
Ferro	4,50
Prata	4,73

Considerando a freqüência mínima (f_0) na qual o elétron escapará, podemos escrever:

$$E_{C_{MAXIMA}} = h(f - f_0)$$

Sendo:

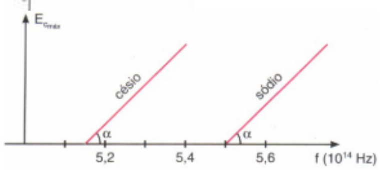
-Valores menores que a energia para extrair, não há emissão.

-Acima da freqüência de corte sempre ocorre o efeito fotoelétrico.

-Cada elétron absorve apenas um fóton.

-Quanto maior o trabalho para arrancar o elétron, menor será sua energia cinética.

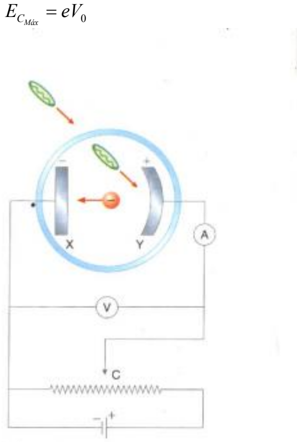
-Independente do tempo em que à radiação que seja emitida para ele.



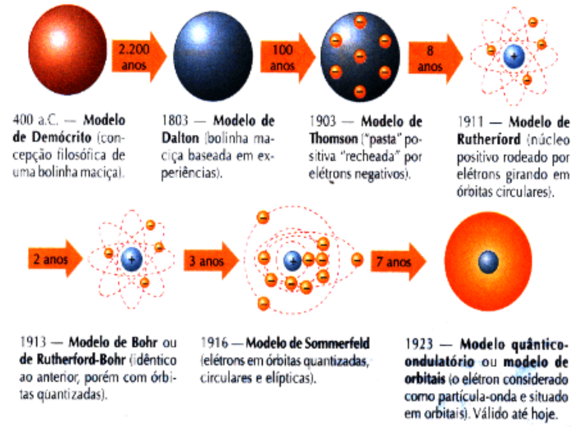
- Potencial de corte:

Alterando até A indicar i = 0, os elétrons mais energéticos não chegaram à placa x, temos ddp chamada potenc ial de corte (V_0).

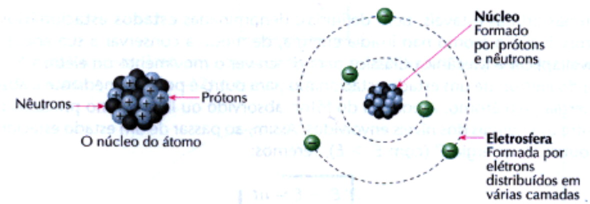
$$E_{C_{Máx}} = eV_0$$



Evolução dos modelos atômicos:



- O modelo atômico de Rutherford



Modelo atômico planetário de Rutherford.

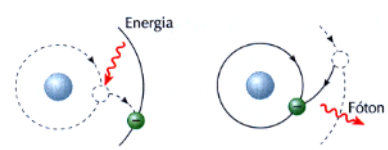
- O Átomo de Bohr:

Nos átomos, os elétrons encontram-se em vários níveis de energia. Os que estão mais próximos do núcleo encontram-se nos níveis de energia mais baixos, enquanto os que estão mais afastados encontram-se em níveis mais altos de energia.

Bohr postulou:

1° Postulado – cada elétron só pode ocupar determinada órbita de ordem $n_{inicial}$ com uma energia E_{ni}, onde permanece indefinidamente, sem emitir radiação.

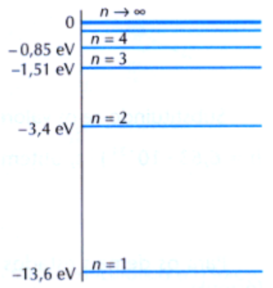
2°Postulado – a radiação eletromagnética é emitida ou absorvida quando o elétron faz uma transição de uma órbita estacionária a outra. Portanto, quando um elétron passa de um nível de energia para outro, a energia perdida ou ganha, é emitida ou absorvida sob a forma de um único fóton de freqüência *f*.



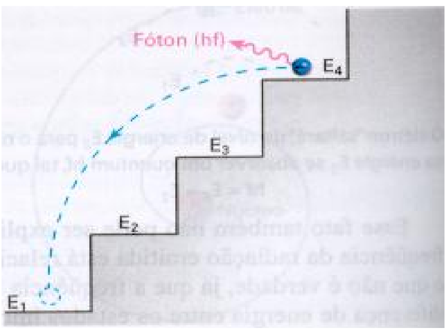
A energia absorvida inicialmente é emitida quando o elétron retorna ao nível anterior.

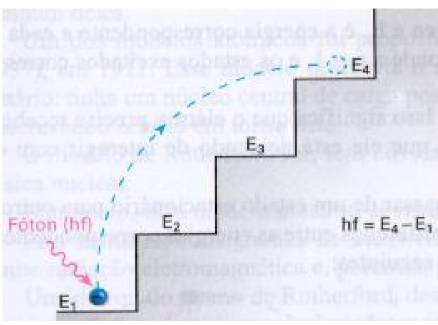
A energia mecânica total E_n do elétron do n-ésimo estado estacionário é calculada pela fórmula de Bohr:

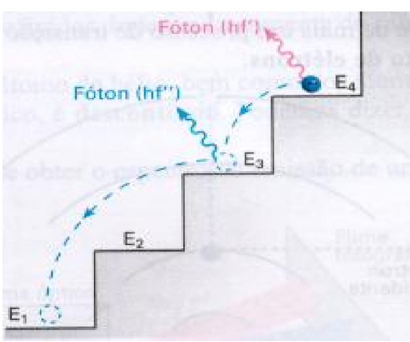
$$E_n = -\frac{13,6}{n^2}$$



Níveis de energia (n) de um elétron num átomo de hidrogênio.



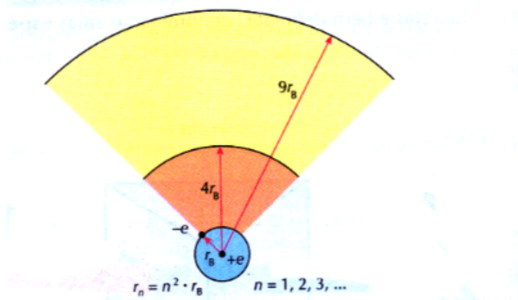




Sendo o raio dado por:

$r_n = n^2 \cdot r_B$

$r_B = 5{,}3 \cdot 10^{-11}$m = 0,53Å



As três primeiras órbitas estacionárias do átomo de hidrogênio.

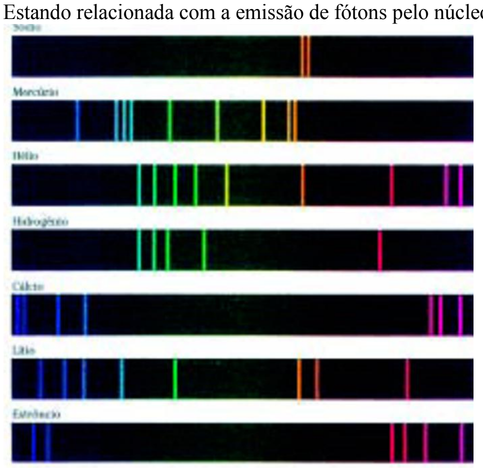
Atenção: A fórmula de Bohr, embora não aplicável em todos os casos, tem sua importância, pois prevê com magnífica precisão os níveis de energia para o átomo de hidrogênio e também para sistemas hidrogenóides, isto é, íons com apenas um elétron em torno do núcleo. Nesses casos, fórmula de Bohr fica:

$$E = -\frac{13{,}6 \cdot Z^2}{n^2} \text{ (eV)}$$

Onde Z é o número atômico do íon.

- Espectroscopia

A Espectroscopia é um ramo da fisica que estuda a emissão e absorção de ondas eletromagnéticas pelo átomo dos materiais. Estando relacionada com a emissão de fótons pelo núcleo.



Balmer obteve uma fórmula empírica que fornecia os comprimentos de onda do espectro visível, que foi denominada série de Balmer.

A fórmula de Balmer é:

$$f = R\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$$

Onde:

$R = 3{,}29 \cdot 10^{-15} s^{-1}$.

Para: $n_f \geq 3$ para $n_i = 2$.

Posteriormente, outras séries foram descobertas, mas todos fora da região visível do espectro eletromagnético.

Na região do ultravioleta → série de Lyman ($n_f \geq 2$ e $n_i = 1$)

Na região do infravermelho tem as seguintes séries:

-Paschen $n_f \geq 4$ para $n_i = 3$.

-Brackett $n_f \geq 5$ para $n_i = 4$.

COLÉGIO LUCIANO FEIJÃO
Av. Dom José Tupinambá da Frota, 325 Centro - Sobral - CE Cep: 60.050-070
CNPJ: 09.533.217/0001-31 Fona/Fax: (88) 3611.5544
SITE: www.lucianofeijao.com.br

-Pfund $n_f \geq 6$ para $n_i = 5$.
Segundo os conceitos de Bohr, temos:

$$E = E_i - E_f \Rightarrow hf = 13{,}6\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$$

Dualidade Onda-Partícula:

A teoria de Bohr explica apenas o átomo de hidrogênio. Para outros átomos, vamos usar a equação proposta por De Broglie:

$$\lambda = \frac{h}{Q}$$

A condição de estabilidade do elétron pode ser escrita como:

$$n\,\lambda\,h = 2\pi\,r_n$$

- Princípio da Incerteza:

É impossível medir simultaneamente e com precisão arbitrária a posição e a quantidade de movimento de uma partícula. Sendo Δx a incerteza na posição e ΔQ a incerteza na quantidade de movimento, temos:

$$(\Delta x)\cdot(\Delta Q) \geq \frac{h}{4\pi}$$

Onde uma grande precisão na medida da posição teremos pequena precisão na medida da quantidade de movimento, e vice-versa.
Há também o princípio da incerteza para Energia e tempo:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{4\pi}$$

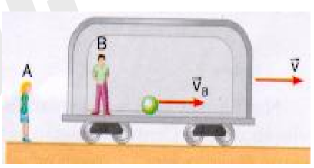
A Teoria da Relatividade:

A Teoria da Relatividade foi criada pelo físico alemão Albert Einstein (1879 – 1955) em duas etapas: em 1905 ele publicou um trabalho que mais tarde ficou conhecido pelo nome de Teoria da Relatividade Especial (ou Restrita), que trata do movimento uniforme, considerando referenciais necessariamente inerciais; e em 1915, publicou a Teoria da Relatividade Geral, que trata do movimento acelerado e da gravitação, tendo em vista referencias não-inerciais.

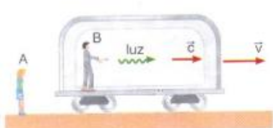
- Postulados da Teoria da Relatividade Restrita:

1º Postulado
As leis da Física são as mesmas, expressas por equações que têm a mesma forma, em qualquer referencial inercial. Não existe um referencial inercial privilegiado.
2ºPostulado
A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor c (c = 300 000 km/s) em relação a qualquer referencial inercial.
Assim:

Física Clássica
-para B: V_B
-para A: $V_B + v$



Relatividade
-para A: c
-para B: c (não c+ v)



- Dilatação do Tempo:

Um relógio que está em um referencial que se move em relação a nós "anda" mais devagar que o nosso relógio.

O intervalo de tempo $\Delta t'$, em que os dois eventos (emissão e recepção da luz) ocorrem no mesmo local, é chamado de ***tempo próprio***. Para qualquer outro referencial inercial o intervalo de tempo (Δt) é maior que o tempo próprio.

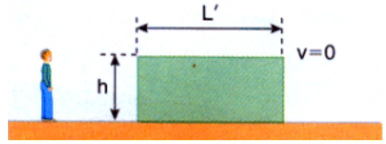
$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

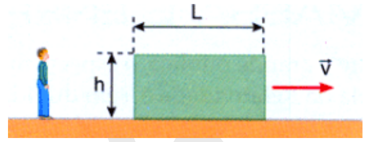
Onde:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-(c)^2}} \quad \text{(fator de Lorentz)}$$

$$\Delta t = \gamma \Delta t'$$

Relatividade do Comprimento





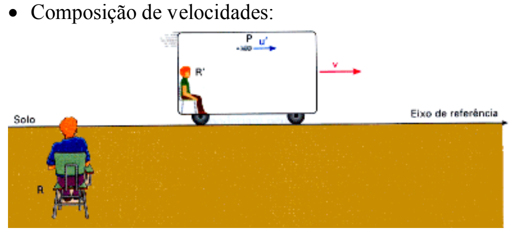
Einstein mostrou que, quando se move com velocidade $\vec{V}$ (em relação a esse mesmo observador) na mesma direção em que foi medido o comprimento, esse objeto apresenta um comprimento L tal que:

$$L = L'\cdot\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$L = \frac{L'}{\gamma}$$

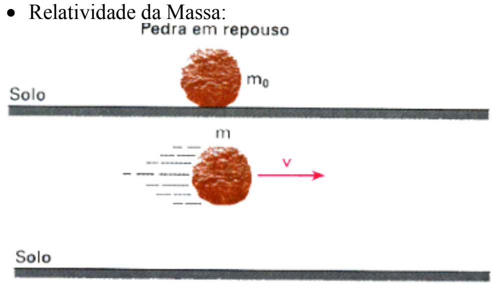
Observe que o comprimento h não se altera.

- Composição de velocidades:



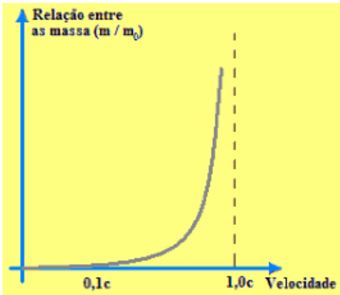
$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{vu'}{c^2}}$$

- Relatividade da Massa:



COLÉGIO LUCIANO FEIJÃO
Av. Dom José Tupinambá da Frota, 325 Centro - Sobral - CE Cep: 60.050-070
CNPJ: 09.533.217/0001-31 Fona/Fax: (88) 3611.5544
SITE: www.lucianofeijao.com.br

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{\mathbf{v}^2}{c^2}}}$$



A massa aumenta com a velocidade. Porém, a velocidade **v** não pode atingir (nem superar) o valor de ***c***.

- Massa e Energia:

A ***massa inercial*** de um corpo varia toda vez que esse corpo ganha ou perde energia, qualquer que seja o tipo de energia. Se um corpo receber uma quantidade de energia ΔE, sua massa inercial terá um aumento Δm dado por:

$$\Delta E = (\Delta m) \cdot c^2$$

- A Massa e a Quantidade de Movimento do Fóton:

$$E^2 = Q^2 \cdot c^2 + m_0^2 \cdot c^4$$

O fóton não existe em repouso e, portanto, não tem massa de repouso. Porém, como possui energia, podemos atribuir a ele uma massa dada pela equação de Einstein:

$$E = Q \cdot c$$

- Relação entre a velocidade e o fator de Lorentz:

-Para:

$$\mathbf{v} = 0,8c \Rightarrow \gamma = \frac{10}{6}$$

-Para:

$$\mathbf{v} = 0,6c \Rightarrow \gamma = \frac{10}{8}$$

- Efeito Doppler Relativístico:

$$f = f_0 \sqrt{\frac{c \pm \mathbf{v}}{c \mp \mathbf{v}}}$$

- Para a aproximação da fonte, temos:

$$\frac{c + \mathbf{v}}{c - \mathbf{v}}.$$

Isso mostra que, quando a fonte se aproxima de um observador, a freqüência f observada é maior do que a freqüência emitida f_0.

- Para o afastamento da fonte, temos:

$$\frac{c - \mathbf{v}}{c + \mathbf{v}}.$$

Se a fonte se afasta do observador, trocamos o sinal de v da equação acima.

- Unidades de Massa e Energia:

$$e = 1,6021773 \cdot 10^{-19} C$$

$$1eV = 1,6021773 \cdot 10^{-19} J$$

COLÉGIO LUCIANO FEIJÃO
Av. Dom José Tupinambá da Frota, 325 Centro - Sobral - CE Cep: 60.050-070
CNPJ: 09.533.217/0001-31 Fona/Fax: (88) 3611.5544
SITE: www.lucianofeijao.com.br

COLÉGIO LUCIANO FEIJÃO
Av. Dom José Tupinambá da Frota, 325 Centro - Sobral - CE Cep: 60.050-070
CNPJ: 09.533.217/0001-31 Fona/Fax: (88) 3611.5544
SITE: www.lucianofeijao.com.br

COLÉGIO LUCIANO FEIJÃO
Av. Dom José Tupinambá da Frota, 325 Centro - Sobral - CE Cep: 60.050-070
CNPJ: 09.533.217/0001-31 Fona/Fax: (88) 3611.5544
SITE: www.lucianofeijao.com.br