APOSTILA DE REVISÃO FÍSICA – PARTE 1

CINEMÁTICA

PREFIXOS DE GRANDEZAS MATEMÁTICAS

Diminutivos			Aumentativos		
Nome:	**Símbolo:**	**Valor:**	**Nome:**	**Símbolo:**	**Valor:**
deci	d	10^{-1}	deca	da	10^{1}
centi	c	10^{-2}	hecto	h	10^{2}
mili	m	10^{-3}	quilo	k	10^{3}
micro	μ	10^{-6}	mega	M	10^{6}
nano	n	10^{-9}	giga	G	10^{9}
pico	p	10^{-12}	tera	T	10^{12}
femto	f	10^{-15}	peta	P	10^{15}
atto	a	10^{-18}	exa	E	10^{18}

CONSTANTES FUNDAMENTAIS DA FÍSICA

Nome:	Símbolo:	Valor:
Velocidade da Luz no vácuo	c	$3{,}0.10^{8}$ m/s
Carga Elementar	*e*	$1{,}6.10^{-19}$C
Constante Gravitacional	G	$6{,}67.10^{-11}\,m^3/s^2kg$
Constante Universal dos Gases	R	8,31 J/mol.K
Número de Avogadro	N_A	$6{,}02.10^{23}mol^{-1}$
Aceleração da Gravidade na Superfície Terrestre	g	$9{,}8\ m/s^2$

UNIDADE DE GRANDEZAS NO SI

Referência:	Nome:	Símbolo:
Comprimento	metro	m
Massa	quilograma	kg
Tempo	segundo	s
Força	Newton	N
Pressão	Pascal	Pa
Energia	Joule	J
Temperatura	Kelvin	K
Carga	Coulomb	C
Corrente	Ampère	A
Ângulo	radianos	rad
Potência	Watt	W
Resistência	Ohm	Ω
Potencial Elétrico	Volt	V
Capacitância	Farad	F
Freqüência	Hertz	Hz

CONVERSÃO DE UNIDADES PARA O SI

Nome da unidade:	Símbolo:	Valor no SI
centímetro quadrado	cm^2	$10^{-4}\ m^2$
centímetro cúbico	cm^3	$10^{-6}\ m^3$
litro	L ou l	$10^{-3}\ m^3$
grau	º	$\pi/180$ rad
grama	g	10^{-3} kg
tonelada	ton	10^{3} kg
grama por centímetro cúbico	g/cm^3	$10^{3}\ kg/m^3$
kilometros por hora	km/h	1/3,6 m/s
kilograma-força	kgf	$\lvert \vec{g} \rvert$. N $\approx$ 9,8 N
atmosfera	atm	$1{,}0.10^{5}$ Pa
centímetro de mercúrio	cmHg	1333 Pa
caloria	cal	4,186 J
quilowatt-hora	kW.h	$3{,}6.10^{6}$ J
elétron-volt	eV	$1{,}6.10^{-19}$ J
cavalos (Horse Power)	HP	745,7 W

NOTAÇÃO CIENTÍFICA

Para se escrever um numero **N** em notação cientifica este deve estar num intervalo tal que: **1 ≤ N < 10** e estar acompanhado de uma potência de dez. Exemplos:

$75 \rightarrow 7{,}5 \,.\, 10^{1}$

$910 \rightarrow 9{,}10 \,.\, 10^{2}$

$10 \rightarrow 1{,}0 \,.\, 10^{1}$

SISTEMA REFERENCIAL

Movimento e repouso: Movimento e repouso são conceitos relativos, pois dependem do referencial adotado.

Um sistema referencial bem definido, com uma, duas ou três dimensões, é importante não apenas para se observar o movimento ou repouso de um corpo, mas principalmente para orientar e organizar as grandezas envolvidas. Uma grandeza é positiva quando o vetor ao qual ela se refere (ou sua componente) aponta no sentido crescente do eixo referencial e negativa quando aponta no sentido oposto. Assim, temos movimento:

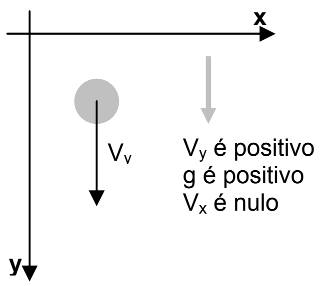
Progressivo: $v > 0$

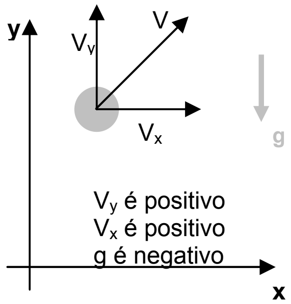
Retrógrado: $v < 0$

Acelerado: $v.a > 0$ (o $|v|$ aumenta)

Retardado: $v.a < 0$ (o $|v|$ diminui)

Exemplos de Sistemas Referenciais:





CINEMÁTICA ESCALAR

a) Movimento Retilíneo Uniforme - M.R.U.

O que caracteriza o M.R.U. é o corpo apresentar:

$v = \text{Constante} \neq 0$

$a = 0$

$$v = v_m = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

<u>**Conversão de velocidade**</u>:

$$\boxed{1\frac{km}{h} = \frac{1000m}{3600s} = \frac{1}{3{,}6}\frac{m}{s} \Rightarrow 1\frac{m}{s} = 3{,}6\frac{km}{h}}$$

Equação Horária do MRU:

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \Rightarrow S = S_0 + v.(t - t_0)$$

b) Movimento Retilíneo Uniformemente Variado – M.R.U.V.

Apresentam MRUV corpos sujeitos a uma aceleração constante e não nula na direção do movimento:

$a = \text{Constante} \neq 0$; $\quad a = a_m = \dfrac{\Delta v}{\Delta t} = \dfrac{v - v_0}{t - t_0}$

Equações do MRUV:

$v = v_0 + a.(t - t_0)$ **(V x t)**

$S = S_0 + v_0.(t - t_0) + \dfrac{a.(t - t_0)^2}{2}$ **(S x t)**

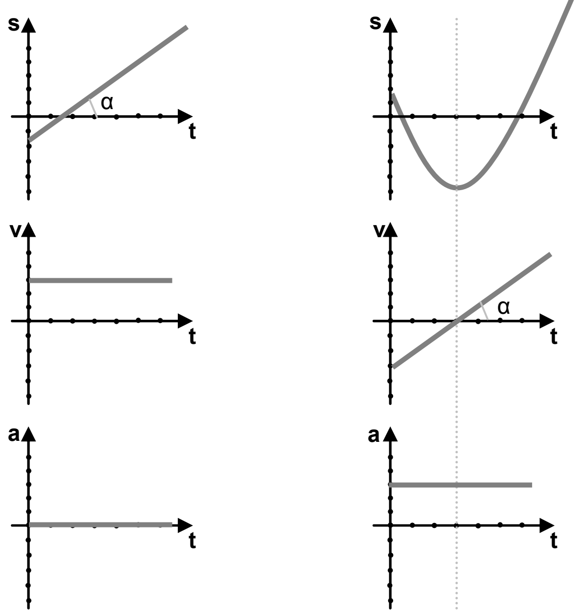
$v^2 = v_0^{\,2} + 2.a.\Delta S$ **(V x S)**

Para obter dados a partir dos gráficos use:

Obtém-se:	Método:	Gráfico:	Método:	Obtém-se:
		$\vec{s}$ x t	tgα	*Velocidade Instantânea*
Variação do Espaço	ÁREA	$\vec{v}$ x t	tgα	*Aceleração instantânea*
20Variação da Velocidade	ÁREA	$\vec{a}$ x t		

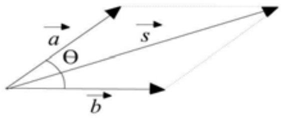
c) Gráfico do MRU e MRUV:

M.R.U. **M.R.U.V.**

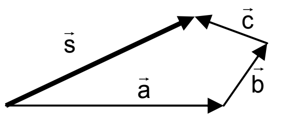


VETORES

Adição de dois ou mais vetores: Graficamente podemos usar a *Regra do paralelogramo* ou o *Método Poligonal* para visualizarmos o Vetor soma:



Regra do Paralelogramo



Método Poligonal

Para calcular o módulo desta soma devemos observar o valor do ângulo Θ. Se:

Θ = 0º → $|\vec{S}| = |\vec{A}| + |\vec{B}|$

Θ = 180º → $|\vec{S}| = |\vec{A}| - |\vec{B}|$

Θ = 90º → $|\vec{S}|^2 = |\vec{A}|^2 + |\vec{B}|^2$

Θ ≠ 0º, 90º ou 180º → $|\vec{S}|^2 = |\vec{A}|^2 + |\vec{B}|^2 + 2.|\vec{A}|.|\vec{B}|.\cos\theta$

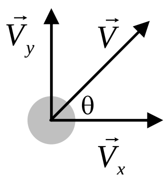
OBS: Neste último caso atente à mudança no sinal do termo que acompanha o cosseno. Cuidado para não usar o sinal negativo como se faz em triângulos na LEI DOS COSSENOS.

Caso especial:

Se **Θ = 120º** e $|\vec{A}| = |\vec{B}|$, então: $|\vec{S}| = |\vec{A}| = |\vec{B}|$

MOVIMENTO EM DUAS DIMENSÕES

Princípio de Galileu: Quando um corpo realiza um movimento em várias direções simultaneamente podemos estudar o movimento de cada direção separadamente como se os demais não existissem.



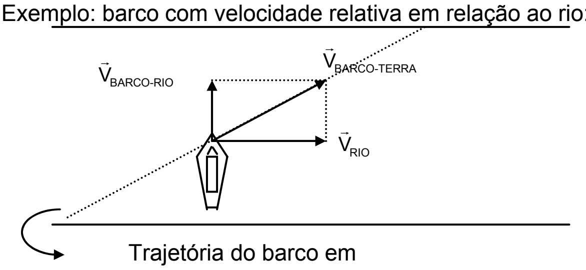
$\vec{V}_x = \vec{V}.\cos\theta$

$\vec{V}_y = \vec{V}.sen\theta$

Velocidade Relativa

Seja $\vec{V}_A$ a velocidade de um corpo A em relação a um referencial qualquer e $\vec{V}_B$ a velocidade de um corpo B em relação ao mesmo referencial. Então a velocidade de A em relação a B $\vec{V}_{AB}$ pode ser descrita como: $\vec{V}_{AB} = \vec{V}_A - \vec{V}_B$, ou $\vec{V}_A = \vec{V}_{AB} + \vec{V}_B$

Exemplo: barco com velocidade relativa em relação ao rio:

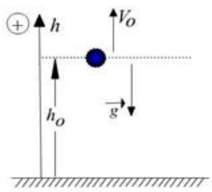


Trajetória do barco em relação à Terra

LANÇAMENTOS

Vertical: No lançamento vertical deve-se dar atenção ao referencial adotado. Temos duas situações possíveis:

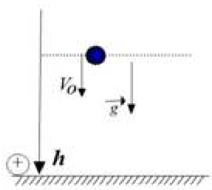
Lançamento Vertical para cima: Onde V_{0y} e g apresentam, obrigatoriamente sinais opostos. No caso abaixo:



$V_0 > 0$

$g < 0$

Lançamento Vertical para baixo: V_{0y} e g apresentam, obrigatoriamente mesmos sinais. No caso a seguir:



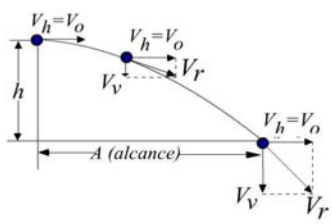
$V_0 > 0$

$g > 0$

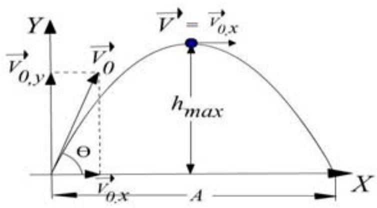
Horizontal: Trata-se de um lançamento em duas dimensões onde a velocidade inicial do corpo apresenta componente não nula apenas na direção horizontal e ainda, o movimento na direção vertical será acelerado enquanto o horizontal é uniforme. Desta forma:

$V_{0x} \neq 0$ =constante

$V_{0y} = 0$ (M.R.U.V.)



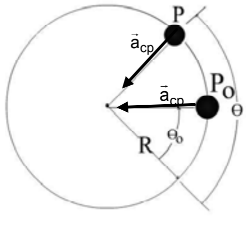
Lançamento Obliquo: Assim como o lançamento horizontal, é uma composição de M.R.U.V na direção vertical e M.R.U., na horizontal com $V_0 \neq 0$ em ambas as direções. A trajetória, sem resistência do ar, deve ser parabólica.



$$A = \frac{v_0^2}{g}\ \text{sen}\ 2\theta$$

MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORME

Trata-se de um movimento com velocidade $\vec{v}$ constante em módulo, mas que apresenta uma aceleração $\vec{a}_{cp}$ de módulo constante e direção perpendicular a esta velocidade. Assim, em um Movimento Circular, temos:



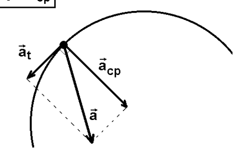
$$\boxed{\begin{gathered}\Delta S = \Delta\theta.R \\ v = \omega.R\end{gathered}}$$

$$\boxed{\begin{gathered}T = \frac{1}{f} \rightarrow f = \frac{1}{T} \\ \omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \\ \theta = \theta_0 + \omega.t \\ \vec{a}_{cp} = \frac{|\vec{V}|^2}{R} = |\vec{\omega}|^2.R\end{gathered}}$$

MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORMEMENTE VARIADO

Ocorre quando a aceleração vetorial não é perpendicular nem paralela ao vetor velocidade tangencial do móvel. Assim, esta pode ser decomposta nestas componentes tangencial e radial, de tal forma que a soma destas acelerações se definem:

$$\boxed{\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_{cp}}$$



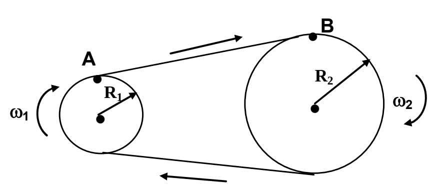
MOVIMENTO RETILÍNEO X MOVIMENTO CIRCULAR

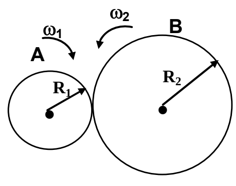
As equações destes movimentos são análogas e estão resumidas na tabela abaixo:

Movimento Retilíneo	Movimento Circular
$S = S_0 + V.t$	$\theta = \theta_0 + \omega.t$
$S = S_0 + V_0.t + \frac{a}{2}t^2$	$\theta = \theta_0 + \omega_0.t + \frac{\vec{a}_t}{2}t^2$
$V = V_0 + a.t$	$\omega = \omega_0 + \vec{a}_t.t$
$V^2 = V_0^2 + 2.a.\Delta S$	$\omega^2 = \omega_0^2 + 2.\vec{a}_t.\Delta\theta$

MOVIMENTO CIRCULAR: POLIAS E ENGRENAGENS

1º CASO: VELOCIDADES ESCALARES IGUAIS





Sistemas de polias compartilhando correias ou engrenagens conectadas devem apresentar mesma velocidade tangencial. Assim:

$$V_A = V_B \Rightarrow 2.\pi.R_A.f_A = 2.\pi.R_B.f_B$$

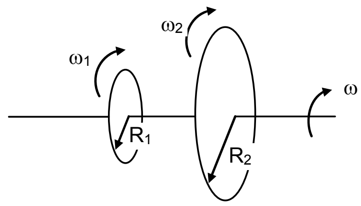
$$f_A = \frac{R_B}{R_A}.f_B \quad \text{ou} \quad T_A = \frac{R_A}{R_B}.T_B$$

Duas engrenagens A e B quaisquer, com número total N_A e N_B de dentes (proporcional ao comprimento) pode ter seu movimento observado contando o respectivo N_x em uma volta completa ($2.\pi.R_x$). Assim, teremos:

$$V_A = V_B \Rightarrow (2.\pi.R_A).f_A = (2.\pi.R_B).f_B$$

$$N_A.f_A = N_B.f_B \rightarrow f_A = \frac{N_B}{N_A}.f_B \quad \text{ou} \quad T_A = \frac{N_A}{N_B}.T_B$$

2º CASO: FREQÜÊNCIAS IGUAIS



Discos compartilhando o mesmo eixo central para rotação devem apresentar mesma velocidade angular. Desta forma:

$$\omega_A = \omega_B \Rightarrow \frac{V_A}{R_A} = \frac{V_B}{R_B} \Rightarrow V_A = \frac{R_A}{R_B}.V_B$$

MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES

O M.H.S. pode ser definido como um sistema que apresenta uma força resultante diretamente proporcional à distância em relação a um ponto, em torno do qual ocorre oscilação. As equações do M.H.S. são:

$$X = A.\cos(\theta_0 + \omega.t)$$

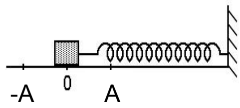
$$V = -A.\omega.\text{sen}(\theta_0 + \omega.t)$$

$$a = -A.\omega^2.\cos(\theta_0 + \omega.t) = -\omega^2.x$$

Assim, temos que $F_R = m.a \Rightarrow -C.x = -m.\omega^2.x \Rightarrow \omega^2 = \frac{C}{m}$, com C a constante de proporcionalidade entre a distância em relação ao ponto de oscilação e a força resultante.

Oscilador massa-mola: É dado por um corpo oscilando exclusivamente devido à força de restituição elástica.

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$



$$T = 2.\pi.\sqrt{\frac{m}{k}}$$

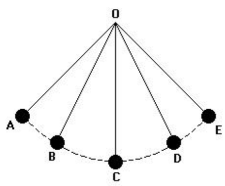
$$F = -k.X$$

$$E_M = \frac{k.X^2}{2} + \frac{m.v^2}{2} = E_{elást} + E_{cin} = \frac{k.A^2}{2}$$

Pêndulo Simples: Um corpo oscilando no ar (sem resistência) caracteriza um pêndulo simples. Para pequenos ângulos $(\theta < 15^o)$, tem-se um M.H.S. e as equações podem ser escritas como:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

$$T = 2.\pi.\sqrt{\frac{l}{g}}$$



DINÂMICA

Leis de Newton:

Primeira Lei – Inércia: A lei da inércia prevê que todo corpo que apresenta Resultante de Forças Externas nula deve preservar sua velocidade vetorial constante, seja esta nula (V=0) ou não (MRU).
Segunda Lei – Princípio Fundamental da Dinâmica: “Um ponto material submetido à ação de forças cuja resultante é não nula adquire uma aceleração de mesma direção e sentido da resultante sendo seu módulo diretamente proporcional ao módulo da força resultante”.
A segunda lei mostra que a resultante das forças externas aplicada sobre um corpo pode ser nula ou, quando existe aceleração: F_R=m.a.
Terceira Lei – Ação e Reação: Declara que para toda força aplicada (ação) por um corpo A sobre um corpo B, surgirá uma outra força (reação) de mesma intensidade, na mesma direção, mas em sentido oposto ao da ação, e esta última é aplicada por B em A. Por estarem aplicadas em corpos diferentes, uma ação não anula sua reação correspondente.

Tipos de Força: São conhecidos quatro tipos de força na natureza dos quais estudaremos apenas dois (as outras são a Força Forte e a Força Fraca, tipos de força que estão relacionadas à Física Nuclear):

a) Forças de Campo: São forças que podem ser aplicadas mesmo quando não existe contato direto entre os corpos do sistema. Exemplo: força peso, força elétrica, força magnética.

b) Forças de Contato: Quando existe contato entre corpos. Podem sempre ser decompostas em uma componente normal e outra tangencial. Usualmente são particularizadas estas decomposições:
Normal: Força de reação ao contato entre superfícies, sempre perpendicular ao plano tangente às superfícies.
Força de Atrito: A força de atrito se opõe localmente (na região de contato entre as duas superfícies) ao movimento ou à tendência do movimento de cada corpo. O máximo módulo da força de atrito estático pode ser calculado por $Fat = \mu_e.N$, onde μ_e é o coeficiente de atrito estático, e N é o módulo da força normal entre os corpos em contato. O módulo da força de atrito dinâmica é sempre calculado por $Fat = \mu_d.N$, onde μ_d é o coeficiente de atrito dinâmico.

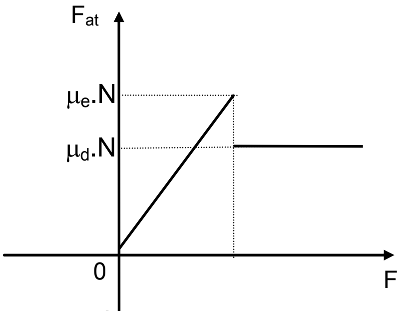
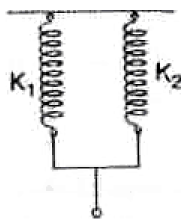


Gráfico de um corpo sujeito a uma força externa F e o comportamento da força de atrito (crescente até uma força de atrito estático máximo, quando inicia-se o movimento, com uma força de atrito dinâmico constante)

Tração: É a força existente nos fios e cordas quando estes são esticados/tracionados/tensionados.
Força Elástica: A força elástica é uma força de restituição, isto é, ela sempre é oposta a deformação ***x*** causada no corpo em questão. Esta força respeita a *lei de Hooke*: $F = -k.x$ onde k é a constante elástica da mola (ou elástico) e deve ser medido em N/m, no SI.

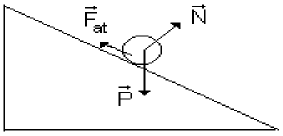
Obs.: Associação de Molas: Molas associadas irão distribuir ou transimitir as forças de entre elas. Para encontrar a constante de um mola equivalente com k_{eq} usamos:



Série: $\frac{1}{k_{eq}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + ...$ **Paralelo:** $k_{eq} = k_1 + k_2 + ...$

PLANO INCLINADO

Plano inclinado: O eixo X e Y saem de seu padrão horizontal e vertical, respectivamente, para acompanhar a inclinação do plano (conservando a perpendicularidade entre ambos). Assim, pode-se realizar a decomposição da força Peso em duas componentes:



$P_x = P.sen\alpha$
$P_y = P.\cos\alpha$
Onde α é o ângulo de inclinação do plano.

No caso mais simples, ocorre movimento apenas na nova direção X.
Devemos atentar que nesta situação a Força Normal deve ser aplicada na nova direção do eixo Y, tornando, ***no caso mais simples***, $|\vec{N}| = |\vec{P}_y|$. Assim, sempre que precisarmos do módulo da Normal (para calcular F_{at}, por exemplo), deveremos tomar o valor correto.

BLOCOS

Para resolver exercícios envolvendo blocos com sucesso devemos seguir os seguintes passos:
1º: Desenhe todos os corpos envolvidos separadamente, para melhor visualizar as Forças externas atuantes;
2º: Faça o diagrama de Forças para cada corpo identificando todas elas;
3º: Aplique a 2ª Lei de Newton em cada corpo separadamente obtendo uma equação para cada um deles;
4º: Resolva o sistema de equações obtido de forma a encontrar as variáveis desejadas.

DINÂMICA DO MOVIMENTO CIRCULAR

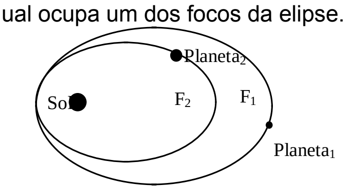
Sempre em um Movimento Circular Uniforme, deve existir uma Força Resultante Centrípeta responsável pelo surgimento da aceleração centrípeta, que apresenta módulo dado por:

$$F_{cp} = m.a_{cp} = \frac{m.v_T^2}{R} = m.\omega^2.R$$

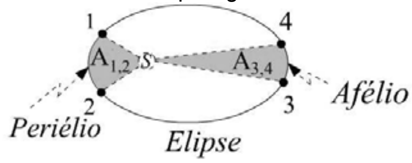
A direção é radial, no sentido do centro da curva de raio R.
Devemos nos lembrar do fato desta força ser uma resultante de forças, isto é, não existe uma força efetivamente centrípeta e sim resultado da soma de forças atuando no corpo. Desta forma, todas as forças estudadas (Forças de Campo e de Contato) serão utilizadas para resolver estes exercícios.
No caso do Movimento Circular Uniformemente Variado, a força resultante pode ser decomposta em uma componente radial (F_{cp}) e outra tangencial (F_t). Ainda assim, a equação acima é válida para F_{cp}, embora o valor de v_T varie com o tempo. Observe que, nesse caso, o módulo de F_{cp} também varia com o tempo.

GRAVITAÇÃO

Leis de Kepler
Lei de Órbitas: Todos os planetas se movem em órbitas elípticas em torno do Sol, o qual ocupa um dos focos da elipse.



Lei das Áreas: O vetor raio que une o sol a um planeta varre áreas iguais no plano da órbita em tempos iguais.



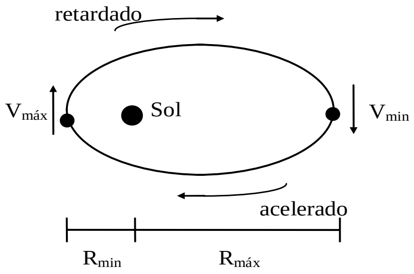
Portanto: Área varrida A é proporcional ao tempo Δt, ou seja:

$$\frac{A_{1,2}}{A_{3,4}} = \frac{\Delta t_{1,2}}{\Delta t_{3,4}}$$

Lei dos Períodos: Os quadrados dos períodos de revolução dos planetas em torno do Sol são proporcionais aos cubos dos raios médios de suas órbitas.

$$T^2 = k.R^3 \text{ ou } \frac{T^2}{R^3} = k$$

Onde: $R = \frac{R_{máx} + R_{mín}}{2}$, e $k = \frac{4.\pi^2}{G.M}$ (utilizando gravitação de Newton)



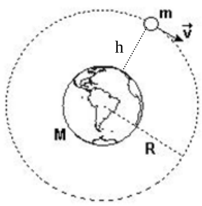
Observação:

A constante K é uma constante característica de cada sistema solar.

Gravitação Universal de Newton:
Qualquer partícula no universo atrai outra partícula segundo a equação:

$$F_G = \frac{G.M.m}{R^2}$$

Campo gravitacional:
É uma propriedade do espaço em torno de um corpo de massa M que provoca uma força de atração (peso) em qualquer outro corpo de massa m próximo.
A aceleração gravitacional $\vec{g}$ depende inversamente da distância entre os centros de massa dos corpos:
É sempre comum relacionar a força de atração universal de Newton com Peso ou com uma Resultante centrípeta. Nestes casos temos:

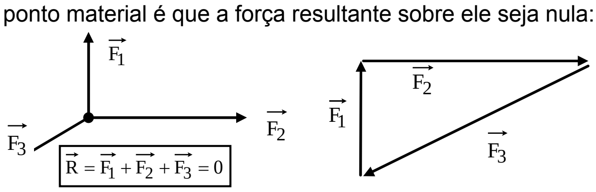


Gravitação e Peso:	**Gravitação e Resultante Centrípeta:**
$g = \frac{G.M}{R^2}$	$v = \sqrt{\frac{G.M}{R}}$

Onde: $R = R_{Terra} + h$

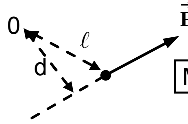
ESTÁTICA

1) Equilíbrio do ponto material
A condição necessária e suficiente para o equilíbrio dinâmico de um ponto material é que a força resultante sobre ele seja nula:



Sendo a força resultante nula, o polígono de forças é fechado. Nesse caso, temos o estado de repouso ou de M.R.U.
Se a velocidade resultante também é nula, o corpo está em equilíbrio estático.

2) Momento de uma força $\vec{F}$ em relação a um ponto O
Momento (ou Torque) de uma Força: É o efeito de rotação causado por uma Força:
$|\vec{M}_0| = |\vec{F}| \cdot d = |\vec{F}| \cdot \ell \cdot \text{sen}\theta$, que é o produto da força F pelo braço d de aplicação.



$\boxed{M = \pm F\, d}$

O sinal do Momento depende de uma convenção arbitrária.
Por exemplo: Quando a força $\vec{F}$ tende a girar o corpo no sentido anti-horário o momento é considerado positivo.

3) Equilíbrio de um corpo extenso
Para o equilíbrio estático de um corpo extenso temos três condições:

a) Força resultante nula $\sum \vec{F}_{ext} = 0$;
b) A soma dos momentos, em relação a qualquer ponto, deve ser nula $\sum \vec{M}_0 = 0$;
c) As velocidades de rotação e de translação devem ser nulas.

HIDROSTÁTICA

Densidade: É a razão entre a massa e o volume de um corpo:

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

Pressão: Quando aplicamos uma força F sobre uma superfície de área A exercemos uma pressão p sobre esta igual a:

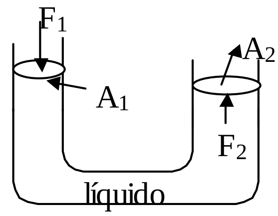
$$p = \frac{F}{A}$$

Pressão de uma coluna de liquido (ou efetiva): Devido ao peso do liquido acumulado sobre uma superfície, ele exercerá uma pressão sobre esta:
$p = \mu_{liq}.g.h$ onde: h = altura da coluna do liquido.
Em caso de a coluna estar exposta à atmosfera aberta, então a pressão total (ou absoluta) sobre o ponto imerso sob a coluna será:

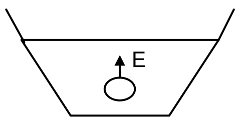
$$p = \mu_{liq}.g.h + p_{atm}$$

Princípio de Pascal: O acréscimo de pressão dado ao ponto a transmite-se integralmente a todos os pontos do líquido. Assim:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$



Empuxo: Todo corpo imerso, total ou parcialmente, num líquido recebe uma força vertical, de baixo para cima, denominada empuxo, cujo módulo é igual ao peso da porção de líquido deslocada pelo corpo.



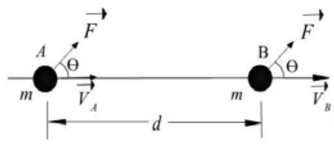
$E = \mu_L \cdot V_{DESL} \cdot g$

TRABALHO

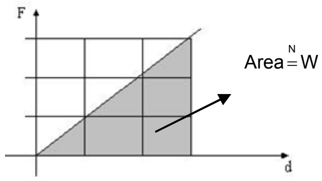
Trabalho: É uma expressão de energia dada por:
$W = F.d.\cos\theta$

(W: Work = trabalho)

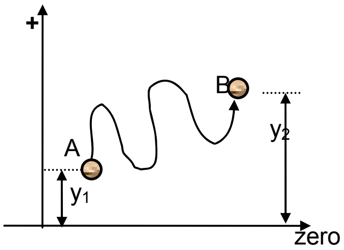
Esta expressão somente pode ser usada no caso de a força F ser constante.



No caso de F não ser constante, o trabalho por de ser calculado pela área do gráfico F x d:

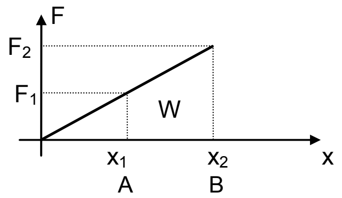


Casos particulares:
a) Trabalho da força peso
A força peso é sempre vertical e dirigida para baixo não tendo portanto componente horizontal.



Desta forma, independentemente da trajetória seguida pelo corpo, o trabalho da força peso é expresso por: $W_{AB}^{P} = -P\Delta y$

b) Trabalho da força elástica



$$W \overset{N}{=} A = \frac{(F_2 + F_1)(x_2 - x_1)}{2} =$$

$$= -\frac{kx_2^2}{2} + \frac{kx_1^2}{2} = \frac{k}{2}(x_1^2 - x_2^2)$$

Trabalho de um sistema de forças

Quando um sistema de forças atuar em um corpo cada força realiza trabalho independente das outras. Como o trabalho é uma grandeza escalar, o trabalho total corresponde à soma dos trabalhos de cada uma das forças atuantes no corpo, isto é $W_S = \sum_{i=1}^{N} W_I$

Teorema da energia cinética

O trabalho da resultante das forças entre A e B é a variação da energia cinética entre esses pontos.

$$W_{AB} = \Delta E_c \text{ , onde é definida } E_C = \frac{m.v^2}{2}$$

ENERGIA POTENCIAL

A energia gasta ao levantar um corpo desde o solo até uma altura h fica retida no campo gravitacional. Pode-se observar este fato notando que ao soltarmos o corpo ele entra em movimento acelerado aumentando, deste modo, a energia cinética. Assim, define-se então a energia potencial gravitacional ($E_{pgravit.}$) de um corpo como sendo o trabalho realizado contra a força gravitacional ao deslocá-lo desde o solo (ponto de referência) até a altura considerada. Da mesma forma define-se a energia potencial elástica $E_{pelast.}$ como o trabalho realizado ao se deformar a mola de um valor x. Então:

$$E_{pgravit.} = mgh \qquad \text{e} \qquad E_{pelast.} = \frac{kx^2}{2}$$

O trabalho para estas forças independe da trajetória. Nesses casos só interessa a posição inicial e final.

$W_{AB} = -\Delta Ep$ onde W_{AB} é o trabalho das forças que serão chamadas de conservativas (quando seu trabalho entre dois pontos independe da trajetória).

ENERGIA MECÂNICA

Energia Mecânica: É definida como a soma entre as energias cinética e potenciais do corpo ou sistema estudado. Assim:

$$E_M = E_C + E_P$$

Sistema Conservativo: Em um sistema conservativo a energia mecânica total não se dissipa, isto é:

$$\Delta E_M = 0 \text{ , ou } E_{M_{Inicial}} = E_{M_{Final}}$$

Daí pode-se concluir que:

$$\Delta E_C = -\Delta E_P$$

Sistema Não-Conservativo: Em um sistema não conservativo parte da energia mecânica total se dissipa, isto é:

$$\Delta E_M = E_{Dis} \text{ , ou } E_{M_{Inicial}} = E_{M_{Final}} + E_{Dis}$$

Teorema da Energia Cinética: É válido para um sistema <u>conservativo ou não</u>, onde as forças envolvidas realizam um trabalho total equivalente à variação da energia cinética.

$$\Delta E_C = W_{Resultante}$$

Observe que se somarmos os trabalhos de cada força ou se encontrarmos a força resultante vetorialmente e calcularmos o trabalho dessa força, o efeito é o mesmo, embora não se possam somar os trabalhos vetorialmente:

$$\sum_i W_{Fi} = W_{F_{Resultante}}$$

POTÊNCIA E RENDIMENTO

Potência: Pode ser definida pela quantidade de energia utilizada (transformada) em um determinado intervalo de tempo.

Se a energia transformada é um trabalho W (motor ou resistente), temos a relação:

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{E}{\Delta t}$$

Como em um sistema real a energia total E_T de um sistema nunca é convertida integralmente em trabalho havendo sempre uma dissipação E_D, podemos calcular o rendimento observando a parcela de energia útil E_U efetivamente convertida em trabalho.

$$\eta = \frac{E_U}{E_T} = \frac{P_U}{P_T}$$

$$E_T = E_U + E_D \qquad \text{logo,} \qquad P_T = P_U + P_D$$

IMPULSO E QUANTIDADE DE MOVIMENTO

Centro de Massa: É o ponto onde pode ser supostamente concentrada toda a massa de um sistema de corpos, para que certas análises possam ser feitas. Suas coordenadas podem ser dadas por:

$$X_{CM} = \frac{X_A.M_A + X_B.M_B + X_C.M_C + ...}{M_A + M_B + M_C + ...}$$

$$Y_{CM} = \frac{Y_A.M_A + Y_B.M_B + Y_C.M_C + ...}{M_A + M_B + M_C + ...}$$

$$Z_{CM} = \frac{Z_A.M_A + Z_B.M_B + Z_C.M_C + ...}{M_A + M_B + M_C + ...}$$

Lembrando que em corpos homogêneos (densidade uniforme) e simétricos, o centro de massa é o centro geométrico.

Quantidade de movimento: A quantidade de movimento de um corpo está relacionada a sua massa inercial. Assim:

$$\vec{Q} = m.\vec{v}$$

A quantidade de movimento de um sistema pode ser calculada como a soma das quantidades de movimento de cada corpo de sistema. Assim:

$$\vec{Q}_{SIST} = \sum_{i=1}^{n} m_i \vec{V}_i = \left(\sum m_i\right)\vec{V}_{CM}$$

Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento: "A quantidade de movimento de um sistema isolado (sem forças externas) é invariável".

Impulso: Quando aplicamos uma força sobre um corpo ou sistema de corpos durante um intervalo de tempo, provocamos uma variação na quantidade de movimento deste:

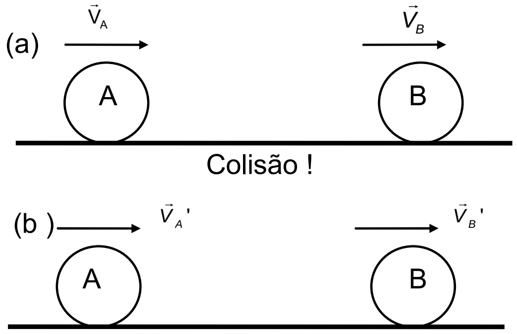
$$\vec{I} = \Delta\vec{Q} \quad \text{onde:}$$

$$\vec{I} = \vec{F}.\Delta t$$

Colisões: Considera-se o sistema isolado (o impulso das forças externas é desprezível)

$$\Delta\vec{Q} = 0$$

$$\vec{Q}_{Antes} = \vec{Q}_{Depois}$$



Durante as colisões pode haver conservação de Energia Cinética ou não. Devido esta perda de energia o coeficiente *e* chamado *coeficiente de restituição elástica* dado por:

$$e = \frac{v'_B - v'_A}{v_A - v_B} = \frac{v_{Afastamento}}{v_{Aproximaçao}}$$

Colisão (completamente) Inelástica: Não ocorre conservação de energia cinética e apresenta *e* = 0.

Colisão Parcialmente Elástica: Não ocorre conservação de energia cinética e apresenta *e* tal que: $0 < e < 1$

Colisão Perfeitamente Elástica: Ocorre conservação de energia cinética e apresenta $e = 1$

Colisão Super Elástica: Não ocorre conservação de energia cinética e apresenta *e* tal que: $e > 1$. Este é um caso especial onde a energia final é maior que a inicial. Logo, para que esta ocorra é necessário que haja uma fonte de energia externa (ex.: energia química de uma explosão)

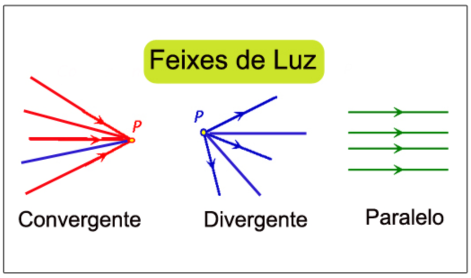
.

APOSTILA DE REVISÃO FÍSICA – PARTE 2

ÓPTICA GEOMÉTRICA

Fontes de luz:
Primárias ou corpos luminosos: Possuem luz própria.
Secundárias ou corpos iluminados: Não possuem luz própria.

Classificação dos Feixes Luminosos: São classificados conforme seu comportamento:



Propagação da luz

A luz se propaga, no vácuo, com velocidade **$c=3.10^8$ m/s**, aproximadamente.

Princípio da propagação retilínea da luz: "Nos meios transparentes e homogêneos a luz se propaga em linha reta".

Princípio da independência dos raios: "Os raios luminosos, ao se cruzarem, não influem um sobre a propagação dos outros".

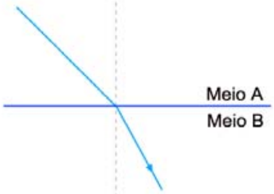
Princípio da reversibilidade dos raios luminosos: "Se um raio luminoso executa um certo caminho, um outro poderá fazê-lo em sentido contrário" ou "A trajetória seguida pela luz independe do sentido de percurso."

Meios de propagação
Embora a luz, como onda eletromagnética não precise de um meio material para se propagar, quando esta se propaga nesses meios, esses podem fazer com que os raios luminosos sejam ou não enxergados de forma nítida, não nítida ou não sejam enxergados. Logo, estes meios podem ser:

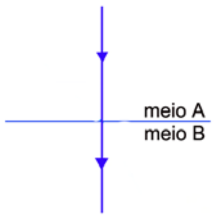
Transparentes: A luz atravessa homogeneamente.
Translúcidos: A luz atravessa estes corpos mas pode haver difusão dos raios. Através deles não vemos os objetos com nitidez.
Opacos: A luz não atravessa estes corpos, antes é refletida ou absorvida.

REFRAÇÃO DA LUZ

Refração:
É o fenômeno de propagação causado pela mudança da velocidade da onda (no caso, a luz) quando ela atravessa a superfície de separação entre dois meios de densidades diferentes (dioptro). A Refração pode ocorrer com ou sem desvio da trajetória do raio de luz (quando a incidência é perpendicular).

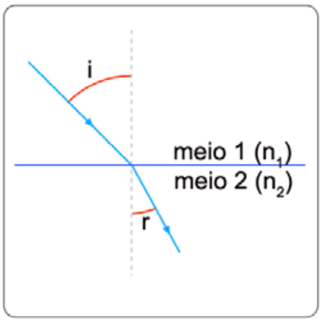


(Refração com desvio)



(refração sem desvio)

Na Refração Regular podemos calcular o ângulo de refração através da Lei de Snell-Descartes:

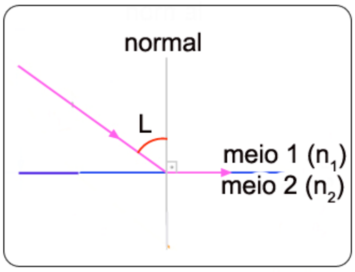


$$n_1.\text{sen}\,\hat{i} = n_2.\text{sen}\,\hat{r}$$

Onde

$$n_1 = \frac{c}{v_1};\ n_2 = \frac{c}{v_2}$$

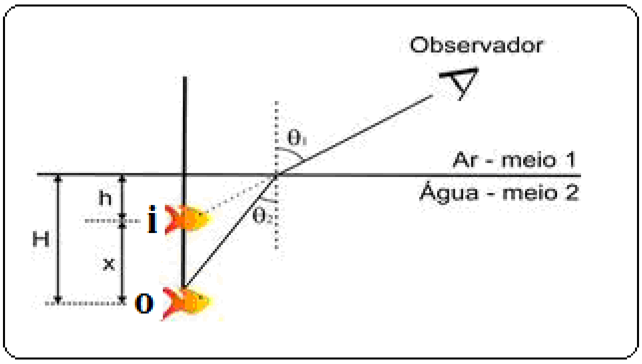
Ângulo Limite: Se $n_2>n_1$ então podemos ter um ângulo que limita a refração do meio 2 para o 1 resultando numa reflexão total na superfície de separação dos meios. Este ângulo é dado por:



$$n_1\,\text{sen}\,L = n_2\,\text{sen}\,90°$$

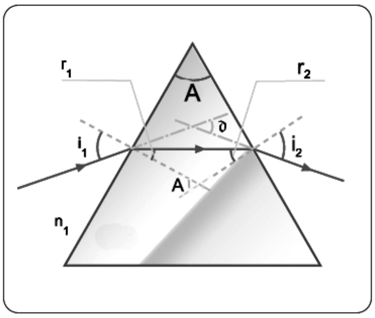
$$\text{sen}\,L = \frac{n_2}{n_1}$$

Dioptro Plano: As distâncias entre a imagem (i) observada em relação ao dioptro e o objeto (o) em relação ao dioptro relacionam-se com os índices de refração dos meios que definem esse dioptro pela expressão : $\dfrac{h}{H} = \dfrac{h_{observador}}{h_{objeto}} = \dfrac{n_{observador}}{n_{objeto}}$.



PRISMAS

Prismas: Podemos observar o desvio produzido por um prisma sobre um raio luminoso incidente através de:



$$desvio(\delta) \Rightarrow \delta = i_1 + i_2 - A$$

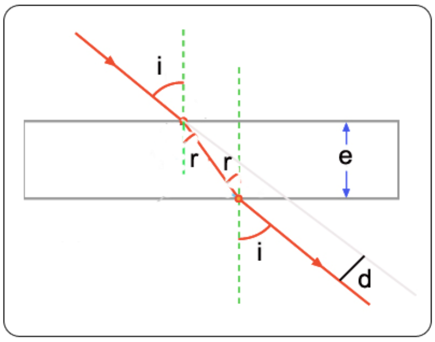
$$A = r_1 + r_2$$

$$\delta_{MÍNIMO} \Rightarrow i_1 = i_2 \ \ e \ \ r_1 = r_2$$

$$\delta_{MÍNIMO} = 2i - A$$

LÂMINAS DE FACES PARALELAS

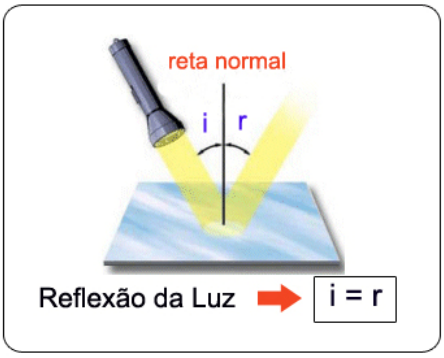
Assim como o prisma, uma lâmina de faces paralelas provoca um desvio em um raio luminoso incidente segundo a equação abaixo:



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

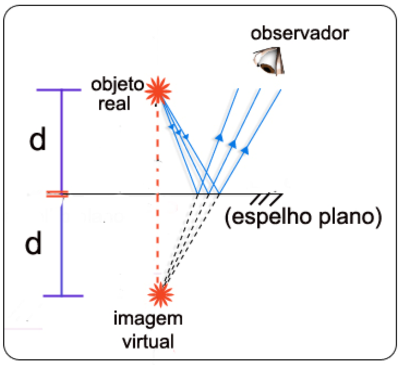
REFLEXÃO LUMINOSA

Reflexão Regular da Luz
Na reflexão regular da luz, o ângulo entre o raio incidente e a Normal da superfície refletora é igual ao ângulo entre esta Normal com o raio refletido. Além disso, o raio incidente e o raio refletido são coplanares.

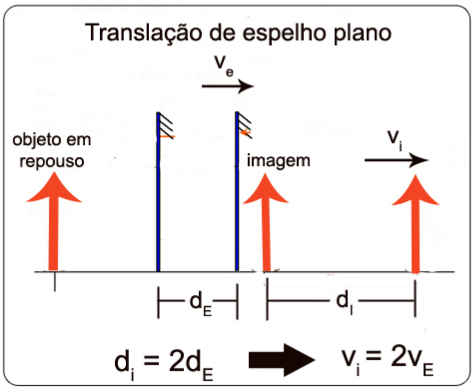


ESPELHOS PLANOS

Propriedade fundamental: Nos espelhos planos as distâncias do objeto e sua imagem ao espelho são sempre iguais. A imagem é enantiomorfa em relação ao objeto.

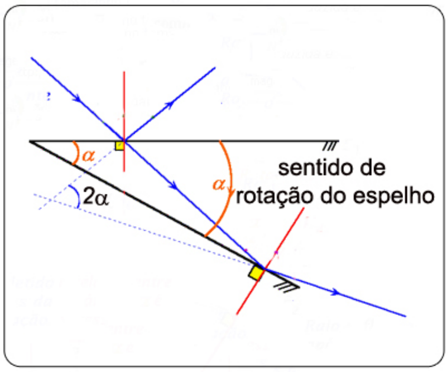


Translação de Espelho Plano: Enquanto deslocamos um espelho de um ponto E para outro E', podemos observar a velocidade relativa entre o objeto e sua imagem:



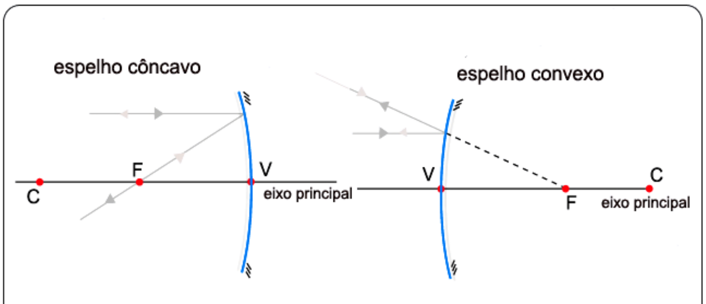
Assim quando deslocamos um espelho, as imagens nele formadas se deslocam duas vezes mais, em relação ao objeto. Com isto a aceleração da imagem também é o dobro da aceleração do espelho.

Rotação de espelho plano: Com o auxílio da figura abaixo pode-se mostrar que: $\beta = 2\alpha$, onde β é o ângulo entre a direção do raio refletido antes da rotação e a direção do raio refletido depois da rotação do espelho plano de um ângulo α .



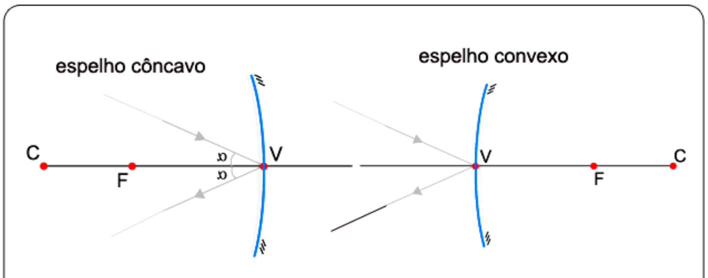
ESPELHOS ESFÉRICOS

Raios notáveis: Nos espelhos esféricos gaussianos podemos observar a repetição das seguintes reflexões luminosas:

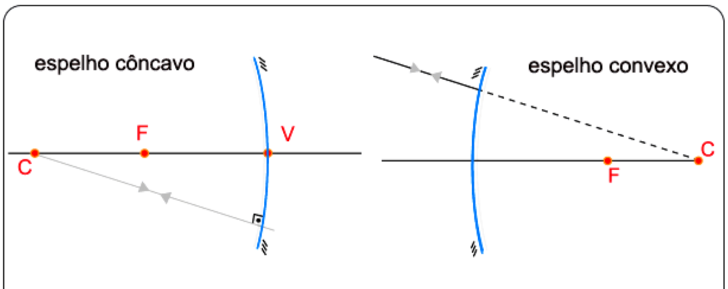


raio de luz incidindo paralelamente ao eixo principal é refletido na direção do foco

raio de luz que incide na direção do foco é refletido paralelamente ao eixo principal



raio de luz incidindo no vértice do espelho é refletido simetricamente aoeixo principal (com o mesmo ângulo)

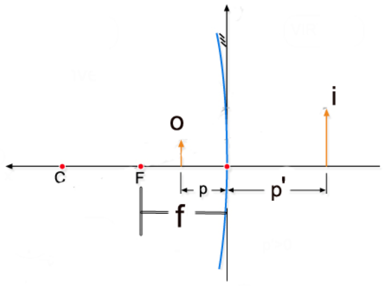


raio de luz passando na direção do centro de curvatura (C) o raio reflete na mesma direção ("sobre si mesmo")

Para calcular a posição da imagem, do objeto, o raio de curvatura, a distância focal ou ainda a ampliação linear podemos utilizar das seguintes equações:

Equação de Gauss

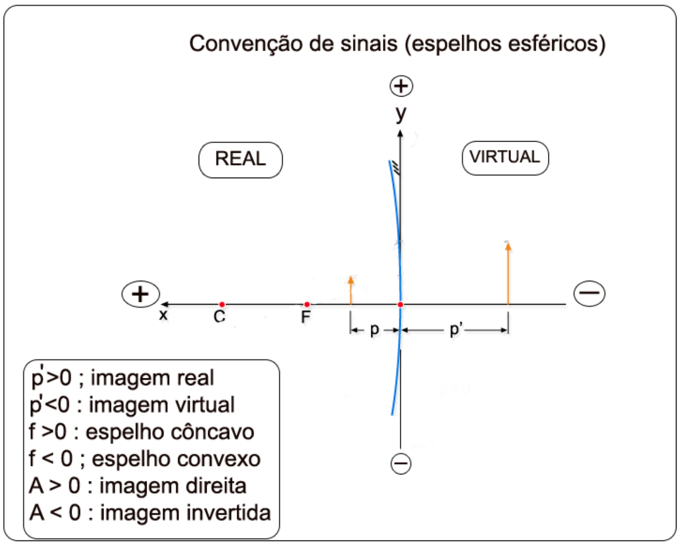
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$



Aumento linear transversal

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

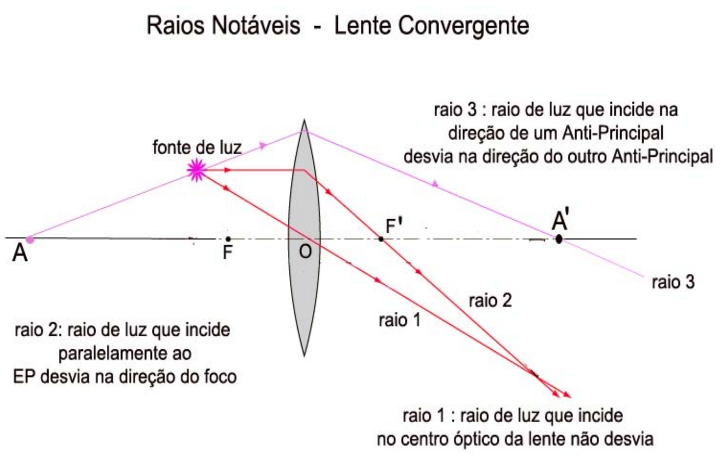
O sinal de f, p e p' podem ser interpretados através do gráfico abaixo, onde estão sobrepostos e compartilhando o mesmo Eixo Principal (EP) e Vértice, dois espelhos sendo um côncavo e outro convexo:

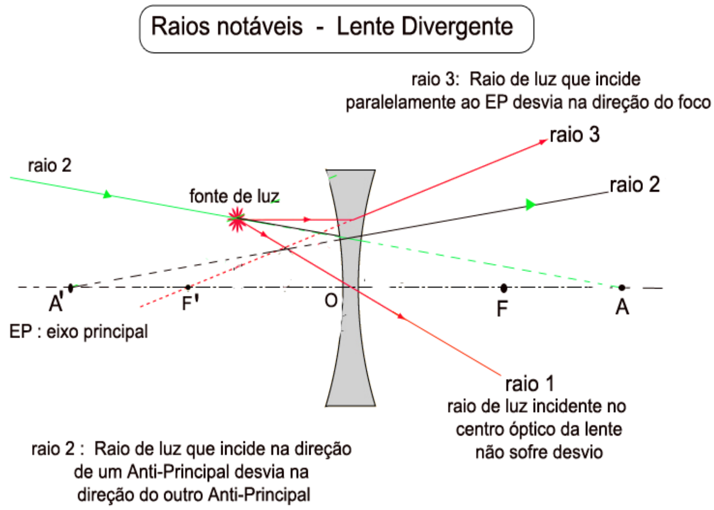


Onde o eixo horizontal define **f**, **p** e **p'** e, o eixo vertical define **i** e **o**.

LENTES ESFÉRICAS

Raios notáveis: Nas lentes esféricas gaussianas, analogamente aos espelhos esféricos, podemos observar a repetição das seguintes refrações luminosas:

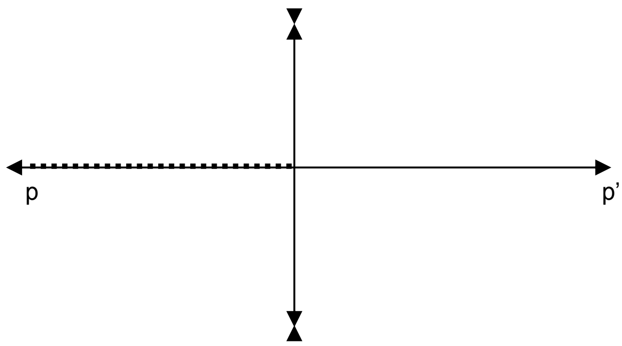




Onde:
O = Centro Óptico
F = Foco Objeto
F' = Foco Imagem
A = Anti-Principal Objeto
A' = Anti-Principal Imagem

1- Todo raio de luz que incide paralelamente ao EP desvia na direção do foco imagem.
2- Todo raio de luz que incide na direção do foco objeto emerge da lente paralelamente ao EP.
3- Todo raio de luz que incide na direção de um Anti-Principal Objeto desvia na direção do Anti-Principal imagem.
4- Todo raio de luz que incide no vértice do espelho não desvia.

O sinal de p e p' podem ser interpretados através do gráfico abaixo, onde estão sobrepostos e compartilhando o mesmo EP e Vértice, duas lentes sendo uma convergente e outra divergente:



Onde o eixo horizontal é a sobreposição de dois eixos antiparalelos: um contínuo e outro tracejado. Estes definem **p > 0** para a esquerda (tracejado) e **p < 0** para a direita, e **p' < 0** para a esquerda e **p' >0** (contínuo) para a direita e, o eixo vertical define **i** e **o**,(estamos considerando que o raio incide na lente pelo lado esquerdo, o que define o espaço objeto e sai da lente pelo lado direito, o que define o espaço imagem). Para a distância focal:
f > 0 → Lentes Convergentes
f < 0 → Lentes Divergentes

Para lentes são válidas também as equações de Gauss:

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

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

E ainda, podemos calcular a vergência (ou divergência) da lente através de:

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

unidade de **V** no **S.I** : di (dioptria) : 1 di = $1m^{-1}$

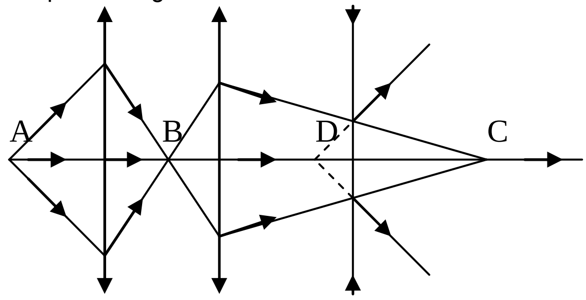
Equação dos fabricantes de lentes:

A fórmula dos fabricantes de lentes ou fórmula de Halley é a equação para calcular a vergência de uma lente, ou seja, **o "grau" de uma lente**.

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

n_{lente}: Índice de refração da lente.
n_{ext}:Índice de refração do meio externo que envolve a lente.
R_1 e R_2: Raios de curvatura das faces da lente.

Associação de lentes:
Quando associamos sistemas óticos, um mesmo ponto pode funcionar como objeto e imagem.
Observe a próxima figura.



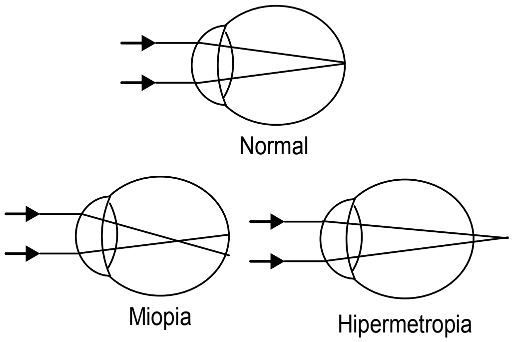
A ampliação total é o produto das ampliações de cada lente:

$$A = A_1.A_2.....A_N$$

A distância focal equivalente é dada por:

$$V_{EQ} = \frac{1}{f_{eq}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \ldots + \frac{1}{f_N}$$

DEFEITOS DA VISÃO E CORREÇÕES:



Miopia: O Ponto Remoto PR encontra-se no infinito e o Ponto próximo PP a menos de 25cm do globo ocular (O globo ocular é mais "profundo" que o regular).

Ação corretiva: Lente Divergente de distância focal $f = -p_{próximo}$

Hipermetropia: O Ponto Remoto PR é virtual e o Ponto próximo PP a mais de 25cm (ponto próximo ideal, olho normal) do globo ocular (O globo ocular é menos "profundo" que o regular).

Ação corretiva: Lente Convergente de distância focal:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p_{\substack{ponto\\próximo\\ideal}}} + \frac{1}{p_{\substack{ponto\\próximo\\real}}}$$

Presbiopia: Com o envelhecimento, o PP tende a se afastar do olho

Ação corretiva: Faz-se da mesma forma que em caso de *Hipermetropia*. No caso de *miopia* e *hipermetropia* ocorrerem junto com a *Presbiopia*, pode-se usar óculos para perto e para longe ou lentes bi-focais.

Astigmatismo: Defeito devido a planicidade da córnea, que apresenta diferentes raios de curvatura para cada secção considerada.

Ação corretiva: Lentes Cilíndricas.

Estrabismo: Desvio do eixo óptico.
Ação corretiva: Lentes Prismáticas.

ELETROSTÁTICA

ELETRIZAÇÃO

Eletrização – Processo de perda ou ganho de partículas subatômicas com carga, geralmente elétrons, por um determinado corpo.

Carga Elétrica – Quando um corpo possui falta ou excesso de elétrons em relação ao número de prótons, dizemos que tal corpo está **eletricamente carregado**. O excesso de elétrons caracteriza uma **carga negativa**, enquanto a falta de elétrons caracteriza uma **carga positiva**.

A unidade de carga elétrica no SI é o Coulomb (C).

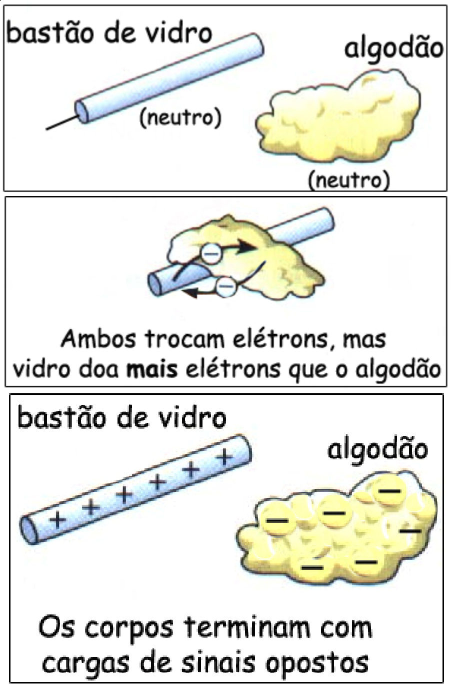
Atração e Repulsão entre cargas elétricas – Mediante experiências, verificamos que cargas elétricas de mesmo sinal se repelem, enquanto cargas elétricas de sinais opostos se atraem.

Condutores – Corpos com grande número elétrons livres, nos quais as partículas portadoras de carga elétrica têm muita facilidade de se movimentar, como, por exemplo, os metais.

Isolantes – Corpos com reduzido número de elétrons livres, nos quais as partículas portadoras de carga elétrica têm certa dificuldade de se movimentar, como, por exemplo, os não-metais.

Processos de Eletrização – Processos de troca de cargas elétricas entre dois ou mais corpos. Nesses processos, devemos observar que não há criação nem destruição de cargas, ou seja, a carga elétrica total do sistema é sempre conservada, fato este que é conhecido por **Princípio de Conservação das Cargas Elétricas**.

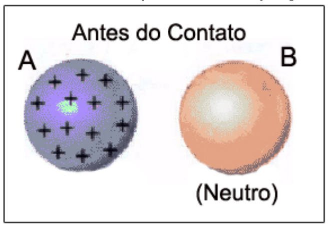
Eletrização por Atrito

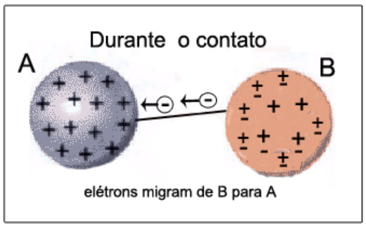


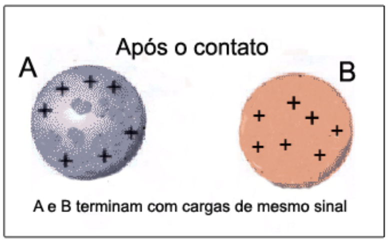
Chama-se serie triboelétrica a relação ordenada de substâncias em que, ao atritarmos duas delas, a que figura antes se eletriza positivamente e a que figura depois, negativamente.

Serie Triboelétrica
pele de gato - vidro polido - marfim - lã - penas - madeira - papel - seda - goma-laca - vidro despolido

Eletrização por Contato – Processo de eletrização de dois corpos condutores, estando um deles eletrizado e o outro neutro, através do contato entre eles. O corpo neutro adquire uma carga elétrica de mesmo sinal que a do corpo já inicialmente eletrizado.



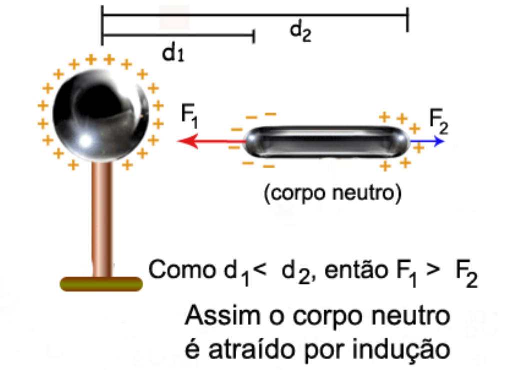




Eletrização por Indução

- **Fenômeno da indução eletrostática**

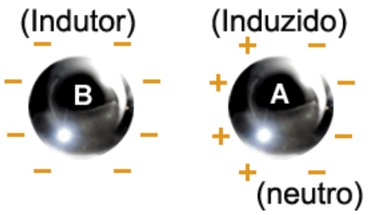
Ao aproximar um corpo eletrizado, os elétrons pertencentes ao corpo neutro são atraídos por uma força F_1 enquanto os prótons se mantém na outra extremidade do corpo repelidos pela força F_2, como mostra a figura abaixo:



Como $d_1 < d_2$ então $F_1 > F_2$ e o corpo neutro é atraído. Este fenômeno é denominado indução eletrostática.

Processo de eletrização de indução

1° passo: Ao aproximar o indutor carregado negativamente(B) ele induz uma separação de cargas na esfera A neutra (induzido) como é mostrado abaixo

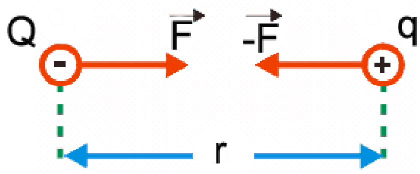


2° passo: Mantendo o indutor na mesma posição, ligamos o induzido à terra. Note que os elétrons do induzido migram para a terra, descarregando essa carga negativa. A carga positiva do induzido continua concentrada à esquerda devido à atração da carga negativa do indutor.

3° passo: Desconectamos o fio terra do induzido e afastamos o bastão para bem longe. Desta forma, o induzido fica com um excesso de carga positiva.

FORÇA ELÉTRICA E CAMPO ELÉTRICO

Lei de Coulomb
Dois corpos eletricamente carregados exercem um sobre o outro uma força elétrica cuja intensidade é diretamente proporcional ao módulo de cada uma das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separa. A força será de atração se as cargas tiverem sinais opostos, e será de repulsão se as cargas tiverem mesmo sinal.



$$|\vec{F}_{EL}| = k\frac{|Q|\cdot|q|}{r^2}$$

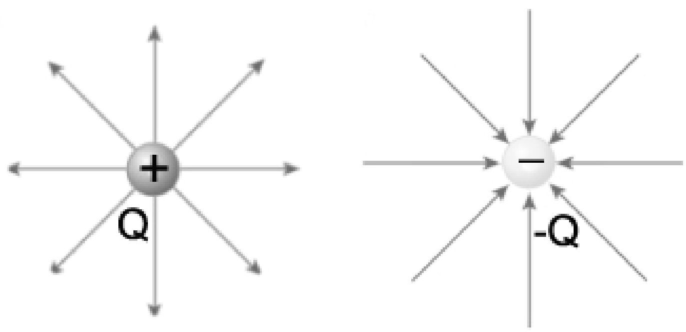
Campo Elétrico – É capaz de produzir uma força elétrica numa carga de prova colocada na região onde ele atua. Definimos o campo elétrico como o vetor:

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

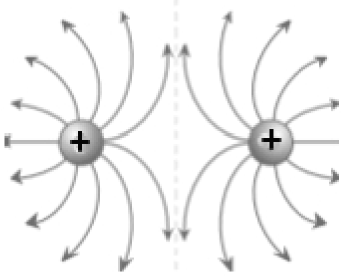
onde ***q*** é carga de prova.
Uma carga elétrica puntiforme Q cria ao seu redor um campo elétrico cujo módulo é dado por:

$$|\vec{E}| = k\frac{|Q|}{r^2}$$

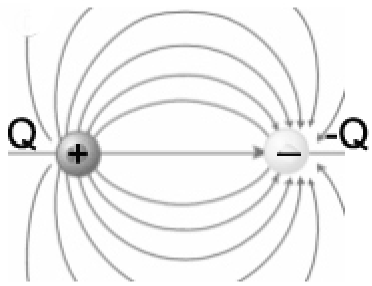
O campo elétrico será de **afastamento se a carga for positiva**, e de **aproximação se a carga for negativa**. Representamos este comportamento através das **linhas de força**.



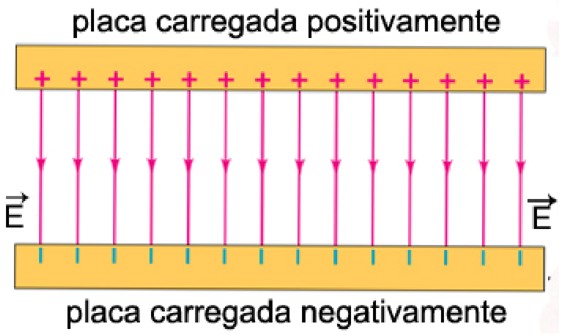
Observe a configuração das linhas de força quando aproximamos duas cargas elétricas de mesmo módulo, de acordo com o sinal delas:
Cargas elétricas de **mesmo sinal**:



Cargas elétricas de **sinais opostos**:



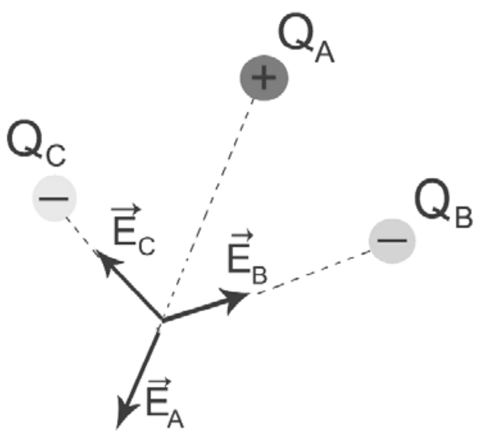
Campo elétrico gerado por placas paralelas muito longas (Campo elétrico uniforme):



A exigência de as placas paralelas serem longas é para podermos desprezar os efeitos da borda, e assim poder considerar que o campo elétrico é uniforme, ou seja, é um vetor constante (em módulo, direção e sentido).

Se um corpo está submetido à ação de mais de um campo elétrico, o **campo elétrico resultante** que age sobre ele será dado pela **soma vetorial** dos campos elétricos atuantes:

$$\vec{E}_{RES} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \cdots + \vec{E}_n$$



POTENCIAL ELÉTRICO E ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA

Potencial Elétrico

Dada uma carga elétrica Q, definimos o potencial gerado por essa carga a uma distância r como a grandeza escalar dada por:

$$V = k\frac{Q}{r}$$

Podemos, assim, olhar para o potencial gerado por essa carga elétrica como uma função que associa a cada ponto do espaço um número real que é o potencial criado pela carga naquele ponto. Assim, se um determinado ponto P do espaço está na região onde atuam *n* cargas, o potencial resultante ali será a soma do potencial gerado por cada carga:

$$V_{RES} = V_1 + \cdots + V_n$$

Observe que diferentemente do campo elétrico, que é um vetor, o potencial elétrico é um número real, positivo ou negativo, dependendo do sinal da carga elétrica que gera esse potencial.

Energia Potencial Elétrica

Uma carga elétrica q colocada num ponto do espaço submetido a um potencial V_P adquire uma energia potencial elétrica dada por:

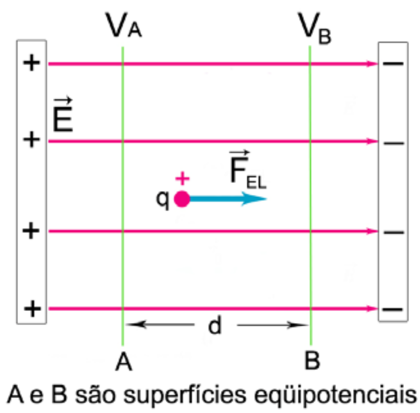
$$E_{POT} = q \cdot V_P$$

Se tal potencial foi gerado por uma carga Q a uma distância r desse ponto, podemos escrever a energia potencial elétrica desse sistema como:

$$E_{POT} = k\frac{q \cdot Q}{r}$$

Trabalho no campo elétrico uniforme

Uma carga elétrica imersa num campo elétrico uniforme, ao ser deslocada de um ponto A para um ponto B, sofre um trabalho da força elétrica dado por:



$$\tau = q \cdot (V_A - V_B) = -\Delta E_{POT_{Elétrica}}$$

Diferença de potencial no campo elétrico uniforme (ddp)

Num campo elétrico uniforme, a diferença de potencial entre dois pontos **A e B** é dada por:

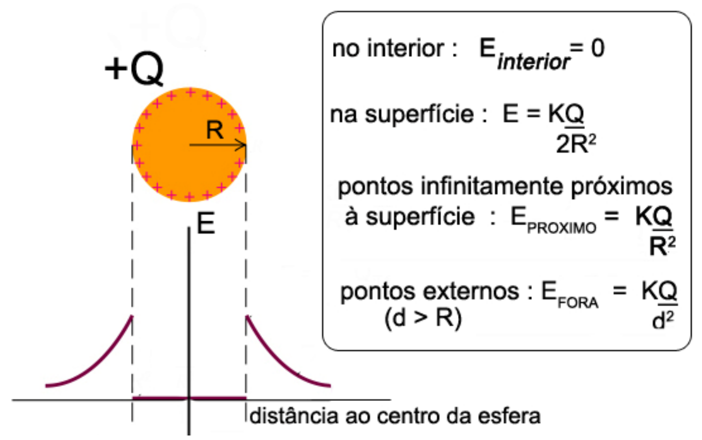
$$E \cdot d = V_A - V_B$$

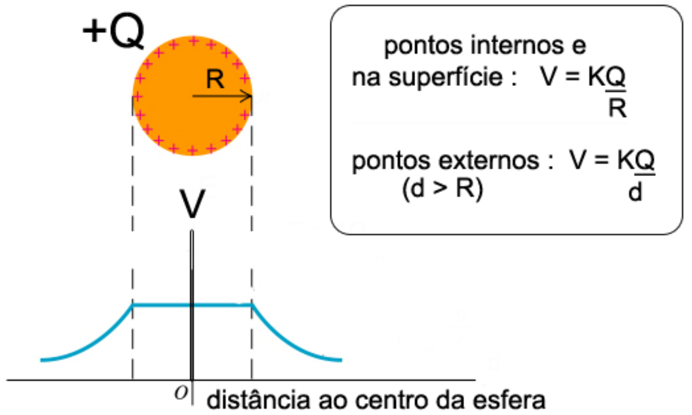
CONDUTOR EM EQUILÍBRIO ELESTROSTÁTICO

Um condutor eletrizado encontra-se em equilíbrio eletrostático quando não há movimento de cargas elétricas em seu interior.

Conseqüências :

- O campo elétrico é nulo no interior de um condutor em equilíbrio eletrostático
- O potencial elétrico é constante no interior e na superfície de um condutor em equilíbrio eletrostático.
- A carga elétrica se aloja na superfície do condutor.





CAPACITORES

Capacitores – Armazenam energia potencial elétrica, através do acúmulo de cargas, quando submetidos a uma diferença de potencial fornecida por uma bateria. Posteriormente podemos aproveitar essa energia elétrica, por exemplo, descarregando-a num resistor.

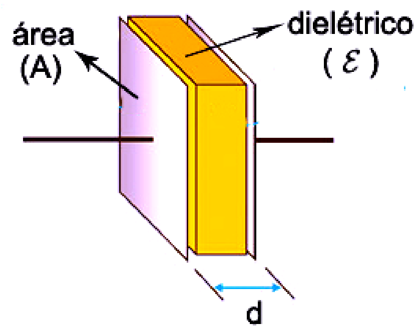
Capacitância
A quantidade de carga (*Q*) que um capacitor consegue armazenar de acordo com a diferença de potencial fornecida (*U*) define a sua capacitância (*C*):

$$Q = C \cdot U$$

Energia armazenada num capacitor – A energia potencial elétrica que um capacitor consegue armazenar é dada por:

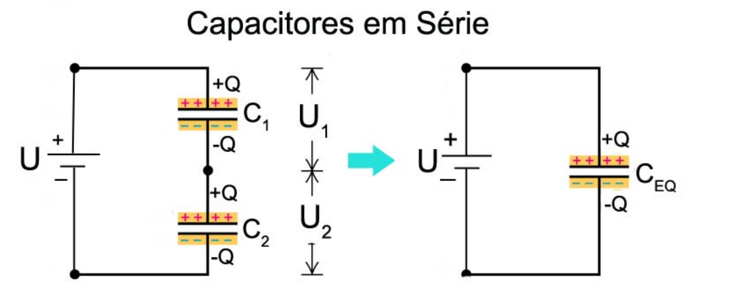
$$E_C = Q \cdot U = \frac{C \cdot U^2}{2} = \frac{Q^2}{2 \cdot C}$$

Capacitor de placas paralelas – Sua capacitância pode ser calculada em função da área de suas placas (*A*) e da distância que as separa (*d*), sendo ε a permissividade elétrica do meio:



$$C = \frac{\varepsilon \cdot A}{d}$$

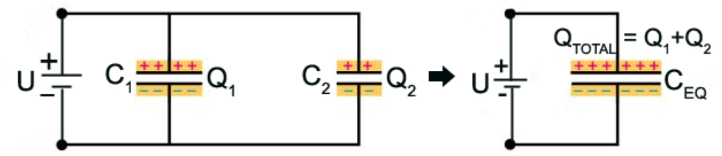
Associação de capacitores
a) Em Série



a) A carga elétrica (+Q) é a mesma em todos os capacitores

b) $U_1 = U_1 + U_2$ c) $\frac{1}{C_{EQ}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$

B) Em paralelo



a) a ddp é a mesma em todos os capacitores

b) $Q_{TOTAL} = Q_1 + Q_2$

c) $C_{EQ} = C_1 + C_2 + C_3$

ELETRODINÂMICA

CORRENTE ELÉTRICA E RESISTORES

Corrente Elétrica – Movimento ordenado de cargas elétricas.

Sentido convencional da corrente – Aquele dos portadores de carga elétrica positiva, ou seja, de pontos de maior potencial para pontos de menor potencial.

A quantidade de carga transportada será sempre um múltiplo inteiro da carga elétrica elementar (***Quantização da Carga Elétrica***):

$$Q = n \cdot e$$

onde e=1,6x10^{-19} C (coulomb)

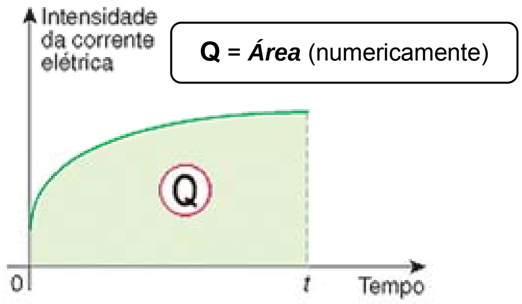
Intensidade média da corrente elétrica

$$i = \frac{|Q|}{\Delta t}$$

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a corrente elétrica é dada em ampère (A).

1 A = 1C/1s

Quando a corrente varia ao longo do tempo, a carga total será dada pela área sob a curva da corrente em função do tempo:

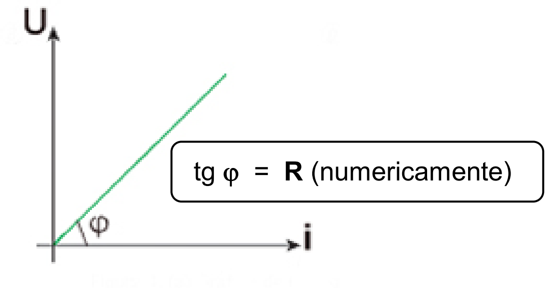


1ª Lei de Ohm

A diferença de potencial aplicada num resistor é o produto da resistência do mesmo pela corrente que o atravessa:

$$U = R \cdot i$$

a ddp é dada em volt (**V**) e a resistência elétrica é dada em ohm (Ω).



2ª Lei de Ohm
A resistência é diretamente proporcional ao comprimento e inversamente proporcional à área do resistor. A constante de proporcionalidade é chamada de resistividade, e é uma característica do material do resistor:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Obs.:
a) Nos metais, a resistividade aumenta com o aumento da temperatura, de acordo com a equação:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

onde: ρ é a resistividade na temperatura T , dado em Ω **.** m
ρ_0 é a resistividade na temperatura T_0 , em Ω **.** m
α é o coeficiente de temperatura do material, dado em °C $^{-1}$
$\Delta T = T - T_0$

b) a condutividade elétrica(σ)é o inverso da resistividade, ou seja:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

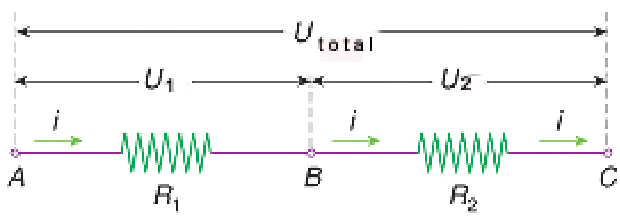
Associação de Resistores

1) Em Série
Propriedades
- Todos resistores são percorridos pela ***mesma corrente elétrica***
- A ddp total entre os terminais da associação é a soma das ddp's em cada resistor:

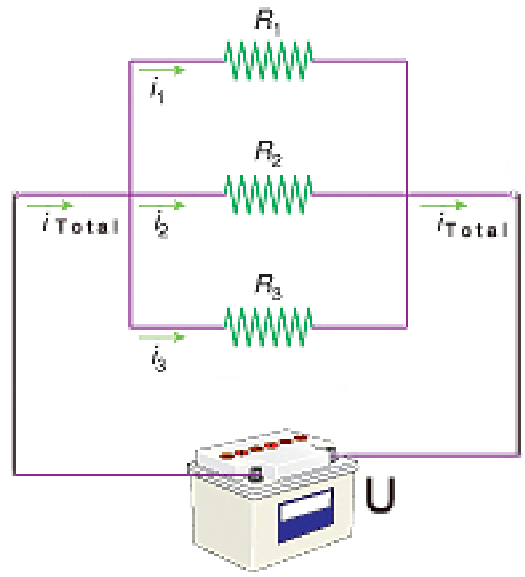
$$U_{TOTAL} = U_1 + U_2$$

- A resistência equivalente entre os terminais da associação é a soma das resistências :

$$R_{EQ} = R_1 + R_2$$



2) Em paralelo
Propriedades
- Todos resistores são submetidos à ***mesma tensão elétrica (U) ou ddp .***



- A corrente elétrica total **i_{TOTAL}** é a soma das correntes em cada resistor da associação:

$$i_{TOTAL} = i_1 + i_2 + i_3$$

- A resistência equivalente entre os terminais da associação é dada por:

$$\frac{1}{R_{EQ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Para duas resistências quaisquer em paralelo, vale a relação

$$R_{EQ} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$ (“**produto pela soma**”)

Para ***N*** resistências iguais a ***R*** em paralelo, vale a relação:

$$R_{EQ} = \frac{R}{N}$$

Potência elétrica dissipada num resistor
Para qualquer aparelho elétrico submetido a uma ddp U e percorrido por uma corrente elétrica i, podemos afirmar que a potência elétrica deste aparelho é dada por:

$$Pot = U \cdot i$$

No SI, a potência elétrica é dada em **W** (**watt**) $\Rightarrow 1W = \frac{1J}{1s}$

Especificamente, para um resistor, os portadores de carga que constituem a corrente elétrica, ao colidirem com as moléculas do material deste resistor, dissipam energia sob a forma de calor, provocando o aquecimento do mesmo, fenômeno este conhecido por **efeito Joule**.

Combinando a relação acima com a 1º lei de Ohm, podemos obter, duas equações para a potência elétrica dissipada num resistor:

$$Pot = \frac{U^2}{R} \quad \text{e} \quad Pot = R \cdot i^2$$

Obs.:
Energia elétrica consumida por um aparelho elétrico:

$$E_{el} = Pot \,.\, \Delta t$$

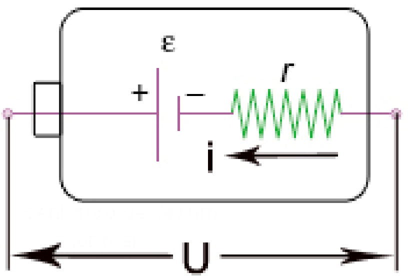
No SI : Joule (J) $\Rightarrow$ J = W **.** s
Unidade prática : quilowatt-hora (kWh) $\Rightarrow$ kWh = kW **.** h

1 kWh = 1 x 10^3 J/s x 3600 s = 3,6 x 10^6 J

GERADORES E RECEPTORES

Gerador Elétrico
Elemento do circuito responsável por transformar alguma outra forma de energia, geralmente mecânica ou química (baterias), em energia elétrica, fornecendo uma diferença de potencial ao circuito. Essa diferença de potencial permite a circulação de uma corrente no

circuito. A energia que o gerador fornece por unidade de carga é sua força eletromotriz (f.e.m) ε.



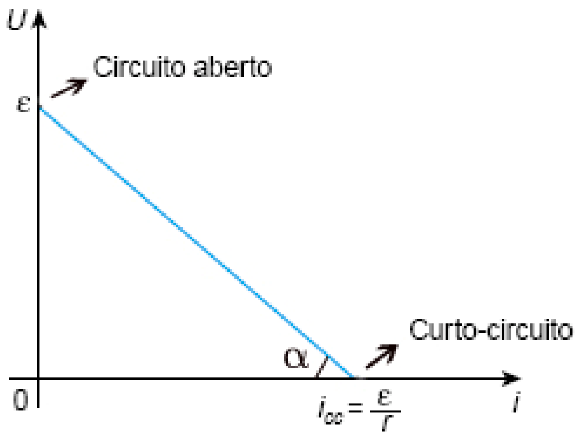
- ε (f.e.m) é a ddp total gerada pelo gerador
- **r.i** é a ddp dissipada na forma de calor
- **U** é a ddp fornecida pelo gerador para um aparelho

$U = \varepsilon - ri$

Tanto a f.e.m (ε) como a ddp entre os terminais do gerador(U), são dadas em **volt**. $1V = \dfrac{1J}{1C}$.

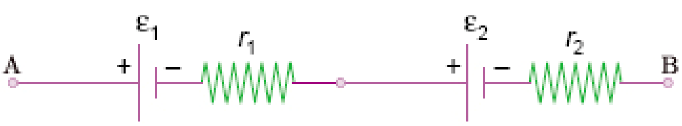
- Quando temos um **circuito aberto**: $i = 0 \Rightarrow U = \varepsilon$
- Quando temos um **curto-circuito**: $U = 0 \Rightarrow i_{CC} = \dfrac{\varepsilon}{r}$

Curva característica do gerador



Associação de geradores

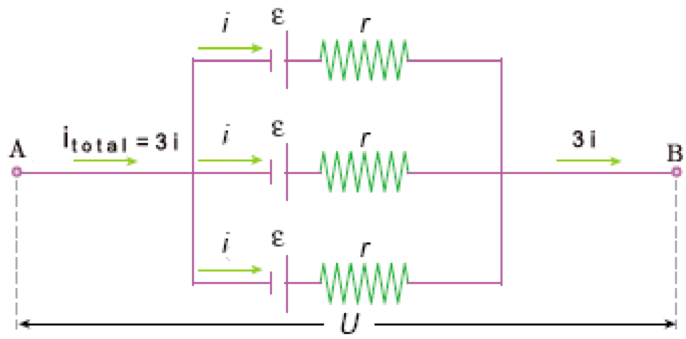
a) Geradores em série:



O gerador equivalente da associação apresentará uma f.e.m ε_{eq} e resistência interna r_{eq} dados por:

$$\begin{cases} \varepsilon_{eq} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \\ r_{eq} = r_1 + r_2 \end{cases}$$

b) Geradores <u>iguais</u> em paralelo:



Neste caso, o gerador equivalente da associação apresentará as seguintes características:

$$\begin{cases} E_{eq} = \varepsilon \\ r_{eq} = \dfrac{r}{3} \end{cases}$$

Potências de um gerador

Partindo da equação do gerador vista anteriormente, temos:

$$U = \varepsilon - ri$$

Multiplicando por i, ambos os membros da igualdade, obtemos:

$$iU = i\varepsilon - ri^2$$

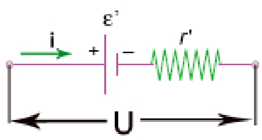
Note que os elementos $i \cdot U$, $i \cdot \varepsilon$ e $r \cdot i^2$ têm dimensão de potência elétrica. Identificando cada uma delas, vem:

$Pot_{TOTAL} = i \cdot \varepsilon$ é a **potência total gerada**
$Pot_{ÚTIL} = i \cdot U$ é a **potência fornecida ou útil**
$Pot_{DISSIPADA} = r \cdot i^2$ é a **potência dissipada** na forma de calor

O **rendimento elétrico de um gerador** mede quanto da energia gerada e transmitida aos portadores de carga (potência total gerada) está sendo efetivamente fornecida (potência útil) ao circuito. É dado por:

$$\eta = \frac{Pot_{ÚTIL}}{Pot_{TOTAL}} = \frac{Ui}{\varepsilon i} = \frac{U}{\varepsilon}$$

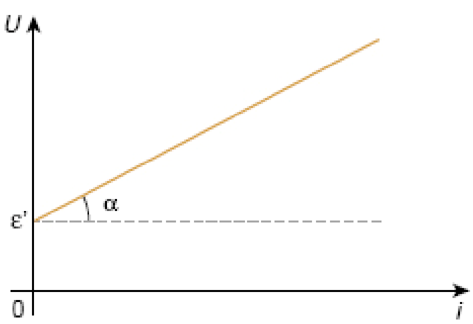
Receptor Elétrico



- **U** é a **ddp total consumida** pelo receptor (esta ddp é fornecida por um gerador ou outra fonte de energia).
- ε' é a **força contra-eletromotriz (f.c.e.m)** que pode ser interpretada como sendo a **ddp útil ou aproveitada** pelo receptor (ela representa a conversão de energia elétrica em alguma outra forma de energia, exceto calor!. Por exemplo, se o receptor em questão for um ventilador, então ε' representa a energia mecânica de rotação das pás do ventilador)
- **r'.i** é a **ddp dissipada** na forma de calor.

Nestas condições, a equação de um receptor é dada por: $U = \varepsilon' + r'i$

Curva característica do receptor



Potências de um receptor
Partindo da equação do receptor, temos:

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

Multiplicando por i, ambos os membros da igualdade, obtemos:

$$iU = i\varepsilon' + r'i^2$$

Novamente, os elementos $i \cdot U$, $i \cdot \varepsilon'$ e $r' \cdot i^2$ têm dimensão de potência elétrica. Identificando cada uma delas, vem:

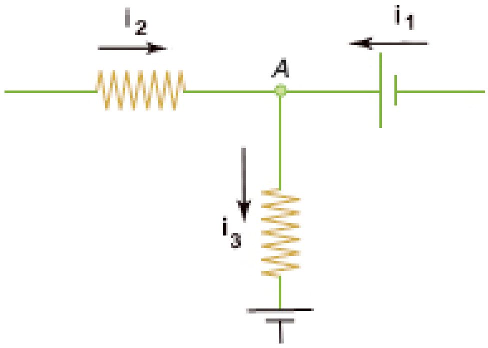
$Pot_{ÚTIL} = i \cdot \varepsilon'$	é a **potência útil ou aproveitada**
$Pot_{TOTAL} = i \cdot U$	é a **potência total consumida pelo receptor**
$Pot_{DISSIPADA} = r' \cdot i^2$	é a **potência dissipada** na forma de calor

O **rendimento de um receptor** mede quanto da energia elétrica fornecida (potência total consumida) pela corrente está sendo efetivamente convertida (potência útil) pelo receptor em outra forma de energia que não o calor. É dado por:

$$\eta = \frac{Potútil}{Pot_{TOTAL}} = \frac{\varepsilon' i}{Ui} = \frac{\varepsilon'}{U}$$

MALHAS E LEIS DE KIRCHHOFF

1ª Lei de Kirchhoff (Nós) – Expressa a conservação da carga elétrica: "A soma das intensidades das correntes que chegam a um nó é igual à soma das intensidades das correntes que saem deste nó".



$$i_1 + i_2 = i_3$$

2ª Lei de Kirchhoff (Malhas) – Expressa a conservação da energia ao longo de um caminho fechado de um circuito:

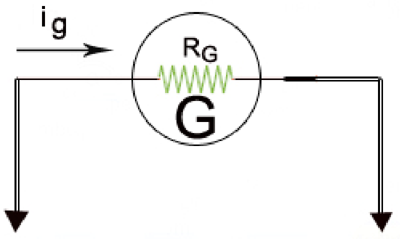
> Em qualquer malha (percurso fechado) de um circuito elétrico, a soma das tensões elétricas ao longo dessa malha é nula

MEDIDORES ELÉTRICOS

Galvanômetro
É um aparelho destinado a medir correntes e tensões elétricas de pequena intensidade (na prática em torno de 1 mA). O velocímetro do automóvel (ponteiro indicando velocidades) é um bom exemplo de galvanômetro.

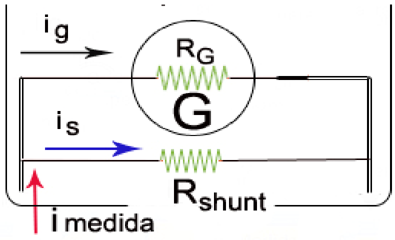
Características do galvanômetro

O galvanômetro (G) comporta-se como um resistor , cuja resistência é chamada de R_G (resistência interna).
i_G é a corrente medida pelo galvanômetro.



Amperímetro Ideal
Mede a intensidade da corrente que passa por ele. Deve ser colocado em série no trecho do circuito onde se quer medir a corrente. O amperímetro ideal possui **resistência interna NULA**.

Amperímetro Real

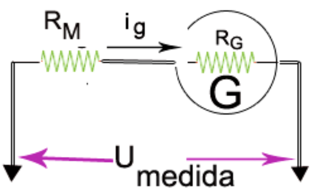


$$i_{MEDIDA} = i_S + i_G$$

$$R_G . i_G = R_{SHUNT} . i_S$$

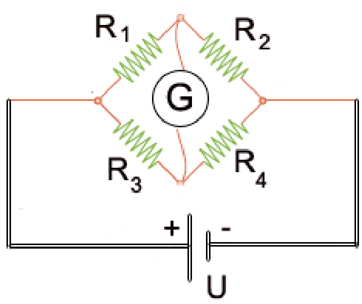
Voltímetro Ideal
Mede a diferença de potencial do trecho de circuito entre seus extremos. Deve ser colocado em paralelo com o trecho em que se quer medir a tensão elétrica. O voltímetro ideal possui **resistência interna infinita**, praticamente impossibilitando a passagem de corrente através de si.

Voltímetro Real



$$U_{MEDIDA} = U_M + U_G$$

Ponte de Wheastone
Associação de resistores utilizada na prática para medir resistências desconhecidas. Na disposição da figura, o galvanômetro indica a passagem de corrente no trecho BC. Quando a corrente através do galvanômetro for nula, dizemos que a ponte de Wheastone está em equilíbrio. Nesse caso, temos uma relação de "multiplicação em x" entre as resistências da associação:



$$i_g = 0 \Leftrightarrow R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$$

ELETROMAGNETISMO

ÍMÃS E CAMPO MAGNÉTICO

1) Características dos Ímãs

- Atraem principalmente Ferro, Níquel, Cobalto e outras ligas metálicas como o aço.
(Ímã natural : magnetita : Fe_3O_4)

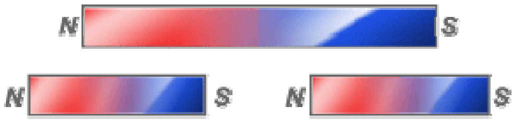
- Possuem dois pólos distintos : **Norte** e o **Sul**

A extremidade do ímã que se alinha com Norte Geográfico é o pólo ***Norte*** deste ímã, e a extremidade do ímã voltada para o Sul Geográfico é o pólo ***Sul*** deste ímã.

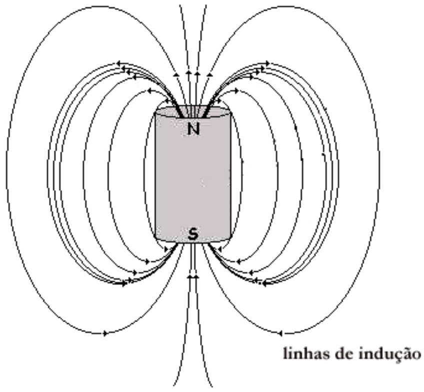
• ***Atração e Repulsão entre dois imãs***

Pólos de mesmo nome se *repelem* (ex: N –N ou S – S)
Pólos de nomes opostos se atraem (ex: N – S ou S – N)

• ***Inseparabilidade dos pólos de um ímã (domínios magnéticos de Weiss)***
Como não existem monopólos magnéticos, ou seja, pólos magnéticos isolados (só Norte ou só Sul), quando um ímã se quebra ou é cortado, dá origem a novos ímãs, como mostra a figura abaixo:

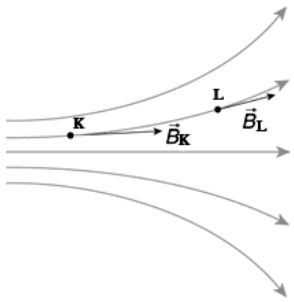


2) Campo Magnético – É a região do espaço na qual um pequeno corpo de prova (carga elétrica q) fica sujeito à ação de uma força de origem magnética.



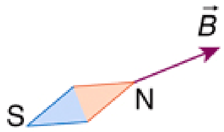
As linhas de indução de um imã "nascem" no pólo **norte** e "morrem" no pólo **sul**. Elas servem para visualizar o campo magnético além de dar uma noção da sua intensidade. Próximo aos pólos, o campo magnético é mais intenso, pois ali existe maior concentração de linhas.

O campo magnético é representado por um vetor $\vec{B}$, cuja direção é tangente à linha de indução e de sentido tal que acompanha o da linha de indução. A intensidade do vetor campo magnético é dada em **tesla** (**T**)



Nestas condições $B_K > B_L$

Uma **bússola** (ou agulha magnética) sempre se **alinha com a direção do vetor** $\vec{B}$. O pólo **Norte** indica o sentido de $\vec{B}$.



Campo Magnético Terrestre

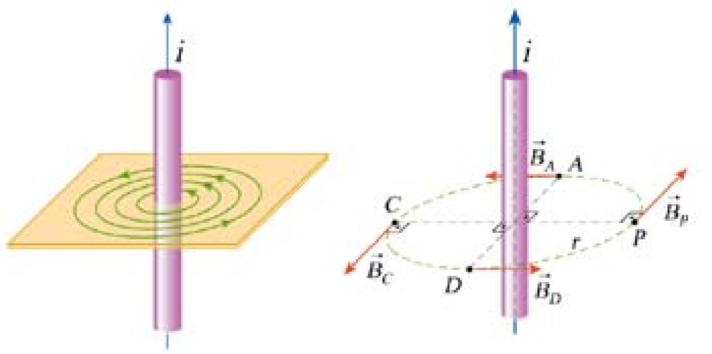
William Gilbert , em 1600, revela em seus estudos sobre magnetismo que "A Terra é um gigantesco ímã", sendo o SUL deste imenso imã localizado no pólo NORTE GEOGRÀFICO e o NORTE deste ímã localizado no pólo SUL GEOGRÁFICO (vide figura). É por esta razão que o pólo norte de uma bússola tende a apontar para o pólo norte geográfico, pois sente a atração do SUL MAGNÉTICO.

Experiência de Oersted (1824)

"Toda corrente cria, no espaço que a envolve, um campo magnético"

Uma corrente elétrica passando num fio é capaz de defletir uma bússola colocada nas proximidades do fio, indicando a presença de um campo magnético, criado pela corrente

3) Fontes de Campo Magnético
a) Campo Magnético criado por uma corrente num fio longo e retilíneo ("corrente reta")
As linhas de indução são circulares ocupando um plano perpendicular à direção do fio (vide figura)



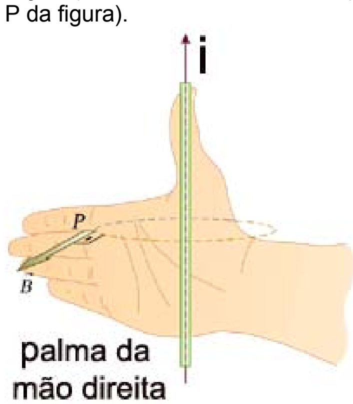
Um fio longo, transportando uma corrente ***i***, cria, a uma distância ***d*** do fio, um campo magnético $\vec{B}$ com as seguintes características:

• **Módulo:** $|\vec{B}| = \dfrac{\mu \cdot i}{2\pi \cdot d}$

onde μ é a permeabilidade magnética do meio. No vácuo, temos $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\,T \cdot m / A$.

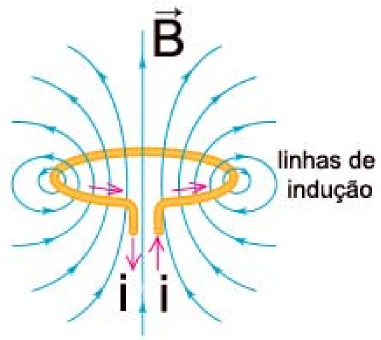
• **Direção:** Tangente à linha de indução (circular com centro no fio) nos pontos considerados (A, C, D e P da figura).

• **Sentido:** Dado pela **regra da mão direita** envolvente (o polegar representa a corrente elétrica e os demais dedos representam o campo magnético).



B) Campo Magnético criado por uma espira circular(“corrente circular”).

Quando passamos uma corrente elétrica ***i*** por uma espira circular de raio ***R***, surge no centro dessa espira um campo magnético $\vec{B}$ com as seguintes características:



Linhas de indução do campo criado por uma espira circular. Note a semelhança com o campo criado por um ímã. A face de cima da espira comporta-se como um pólo norte de um imã, enquanto que a face de baixo da espira representa um pólo sul.

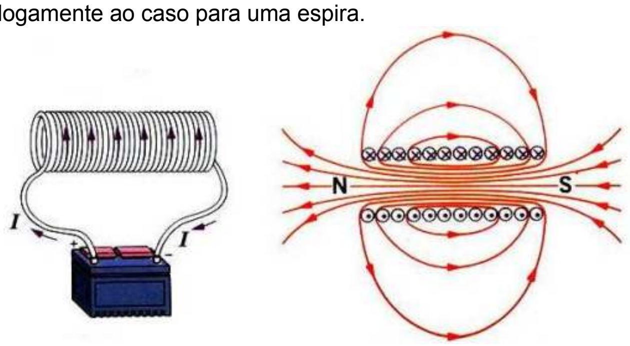
• **Módulo:** $|\vec{B}| = \dfrac{\mu \cdot i}{2 \cdot R}$

•**Direção e Sentido:** Dados pela **regra da mão direita**, polegar no sentido de circulação da corrente, demais dedos indicam a direção e o sentido do campo magnético no centro da espira.

c) Campo Magnético criado no interior de uma bobina chata – Dispondo *n* espiras circulares concêntricas de mesmo raio *R*, com cada uma delas transportando uma corrente *i*, todas circulando no mesmo sentido, o campo magnético criado no eixo comum contendo os centros dessas espiras será dado por:

• **Módulo:** $|\vec{B}| = n\dfrac{\mu \cdot i}{2 \cdot R}$

•**Direção e Sentido:** Dados pela regra da mão direita, polegar no sentido de circulação da corrente, demais dedos indicam a direção e o sentido do campo magnético no eixo comum das espiras, analogamente ao caso para uma espira.

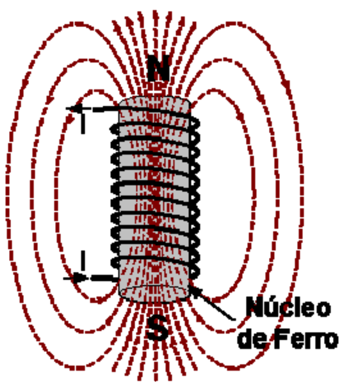


Note que o campo magnético criado pela bobina chata se assemelha ao campo magnético criado por um imã.

d) Campo magnético criado por um solenóide – Um solenóide, ou bobina longa, com *n* voltas ao longo do seu comprimento *L*, transportando uma corrente *i*, cria no seu interior um campo magnético com as seguintes características:

•**Módulo:** $|\vec{B}| = \mu \cdot \dfrac{n}{L} \cdot i$

onde μ é a permeabilidade magnética do material do núcleo (na figura é o ferro)

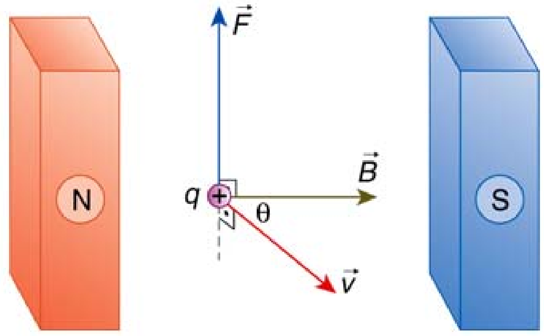


•**Direção e sentido:** Dados pela regra da mão direita, polegar no sentido de circulação da corrente, os demais dedos indicam a direção e o sentido do campo magnético no seu interior. De modo alternativo, também poderíamos enrolar os dedos ao longo do sentido de circulação da corrente, e o polegar nos dá a direção e sentido do campo magnético no interior do solenóide.

Observação: Num solenóide ideal, assumimos que o campo magnético é **uniforme** no seu interior, e **nulo** fora dele.

FORÇA MAGNÉTICA DE LORENTZ

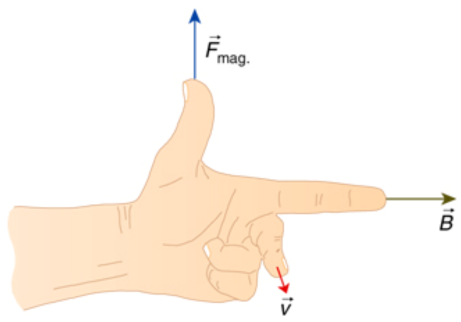
Numa carga elétrica *q* em movimento, com velocidade vetorial $\vec{v}$, mergulhada numa região onde atua um magnético $\vec{B}$, que forma um ângulo θ ($0° \le \theta \le 180°$) com o vetor velocidade $\vec{v}$, surge uma força $\vec{F}_m$ atuando nessa carga, dita **força magnética de Lorentz**, com as seguintes características:



• **Módulo:** $|\vec{F}_m| = |q| \cdot |\vec{v}| \cdot |\vec{B}| \cdot sen\theta$

•**Direção:** A Força magnética é perpendicular ao campo magnético $\vec{B}$ e à velocidade $\vec{v}$.

•**Sentido:** Dado pela **regra da mão esquerda.** O polegar indica o sentido da força magnética $\vec{F}_m$, o dedo indicador fornece o sentido do campo magnético $\vec{B}$ e o dedo médio indicará o sentido da velocidade $\vec{v}$ da partícula q.

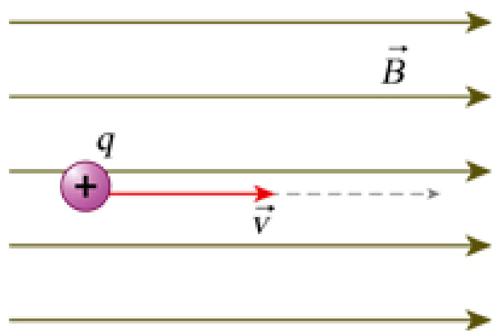


Essa regra vale para partículas positivamente carregadas (**q > 0**). Se a partícula estiver com carga elétrica negativa (**q < 0**), devemos inverter o sentido do vetor encontrado de acordo com a regra da mão esquerda.

1) Dinâmica de uma carga elétrica q lançada no interior de um campo magnético uniforme

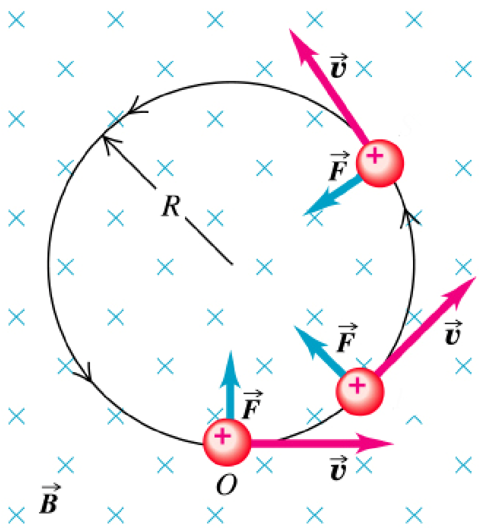
1ºcaso: Carga elétrica q lançada ***paralelamente*** ao campo magnético $\vec{B}$ **(**$\theta = 0°$ ***ou*** $\theta = 180°$**)**

A **força magnética será nula**, e desprezando os atritos e as ações gravitacionais, a partícula seguirá uma trajetória retílinea com velocidade vetorial constante, em **movimento retilíneo e uniforme (MRU)**.



2ºcaso: Carga elétrica q lançada ***perpendicularmente*** ao campo magnético $\vec{B}$ ($\theta = 90°$):

A força magnética atuará como resultante de natureza **centrípeta** . No vácuo, a partícula descreverá uma circunferência em **movimento circular uniforme (MCU)**.

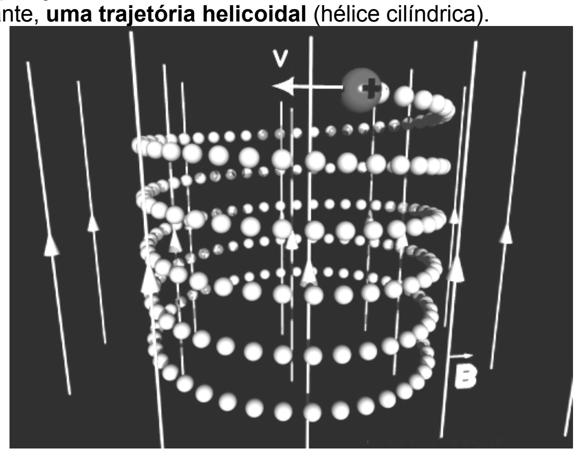


O raio ($\boldsymbol{R}$) e o período ($\boldsymbol{T}$) desse movimento são dados por:

$$R = \frac{m \cdot |\vec{v}\,|}{|\,q\,| \cdot |\vec{B}\,|} \quad \text{e} \quad T = \frac{2\pi \cdot m}{|\,q\,| \cdot |\vec{B}\,|}$$

3ºcaso: Carga elétrica q lançada ***obliquamente*** ao campo magnético $\vec{B}$ ($0° < \theta < 180°, \theta \neq 90°$)

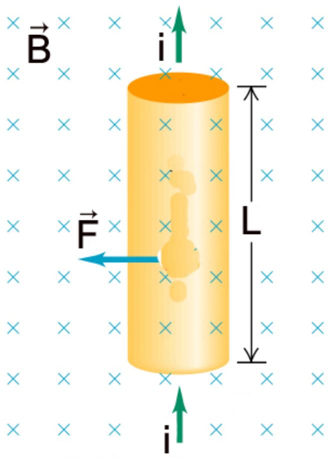
Decompomos a velocidade em uma direção paralela ao campo magnético e em outra perpendicular ao campo, obtendo uma composição de dois movimentos:
Na direção paralela, movimento retilíneo e uniforme.
No plano perpendicular, movimento circular uniforme.
A composição desses dois movimentos nos dá a forma do movimento resultante, **uma trajetória helicoidal** (hélice cilíndrica).



2) Força Magnética sobre um condutor

Num fio de comprimento ℓ, transportando uma corrente i, imerso num campo magnético $\vec{B}$, que forma um ângulo θ ($0° \leq \theta \leq 180°$) com o fio, surge uma força magnética $\vec{F}_m$ com as seguintes características:

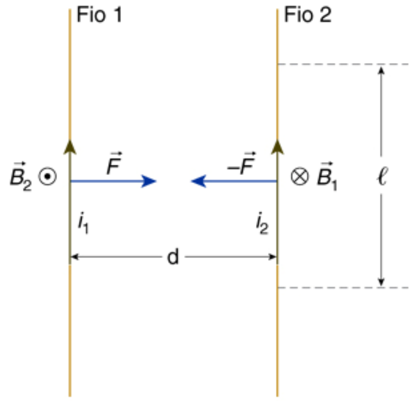
- **Módulo:** $|\vec{F}_m| = |\vec{B}\,| \cdot i \cdot \ell \cdot sen\theta$
- **Direção :** A Força magnética é perpendicular ao campo magnético $\vec{B}$ e ao condutor.
- **Sentido:** Dado pela **regra da mão esquerda**, dedo indicador no sentido do campo magnético $\vec{B}$, dedo médio no sentido da corrente i (em lugar da velocidade $\vec{v}$, na força de Lorentz), o polegar dá a direção e o sentido da força magnética $\vec{F}_m$.



3) Força magnética entre dois fios paralelos

Quando dois fios de mesmo comprimento ℓ, transportando correntes i_1 e i_2, são dispostos paralelamente um ao outro a uma distância *d*, aparece uma força magnética $\vec{F}_m$ de interação entre eles dada por:

$$|\vec{F}_m| = \frac{\mu \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot \ell}{2\pi \cdot d}$$



Tal força será de **atração** se as correntes estiverem no **mesmo sentido**, e será de **repulsão** se as correntes estiverem em **sentidos opostos**.
Obs.: Considera-se o caso de fios longos em relação à distância que os separam.

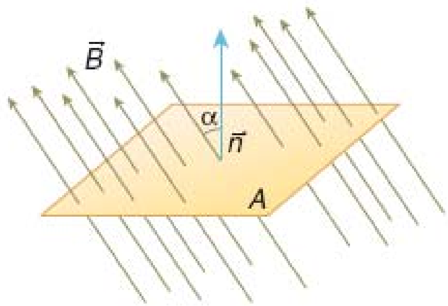
FLUXO MAGNÉTICO E INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Fluxo Magnético

Definimos o fluxo magnético como sendo o número de linhas de um campo magnético $\vec{B}$ que atravessam perpendicularmente uma determinada área A. Calculamos esse fluxo através de:

$$\phi = |\vec{B}\,| \cdot A \cdot \cos\theta$$

onde θ é o ângulo formado entre o campo magnético $\vec{B}$ e o vetor normal $\vec{n}$ à área A, de acordo com a figura:



no SI : Φ é dado em weber (Wb). **Wb =T.m²**

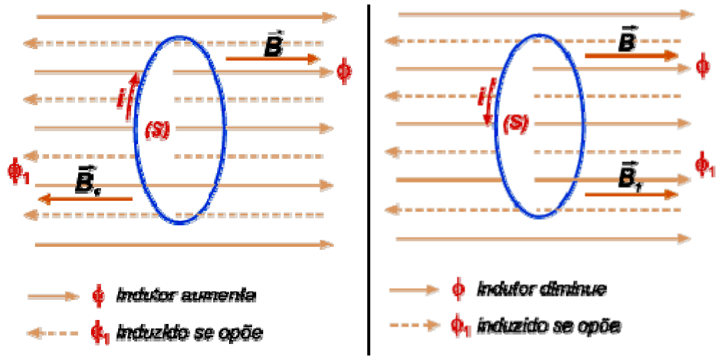
Fenômeno da Indução Eletromagnética

> Sempre que houver uma **variação de fluxo magnético** através de uma espira, nela surgirá uma corrente elétrica denominada **corrente elétrica induzida**

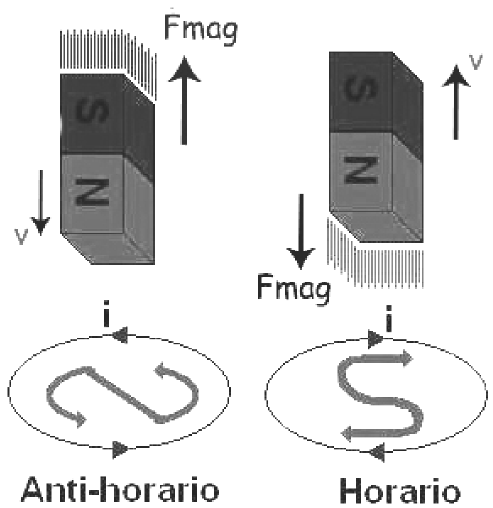
Lei de Lenz

É usada para determinar o sentido da corrente induzida.

> O sentido da corrente induzida é tal que origina um fluxo magnético induzido (na espira), que se opõe à variação do fluxo magnético indutor(ìmã)



Obs. Importante:
Sempre que a indução eletromagnética é produzida por um movimento, surge uma força contrária a este movimento. Veja este exemplo:



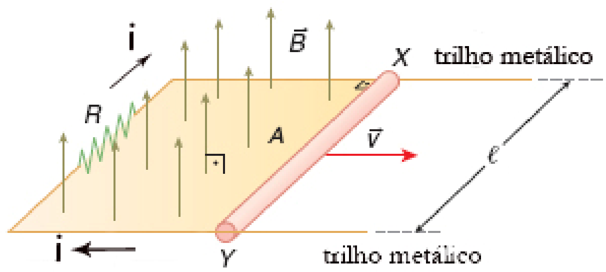
Força Eletromotriz Induzida – A f.e.m. induzida quando variamos o fluxo magnético através de uma espira é dada por:

$$E = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

O sinal negativo nessa expressão indica que a força eletromotriz induzida tende a criar um campo que contraria a variação do fluxo a que a espira está submetida, de acordo com a lei de Lenz.
No caso de termos N espiras concêntricas, a f.e.m. induzida será dada por:

$$E = -N\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

Condutor retilíneo mergulhado num campo magnético uniforme – Considere um circuito elétrico montado com um resistor de resistência *R* e um condutor, de comprimento *L*, que se move perpendicularmente aos trilhos, com velocidade constante $\vec{v}$, submetido a um campo magnético uniforme $\vec{B}$, de acordo com a figura:



A força eletromotriz induzida no circuito será dada por:

$$E = R\cdot i = |\vec{B}|\cdot L\cdot|\vec{v}|$$

APOSTILA DE REVISÃO FÍSICA – PARTE 3

TERMOMETRIA, CALORIMETRIA E DILATAÇÃO

TERMOMETRIA

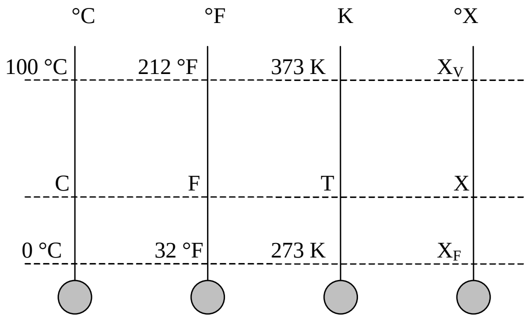
Temperatura – É a grandeza física escalar que associamos ao estado de agitação das partículas que constituem um corpo.

A unidade de temperatura no SI é o Kelvin (K), sendo esta uma das sete unidades básicas do Sistema Internacional de Unidades. Entretanto, em muitos países são utilizadas outras escalas. No Brasil, a temperatura é medida em graus Celsius (°C), e em alguns países como os Estados Unidos e Inglaterra, em graus Fahrenheit (°F).
Para podermos relacionar uma mesma temperatura em diferentes escalas, devemos estabelecer uma conversão entre essas escalas.

Escalas de Temperatura – Conversão
Uma forma de conversão de temperatura é a partir dos pontos de fusão e ebulição de uma substância qualquer. Com isso, podemos obter a seguinte relação:

$$\frac{C}{5}=\frac{F-32}{9}=\frac{T-273}{5}=\frac{X-X_F}{X_V-X_F}$$

onde X é a medida numa escala arbitrária, sendo X_F e X_V as medidas correspondentes às temperaturas de fusão e vaporização da água, ou outra substância qualquer, nessa escala.



Observe que uma variação de 100 °C corresponde a uma variação de 180 °F e a uma variação de 100 K. Em particular, variações de temperatura nas escalas Celsius e Kelvin são iguais. Temos que:

$$\Delta C=\Delta T=\frac{5}{9}\Delta F$$

CALORIMETRIA

Energia Térmica – É a soma das energias cinéticas de todas as partículas que constituem um corpo.

Calor – É a energia térmica em trânsito de um corpo para outro, motivada por uma diferença de temperatura entre eles. Sendo uma forma de energia térmica, sua unidade de medida no SI é o Joule (J), embora, na prática, seja bastante utilizada também a caloria (1 cal = 4,186 J). Lembrando que uma caloria alimentar, representada por Cal ("C" maiúsculo) equivale a 1000 calorias físicas.
Assim, **só existe troca de calor entre dois corpos se entre eles existir uma diferença de temperaturas**. O calor se transfere do corpo mais quente para o corpo mais frio, até que os dois atinjam a mesma temperatura final de equilíbrio.
Quando dois corpos estão à mesma temperatura, dizemos que eles estão em **equilíbrio térmico**, e nesse caso não há troca de calor entre eles.

Lei Zero da Termodinâmica – Dados três corpos A, B e C, se A está em equilíbrio térmico com B, e B também está em equilíbrio térmico com C, então A e C estão em equilíbrio térmico entre si.

Calor Sensível – Calor necessário para produzir exclusivamente uma variação na temperatura de um determinado corpo. É dado por:

$$Q=m\cdot c\cdot\Delta\theta=C\cdot\Delta\theta$$

$C=m\cdot c$ é chamada de capacidade térmica de um corpo, e c é o calor específico sensível de um corpo.

$$\begin{cases}Q>0\Leftrightarrow\Delta\theta>0\Leftrightarrow\text{corpo recebe calor}\\Q<0\Leftrightarrow\Delta\theta<0\Leftrightarrow\text{corpo cede calor}\end{cases}$$

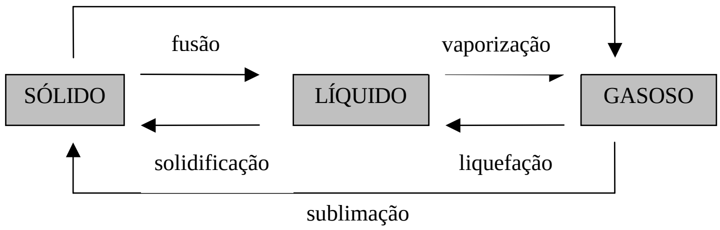
Calor Latente – Calor responsável por produzir exclusivamente uma mudança de estado físico num determinado corpo. É dado por:

$$Q=m\cdot L\ ,$$

onde L é o calor latente da mudança de estado.

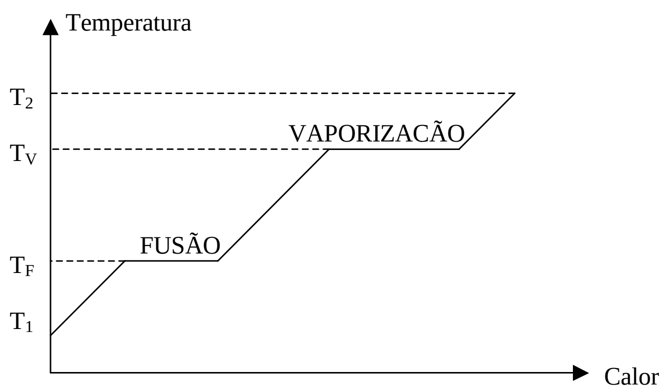
$$\begin{cases}Q>0\Leftrightarrow L>0\Leftrightarrow\text{mudança endotérmica}\\Q<0\Leftrightarrow L<0\Leftrightarrow\text{mudança exotérmica}\end{cases}$$

Mudanças **endotérmicas** são aquelas em que o corpo absorve calor para mudar de estado, como por exemplo, a fusão e a vaporização, enquanto as **exotérmicas** são aquelas em que o corpo libera calor ao mudar de estado, como por exemplo, a solidificação e a liquefação.



Numa substância pura submetida à pressão constante, enquanto transcorre uma mudança de estado, a temperatura se mantém constante.

Gráfico de mudança de estado:



Quando colocamos diversos corpos, a diferentes temperaturas, em contato térmico, ocorrem trocas de calor entre eles até que seja atingido o equilíbrio térmico. Durante esse processo, podem ocorrer inclusive mudanças de estado físico de alguns deles. Se pudermos desprezar as perdas de calor para o ambiente (por exemplo, num sistema adiabático), a temperatura final de equilíbrio pode ser encontrada impondo a conservação da energia do sistema.
Equilíbrio Térmico: $\sum Q_{CEDIDO}+\sum Q_{RECEBIDO}=0$

PROPAGAÇÃO DO CALOR

Condução – A energia térmica vai sendo transmitida de uma molécula para outra do corpo. O fluxo de calor que se estabelece nesse caso será diretamente proporcional à área A e à diferença de temperatura $\Delta\theta$, e inversamente proporcional ao comprimento L (espessura).

$$\phi=\frac{Q}{\Delta t}=\frac{k\cdot A\cdot\Delta\theta}{L}$$

Convecção – A energia térmica é transmitida através do deslocamento de porções do material.

Radiação – A energia térmica é transmitida através de ondas eletromagnéticas (ondas de calor).

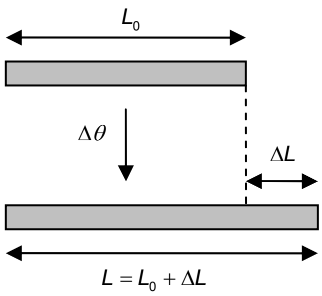
Os fenômenos da condução e da convecção necessitam de um meio material para sua ocorrência, enquanto a radiação, por ser transmissão através de ondas eletromagnéticas, pode ocorrer no vácuo (como o calor vindo do Sol, por exemplo).

DILATAÇÃO

Dilatação Linear – Quando a variação das medidas de um corpo, devido a uma variação de temperatura, é significante em apenas uma dimensão, temos a dilatação linear.

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

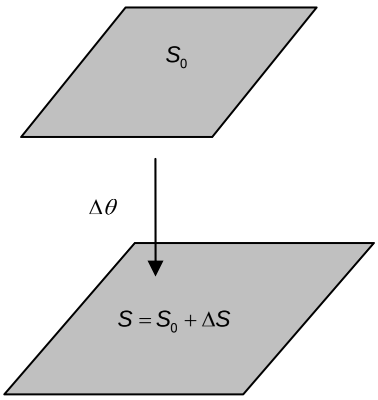
$$L = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$$



Dilatação Superficial – Quando a variação das medidas de um corpo, devido a uma variação de temperatura, é significante em apenas duas dimensões, temos a dilatação superficial. Se a superfície considerada possuir um orifício, este irá dilatar/contrair comportando-se como se fosse constituído do mesmo material que a superfície.

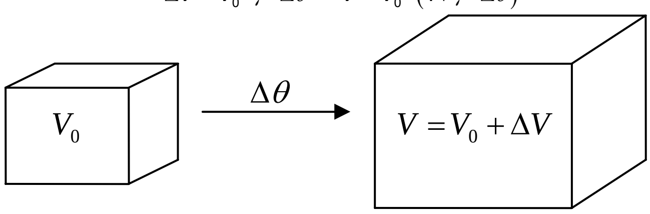
$$\Delta S = S_0 \cdot \beta \cdot \Delta\theta$$

$$S = S_0 \cdot (1 + \cdot \beta \cdot \Delta\theta)$$



Dilatação Volumétrica – Quando a variação das medidas de um corpo, devido a uma variação de temperatura, é significante em todas as dimensões, temos a dilatação superficial. Da mesma forma que a dilatação superficial, o volume interno delimitado por um objeto volumétrico, comportar-se-á da mesma forma como se fosse constituído do material do próprio objeto.

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta \qquad V = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta\theta)$$



Relação entre os coeficientes de dilatação:

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

Dilatação em Líquidos – Nos líquidos, ocorre exclusivamente a dilatação volumétrica. Porém, como o líquido estará sempre contido dentro de um recipiente, devemos também levar em conta o efeito da dilatação, devido à variação de temperatura, sobre o frasco que o contém. Visualmente, o que observamos é apenas a dilatação aparente. Para obtermos a dilatação real, devemos somar a dilatação aparente com a dilatação do recipiente.

$$\Delta V_{LÍQUIDO} = \Delta V_{FRASCO} + \Delta V_{APARENTE}$$

com

$$\gamma_{LÍQUIDO} = \gamma_{FRASCO} + \gamma_{APARENTE}$$

GASES PERFEITOS

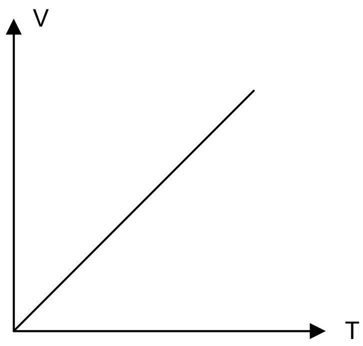
A equação de Clapeyron relaciona as três variáveis de estado de um gás: **pressão, volume** e **temperatura**.

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

Onde n é o número de mols do gás, R é a constante universal dos gases perfeitos: $R = 0{,}082 \dfrac{atm \cdot L}{mol \cdot K} = 8{,}31 \dfrac{J}{mol \cdot K}$

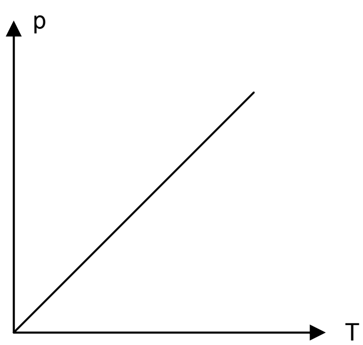
Se a pressão é constante (**transformação isobárica**):

$V = k_1 \cdot T$ (Lei de Gay-Lussac)



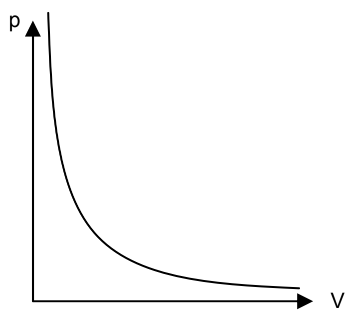
Se o volume é constante (**transformação isométrica**):

$p = k_2 \cdot T$ (Lei de Charles)



Se a temperatura é constante (**transformação isotérmica**):

$p = \dfrac{k_3}{V}$ (Lei de Boyle-Mariotte)



Quando o número de mols permanece constante durante a transformação, temos a Lei Geral dos Gases Perfeitos:

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

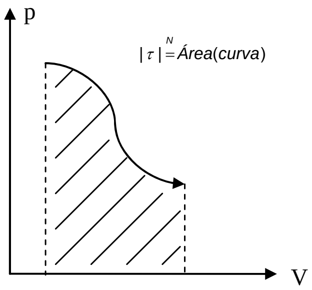
Numa mistura de k gases perfeitos, supondo que eles não reajam entre si, temos que $n_M = n_1 + ... + n_k$

Portanto:

$$\frac{p_M \cdot V_M}{T_M} = \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} + ... + \frac{p_k \cdot V_k}{T_k}$$

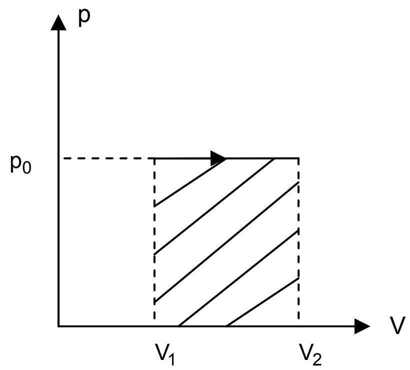
TERMODINÂMICA

Trabalho – Dizemos que um gás **realiza trabalho** quando sofre uma transformação na qual o seu volume aumenta, e que ele **recebe trabalho** quando sofre uma transformação na qual o seu volume diminui. Quando a transformação sofrida pelo gás é caracterizada através de um gráfico da pressão em função do volume, o módulo do trabalho é numericamente igual à área delimitada pela curva e pelo eixo das abscissas.



$$\begin{cases} \tau > 0 \Leftrightarrow \text{Volume aumentou} \\ \tau < 0 \Leftrightarrow \text{Volume diminuiu} \\ \tau = 0 \Leftrightarrow \text{Volume constante} \end{cases}$$

Em particular, numa transformação isobárica (a pressão constante), temos:



$$\tau = p_0 \cdot \Delta V = p_0 \cdot (V_2 - V_1)$$

Tipos de aquecimento de um sistema

Os mais importantes tipos de aquecimento de um determinado sistema são o aquecimento isobárico (a pressão constante), o aquecimento isotérmico (a temperatura constante) e o aquecimento isocórico (ou isovolumétrica ou isométrica: a volume constante).

O calor recebido tanto a pressão quanto a volume constante por um sistema varia sua temperatura sendo, portanto, um calor sensível.

a) Quantidade de calor sensível num aquecimento isobárico (Q_P)

$Q_P = m \cdot c_P \cdot \Delta T$, sendo que:

$\rightarrow$ *m* é a massa

$\rightarrow$ c_P é o calor específico à pressão constante.

$\rightarrow$ ΔT é a variação de temperatura.

A massa pode ser dada por: $m = n \cdot M$ (*n* é o número de mols e *M* é a massa molar). Assim:

$Q_P = n \cdot M \cdot c_P \cdot \Delta T = n \cdot C_P \cdot \Delta T$, onde $C_P = M \cdot c_P$ é o calor molar à pressão constante do gás.

b) Quantidade de calor sensível num aquecimento isocórico (Q_V)

A quantidade de calor é dada por: $Q_V = m \cdot c_V \cdot \Delta T$, onde:

$\rightarrow$ *m* é a massa

$\rightarrow$ c_V é o calor específico à volume constante.

$\rightarrow$ ΔT é a variação de temperatura.

A massa pode ser dada por: $m = n \cdot M$ (*n* é o número de mols e *M* é a massa molar). Assim:

$Q_V = n \cdot M \cdot c_V \cdot \Delta T = n \cdot C_V \cdot \Delta T$, onde $C_V = M \cdot c_V$ C_V é o calor molar à volume constante do gás.

Relação entre C_P , C_V e R $\rightarrow$ $C_P - C_V = R$

Energia interna

Todos os corpos são formados por partículas (átomos e moléculas). Estas partículas estão em constante movimento e ainda exercem forças mútuas (Gravitacional, Eletromagnética, etc.). Ao movimento das partículas associa-se a energia cinética (de translação e/ou de vibração e/ou de rotação) enquanto que às ações mútuas associa-se a energia potencial. O somatório de todas essas formas de energia é denominado **ENERGIA INTERNA OU ENERGIA PRÓPRIA**.

Teorema de Boltzmann

"Se um sistema de moléculas se encontra em equilíbrio térmico, para uma temperatura absoluta *T*, então a ***energia cinética média*** se distribui igualmente entre todos os graus de liberdade, e é igual a $\frac{1}{2} \cdot k \cdot T$, onde *k* é a constante de Boltzmann."

$\Rightarrow$ Os gases monoatômicos apresentam como único movimento definido para as moléculas deste gás é o movimento de translação. Como este movimento pode ser decomposto em três direções, tem-se três graus de liberdade.

Podemos dizer que para gases monoatômicos, a energia interna é dada por $U = \frac{3}{2} n \cdot R \cdot T$, onde *n* = é o número de mols; *R* = constante universal dos gases; *T* = temperatura absoluta.

1ª Lei da Termodinâmica – O calor (recebido ou fornecido) por um gás é em parte convertido em trabalho (realizado ou recebido) e parte convertido em energia interna.

$$Q = \tau + \Delta U$$

O enunciado da 1ª Lei da Termodinâmica expressa a conservação da energia de um sistema: o calor que não é aproveitado em forma de trabalho é armazenado sob a forma de energia interna.

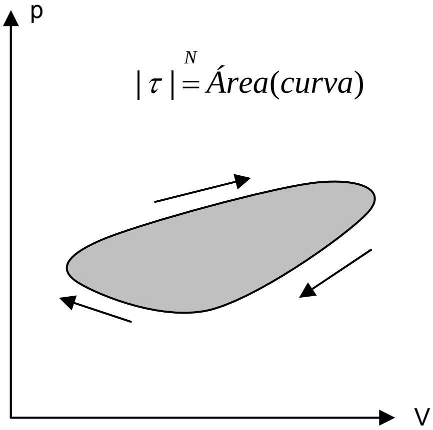
As convenções de sinal são as seguintes:

$$\begin{cases} Q > 0 \Leftrightarrow \text{Calor recebido pelo gás} \\ Q < 0 \Leftrightarrow \text{Calor cedido pelo gás} \\ Q = 0 \Leftrightarrow \text{Transformação Adiabática} \Leftrightarrow \tau = -\Delta U \end{cases}$$

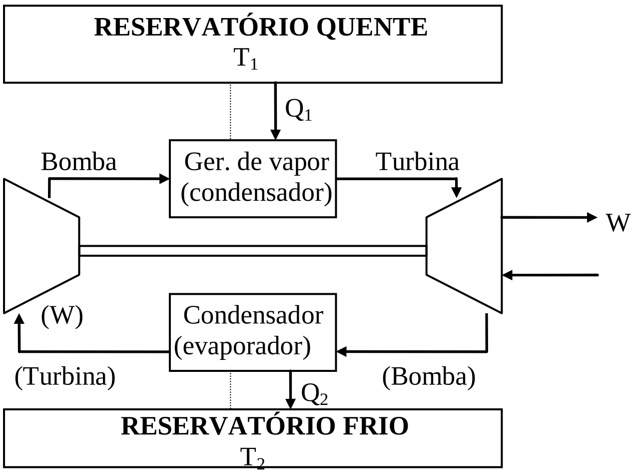
$$\begin{cases} \tau > 0 \Leftrightarrow \Delta V > 0 \text{ (Expansão)} \Leftrightarrow \text{Gás realiza trabalho} \\ \tau < 0 \Leftrightarrow \Delta V < 0 \text{ (Compressão)} \Leftrightarrow \text{Gás recebe trabalho} \\ \tau = 0 \Leftrightarrow \Delta V = 0 \text{ (Transformação Isómétrica)} \Leftrightarrow Q = \Delta U \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Delta U > 0 \Leftrightarrow \Delta T > 0 \text{ (Aquecimento)} \\ \Delta U < 0 \Leftrightarrow \Delta T < 0 \text{ (Resfriamento)} \\ \Delta U = 0 \Leftrightarrow \Delta T = 0 \text{ (Transformação Isotérmica)} \end{cases}$$

Num ciclo, a área dentro da curva fechada dá o módulo do trabalho realizado (sentido horário, $\tau > 0$) ou recebido (sentido anti-horário, $\tau < 0$). Além disso, a variação de energia interna num ciclo é nula ($\Delta U_{CICLO} = 0$).



Máquinas Térmicas – Uma máquina térmica realiza trabalho retirando calor de uma fonte quente, a uma temperatura T_1 e rejeitando calor para uma fonte fria, a uma temperatura T_2 (com $T_2 < T_1$).



O trabalho realizado, nesse caso, será dado pela diferença entre o calor retirado da fonte quente e o calor rejeitado para a fonte fria:

$$\tau = Q_1 - Q_2$$

A eficiência da máquina térmica será dada pela fração do calor fornecido pela fonte quente (Q_1) que é efetivamente convertido em trabalho (τ).

$$\eta = \frac{\tau}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

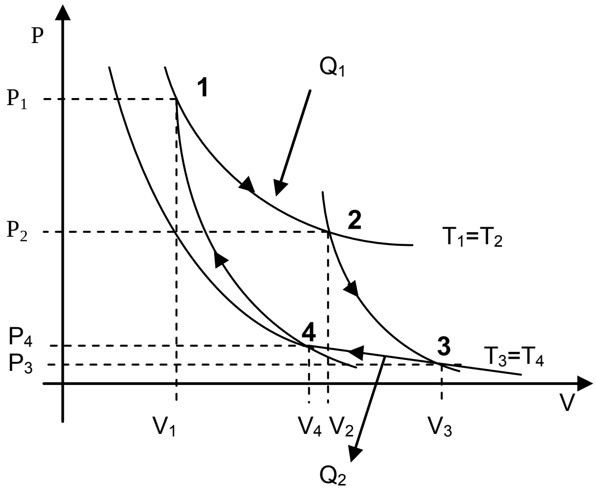
A 2ª Lei da Termodinâmica, entretanto, diz que a eficiência de uma máquina térmica nunca será igual a 100%.
.

2ª Lei da Termodinâmica – Uma máquina térmica operando num ciclo não consegue transformar integralmente todo o calor que recebe em trabalho. O rendimento máximo é aquele conseguido no ciclo de Carnot.

$\eta_{MÁX} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ (rendimento do ciclo de Carnot), com:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{Q_2}{Q_1}$$

O ciclo de Carnot está representado abaixo, operando entre duas adiabáticas (23 e 41), e duas isotermas (12 e 34).



OBS.: Máquinas de refrigeração realizam os processos citados acima de maneira inversa, retirando calor da fonte fria, sofrendo trabalho e cedendo calor para a fonte quente.

ONDAS

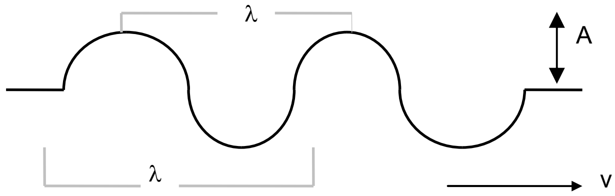
Onda – É toda perturbação que se propaga.

A propriedade fundamental de uma onda é que ela transporta energia sem transportar matéria.

Quanto à **natureza**, uma onda pode ser:
Mecânica – propaga-se apenas em meios materiais.
Eletromagnética – propaga-se tanto em meios materiais quanto no vácuo.

Quanto à **direção de vibração**, uma onda pode ser:
Transversal – a direção de propagação é perpendicular à direção de vibração.
Longitudinal – a direção de propagação é a mesma da direção de vibração.
Mista – ocorre propagação tanto na direção de vibração quanto numa direção perpendicular a ela.

Elementos de uma onda:
Período (*T*) – Intervalo de tempo que uma onda leva para completar uma oscilação.
Frequência (*f*) – Número de ciclos que a onda completa num determinado intervalo de tempo.
Comprimento de onda (λ) – Distância que a onda percorre num intervalo de tempo igual a um período.
Amplitude (*A*) – Máxima distância que um ponto da onda atinge na vertical a partir da posição de equilíbrio.
Velocidade de propagação – Razão entre a distância percorrida e o intervalo de tempo correspondente.



Relação fundamental: $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$

Equação da Onda:

$$y(x;t) = A \cdot \cos(k \cdot x - \omega \cdot t + \phi_0) = A \cdot \cos(\frac{2\pi}{\lambda} x - \frac{2\pi}{T} t + \phi_0)$$

Intensidade de uma onda esférica – Uma onda tridimensional se propaga em todas direções como uma superfície esférica, e sua intensidade (I), a uma distância r da fonte de origem dessas ondas, é dada por $I = \frac{Pot}{S} = \frac{Pot}{4\pi \cdot r^2}$

Onde $Pot = \frac{E_{TR}}{\Delta t}$ é a potência transmitida pela onda, definida como o quociente da energia (E_{TR}) que a onda está transportando por uma determinada área S que a mesma atravessa.

Corda submetida a tensão – Quando uma corda, de densidade linear μ, está sendo mantida tensa pela ação de uma força $\vec{F}$, podemos relacionar a velocidade de propagação de uma onda nessa corda com o módulo da força tensora através da relação de Taylor:

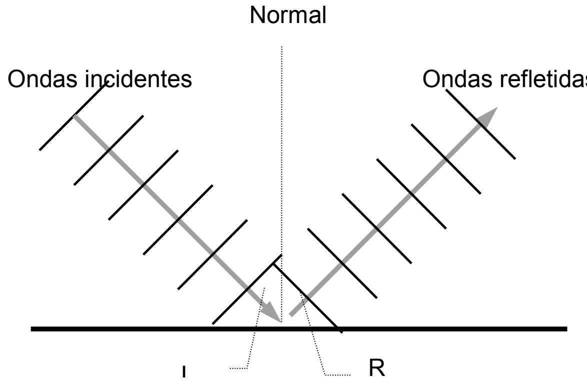
$$v = \sqrt{\frac{|\vec{F}|}{\mu}}$$

REFLEXÃO DE ONDAS

Ângulo de incidência (i) = Ângulo de reflexão (r)

Na reflexão de uma onda, **permanecem inalterados**: o **comprimento de onda**, a **frequência** e, por conseguinte, a **velocidade** de propagação.

> Haverá inversão de fase na reflexão se a onda estiver se propagando de um meio menos para um meio mais refringente. Caso contrário não haverá inversão de fase.

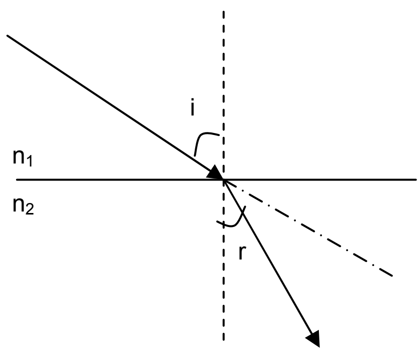


REFRAÇÃO DE ONDAS

Na refração de uma onda vale a Lei de Snell-Descartes, onde:

$$n_1 \cdot sen(i) = n_2 \cdot sen(r),$$

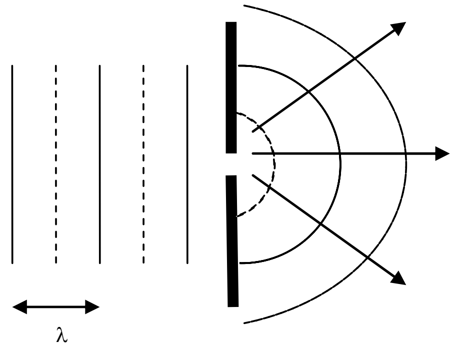
onde $n = \frac{c}{v}$ é o índice de refração de cada meio.



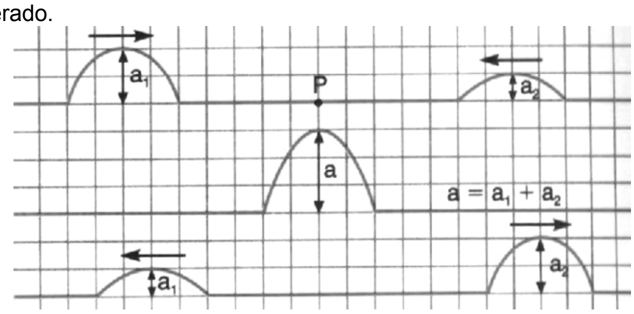
Na refração de uma onda, **permanecem inalteradas**: a **fase** e a **frequência** da onda.

DISPERSÃO E INTERFERÊNCIA DE ONDAS

Difração – Mudança da direção de propagação da onda ao passar por uma fenda de tamanho comparável ao seu comprimento de onda.

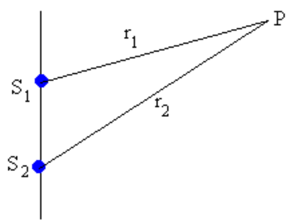


Superposição de Ondas – Quando dois pulsos propagando-se em sentidos opostos se encontram, temos uma superposição desses pulsos. Após o encontro, os pulsos continuam seu caminho sem que nenhuma propriedade (período, velocidade, frequência, etc) tenha se alterado.



Interferência Construtiva – ocorre quando as amplitudes das ondas se somam.
Interferência Destrutiva – ocorre quando as amplitudes das ondas se cancelam.

Análise das diferenças de caminhos:



Ondas em concordância de fase:
Interferência construtiva:

$$\Delta r = n \cdot \lambda, \ n \in Z$$

Interferência destrutiva:

$$\Delta r = n\frac{\lambda}{2}, \ n \text{ ímpar} \in Z$$

Ondas em oposição de fase:
Interferência construtiva:

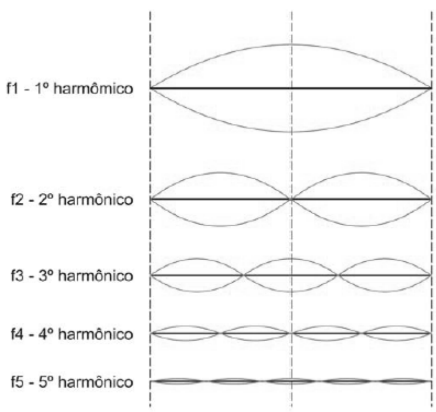
$$\Delta r = n\frac{\lambda}{2}, \ n \text{ ímpar} \in Z$$

Interferência destrutiva:

$$\Delta r = n \cdot \lambda, \ n \in Z$$

ONDAS ESTACIONÁRIAS

Ondas estacionárias – Numa corda de comprimento L, e com seus dois extremos fixos, podemos produzir pulsos idênticos de onda propagando-se em sentidos contrários. O resultado é a formação de ondas estacionárias. O número de ventres que se formam dão origem ao n-ésimo harmônico, como ilustra a figura ao lado.



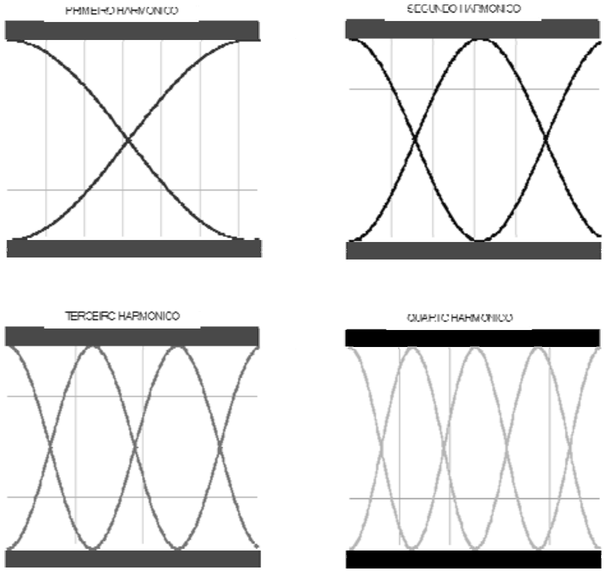
Assim, o número de ventres formados corresponde ao número de vezes em que o comprimento total da corda foi subdividido em meio comprimento de onda.

$$L = n\frac{\lambda}{2}, \text{ com } n = 1; 2; 3; 4; ... \Rightarrow f_n = n\frac{v}{2L}$$

TUBOS SONOROS

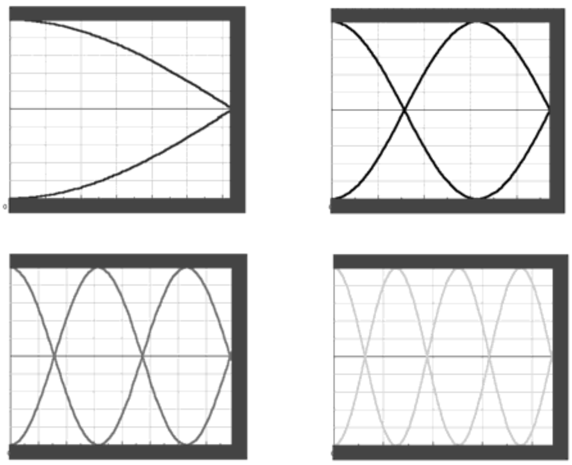
Tubos Abertos:

$L = n\dfrac{\lambda}{2}$, com $n = 1; 2; 3; 4; ... \Rightarrow f_n = n\dfrac{v}{2L}$ (semelhante a onda estacionária numa corda)



Tubos Fechados:

$L = (2n-1)\dfrac{\lambda}{4}$, com $n = 1;2;3;4;... \Rightarrow f_{(2n-1)} = (2n-1)\dfrac{v}{4L}$



ACÚSTICA

Altura de um som – distingue sons de baixa frequência (graves) daqueles de alta frequência (agudos).
Intensidade – distingue os sons fortes dos fracos, está relacionada à amplitude da onda emitida.
Timbre – distingue a fonte que emite o som, está relacionado à forma da onda emitida.

Intensidade de um som em relação a uma referência:

$$S - S_0 = k \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

Efeito Doppler-Fizeau – Variação da frequência percebida por um observador que está em movimento relativo em relação a uma fonte emissora de ondas. A frequência aparente é dada por:

$$f_{AP} = \left(\frac{v_S \pm v_O}{v_S \mp v_F}\right) f$$

A convenção de sinais, nesse caso, é a seguinte:

No numerador: $\begin{cases} +, \text{ se o observador se aproxima} \\ -, \text{ se o observador se afasta} \end{cases}$

No denominador: $\begin{cases} -, \text{ se a fonte se aproxima} \\ +, \text{ se a fonte se afasta} \end{cases}$

Ou ainda, podemos considerar o sinal de acordo com o sistema de referencial abaixo considerando os movimentos progressivos como positivos e retrógrados com sinal negativo.