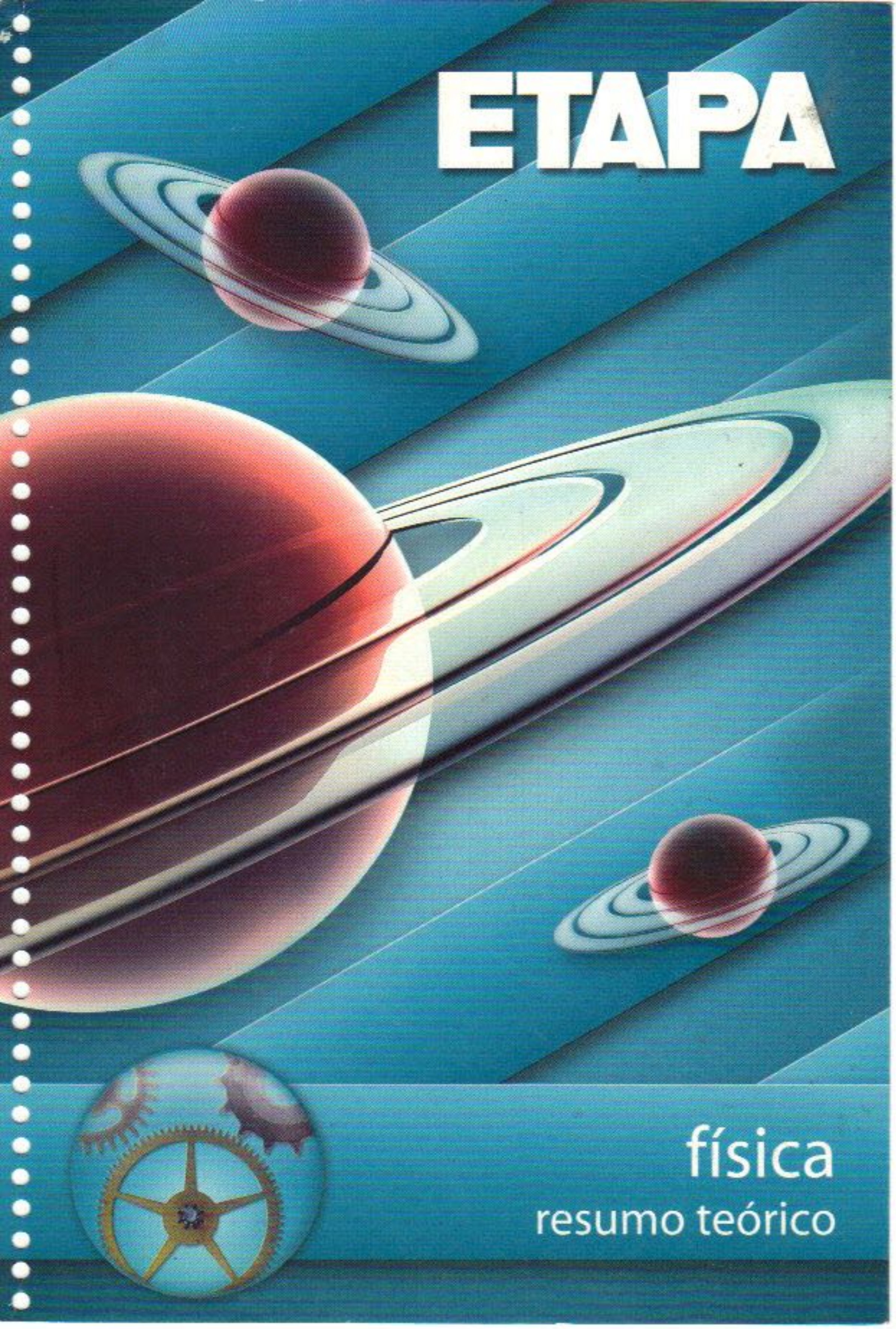
ETAPA



física

resumo teórico

UNIDADES E TABELAS

PREFIXOS

Valor	Prefixo	Símbolo
10^{-24}	yocto	y
10^{-21}	zepto	z
10^{-18}	atto	a
10^{-15}	femto	f
10^{-12}	pico	p
10^{-9}	nano	n
10^{-6}	micro	μ
10^{-3}	mili	m
10^{-2}	centi	c
10^{-1}	deci	d

Valor	Prefixo	Símbolo
10	deca	da
10^{2}	hecto	h
10^{3}	quilo	k
10^{6}	mega	M
10^{9}	giga	G
10^{12}	tera	T
10^{15}	peta	P
10^{18}	exa	E
10^{21}	zetta	Z
10^{24}	yotta	Y

ALFABETO GREGO

Maiúscula	Minúscula	Pronúncia
Α	α	alfa
Β	β	beta
Γ	γ	gama
Δ	δ	delta
Ε	ε	epsílon
Ζ	ζ	dzeta
Η	η	eta
Θ	θ	teta
Ι	ι	iota
Κ	κ	capa
Λ	λ	lambda
Μ	μ	mi

Maiúscula	Minúscula	Pronúncia
Ν	ν	ni
Ξ	ξ	ksí
Ο	ο	ômicron
Π	π	pi
Ρ	ρ	rô
Σ	σ	sigma
Τ	τ	tau
Υ	υ	ípsilon
Φ	φ	fi
Χ	χ	quí
Ψ	ψ	psí
Ω	ω	ômega

SISTEMAS SI, CGS, MK*S E MTS

	SI	CGS	MK*S (Técnico)	MTS
Comprimento	m	cm	m	m
Massa	kg	g	utm	t
Tempo	s	s	s	s
Força	N	dyn	kgf	sth
Pressão	Pa	dyn/cm^2	kgf/m^2	pz
Energia	J	erg	kgm	kJ
Potência	W	erg/s	kgm/s	kW

Símbolo	Nome	Símbolo	Nome	Símbolo	Nome
m	metro	W	watt	t	tonelada
g	grama	dyn	dina	sth	esteno
s	segundo	erg	erg	pz	piezo
N	newton	utm	unidade técnica de massa		
Pa	pascal	kgf	quilograma-força		
J	joule	kgm	quilogrâmetro		

$1\ N = 10^5\ dyn$ $1\ kgf = 9{,}8\ N$ $1\ utm = 9{,}8\ kg$

OUTRAS UNIDADES

Unidade	Símbolo	Conversão
polegada	in	2,54 cm
pé	ft	12 in
angström	Å	10^{-10} m
fermi	f	10^{-15} m
milha terrestre	mi	1 609 m
milha marítima	–	1 852 m
are	–	100 m^2
acre	–	4 046,8 m^2
alqueire de São Paulo	–	24 200 m^2

alqueire de Minas e Goiás	—	48 400 m^2
alqueire do Norte	—	27 224 m^2
litro	ℓ ou L	1 dm^3
tonelada	t	10^3 kg
libra	lb	453,6 g
onça	oz	28,35 g
quilate	—	0,2 g
unidade (unificada) de massa atômica	u	$1{,}660 \cdot 10^{-27}$ kg
minuto	min	60 s
hora	h	60 min
dia	d	24 h
segundo (ângulo)	"	—
minuto (ângulo)	'	60"
grau	°	60'
radiano	rad	$180^o/\pi$
esterradiano (ângulo sólido)	sr	—
nó	nó	1 milha marítima por hora
caloria	cal	4,1868 J
elétron-volt	eV	$1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J
quilowatt-hora	kWh	$3{,}6 \cdot 10^6$ J
cavalo-vapor	cv	735,5 W
horse-power	hp	746 W
bar	bar	10^5 Pa
atmosfera	atm	101 325 Pa
milímetro de mercúrio	mmHg	1/760 atm
metro coluna de água	mH_2O	9 806,65 N/m^2
torricelli	torr	1 mmHg
grama-força	gf	10^{-3} kgf
tonelada-força	tf	10^3 kgf

Observação: até agora não introduzimos nenhuma grandeza elétrica, pois atualmente só se usa, em eletricidade, o *Sistema Internacional de Unidades,* que será apresentado em seguida.

SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

A 9ª *Conferência Geral de Pesos e Medidas* (CGPM), realizada em 1948, encarregou o Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM) de estudar o estabelecimento de uma regulamentação completa das unidades de medida. Em 1960, a 11ª CGPM adotou o *Sistema Internacional de Unidades* com abreviação internacional SI. O que está exposto a seguir é baseado na 15ª CGPM, realizada em 1975.

No SI temos três classes de unidades: unidades de base, unidades suplementares e unidades derivadas.

Faz parte do SI o conjunto de prefixos apresentado no primeiro item.

Unidades de Base

Grandeza	Nome	Símbolo
comprimento	metro	m
massa	quilograma	kg
tempo	segundo	s
intensidade de corrente elétrica	ampère	A
temperatura termodinâmica	kelvin	K
intensidade luminosa	candela	cd
quantidade de matéria	mol	mol

Os nomes das grandezas de base, com exceção da *candela*, são todos masculinos.

Os *nomes* das unidades têm letras minúsculas (mesmo quando provêm de nomes próprios, com exceção do grau Celsius).

Os *símbolos* das unidades são expressos com letras minúsculas; no entanto, se os símbolos derivam de nomes próprios, a *primeira* letra do *símbolo* deve ser maiúscula. Os símbolos não mudam no plural.

Os múltiplos e submúltiplos do quilograma são formados pelo acréscimo dos prefixos à palavra "grama".

Unidades Suplementares

Grandeza	Nome	Símbolo
ângulo plano	radiano	rad
ângulo sólido	esterradiano	sr

Unidades Derivadas

As unidades derivadas são constituídas, a partir de unidades de bases, por expressão envolvendo multiplicações ou divisões. As multiplicações são indicadas por pontos, os quais podem ser suprimidos quando não houver possibilidade de confusão. Para indicar a divisão, pode-se utilizar a barra inclinada (/), o traço horizontal ou potências negativas. Nos casos mais complexos é conveniente usar parênteses.

Algumas unidades não têm nome especial, como, por exemplo: velocidade, volume, etc.

Na tabela a seguir, temos apenas unidades com nome especial:

Grandeza	Nome	Símbolo	Expressão em Outras Unidades	Expressão em Unidades SI de Base
freqüência	hertz	Hz	—	s^{-1}
força	newton	N	—	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
energia, trabalho e quantidade de calor	joule	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
potência	watt	W	J/s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
pressão	pascal	Pa	N/m^2	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
quantidade de eletricidade	coulomb	C	—	$s \cdot A$
potencial elétrico	volt	V	J/C	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
capacitância elétrica	farad	F	C/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
resistência	ohm	Ω	V/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
condutância	siemens	S	A/V; Ω^{-1}	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
indução magnética	tesla	T	Wb/m^2	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
fluxo de indução magnética	weber	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
indutância	henry	H	Wb/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$

UNIDADES LEGAIS NO BRASIL

No Brasil, as unidades legais são as unidades do SI, mais algumas unidades que relacionaremos adiante. As unidades legais devem ser usadas em livros, anúncios, contratos, sinais de tráfego, rótulos de mercadorias, etc. Quando se tratar de documento referente a mercadorias exportadas ou importadas, podem ser usadas outras unidades, desde que sejam acompanhadas da conversão em unidades legais. É tolerado o uso de unidades não legais em publicações de caráter exclusivamente científico.

Além das unidades SI, são também legais as unidades apresentadas no quadro que se segue:

OUTRAS UNIDADES FORA DO SI ADMITIDAS TEMPORARIAMENTE

Nome da Unidade	Símbolo	Valor em Unidades SI	Observações
angström	Å	10^{-10} m	
atmosfera	atm	101 325 Pa	
bar	bar	10^5 Pa	
barn	b	10^{-28} m^2	
caloria*	cal	4,1868 J	Este valor é o que foi adotado pela 5ª Conferência Internacional sobre as Propriedades do Vapor, Londres, 1956.
cavalo-vapor*	cv	735,5 W	
curie	Ci	$3{,}7 \cdot 10^{10}$ Bq	
gal	Gal	0,01 m/s^2	
gauss*	Gs	10^{-4} T	
hectare	ha	10^4 m^2	
quilograma-força*	kgf	9,80665 N	
milímetro de mercúrio*	mmHg	133,322 Pa	Aproximadamente.
milha marítima		1 852 m	
nó		(1 852/3 600) m/s	Velocidade igual a 1 milha marítima por hora.
quilate métrico*		$2 \cdot 10^{-4}$ kg	Não confundir esta unidade com o "quilate" da escala numérica convencional do teor em ouro das ligas desse metal.
rad		0,01 Gy	
roentgen	R	$2{,}58 \cdot 10^{-4}$ C/kg	

(*) Evitá-las e substituí-las pelas unidades SI correspondentes.

Constantes Físicas	Símbolo	Valores
carga elétrica elementar	e	$1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C
massa de repouso do elétron	—	$9{,}109 \cdot 10^{-31}$ kg
massa de repouso do próton	—	$1{,}673 \cdot 10^{-27}$ kg
massa de repouso do nêutron	—	$1{,}675 \cdot 10^{-27}$ kg
constante de Avogadro	N_0	$6{,}022 \cdot 10^{23}$ mol^{-1}
constante de Faraday	F	$9{,}649 \cdot 10^{4}$ C/mol
constante de Planck	h	$6{,}626 \cdot 10^{-34}$ J · s
constante dos gases	R	8,314 J/(K · mol)
volume normal do gás perfeito	V_0	$2{,}241 \cdot 10^{-2}$ m^3/mol
constante de gravitação	G	$6{,}672 \cdot 10^{-11}$ N · m^2/kg^2
velocidade da luz no vácuo	c	$2{,}998 \cdot 10^{8}$ m/s
constante elétrica do vácuo (constante de permissividade do vácuo)	ε_0	$8{,}854 \cdot 10^{-12}$ F/m
constante magnética no vácuo (constante de permeabilidade do vácuo)	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m
aceleração normal da gravidade	g	9,807 m/s^2
pressão normal	—	1 atm = $1{,}013 \cdot 10^{5}$ N/m^2
temperatura do ponto tríplice da água	—	273,16 K

DADOS SOBRE O SOL

Raio	695 300 km
Massa	$1{,}97 \cdot 10^{30}$ kg
Densidade média	1,42 g/cm^3
Período de rotação	$2{,}14 \cdot 10^{6}$ s
Aceleração da gravidade na superfície	274,4 m/s^2
Radiação média	$3{,}92 \cdot 10^{26}$ W

DADOS SOBRE A TERRA

Raio polar	$6{,}357 \cdot 10^6$ m
Raio equatorial	$6{,}378 \cdot 10^6$ m
Raio da esfera de mesmo volume	$6{,}371 \cdot 10^6$ m
Perímetro da linha do Equador (aproximado)	40 000 km
Volume	$1{,}087 \cdot 10^{21}$ m^3
Massa	$5{,}893 \cdot 10^{24}$ kg
Densidade média	5,52 g/cm^3
Velocidade média de translação	29 770 m/s
Distância média ao Sol	$1{,}49 \cdot 10^{11}$ m
Intensidade solar média na superfície	495 W/m^2
Velocidade do som no ar, em condições normais	331,4 m/s
Duração do ano	365d5h48min46s
Densidade do ar seco em condições normais	1,293 kg/m^3

DADOS SOBRE A LUA

Raio	1 738 km
Massa	$7{,}35 \cdot 10^{22}$ kg
Densidade média	3,36 g/cm^3
Aceleração da gravidade na superfície	1,67 m/s^2
Distância à Terra (média)	384 403 km
Tempo de revolução (aproximado)	27d7h43min
Temperatura na Lua	de -100°C a 120°C

CINEMÁTICA ESCALAR

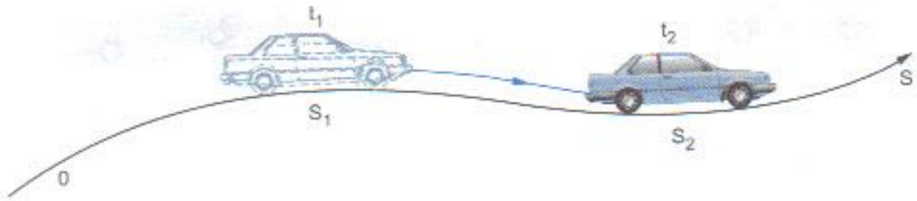
Definições

Espaço (ou Posição) (S): é um comprimento algébrico (número e sinal) medido sobre a trajetória a partir de determinada origem (O) escolhida arbitrariamente sobre a trajetória.

Espaço Inicial (S_0): é a posição do móvel no instante $t = 0$.

Variação do Espaço (ΔS): sejam t_1 e S_1 (correspondentes) o instante e a posição iniciais, e t_2 e S_2 (correspondentes) o instante e a posição finais de um móvel que se movimenta sobre uma dada trajetória.

Teremos, então, no intervalo de tempo $\Delta t = t_2 - t_1$: $\mathbf{\Delta S = S_2 - S_1}$.

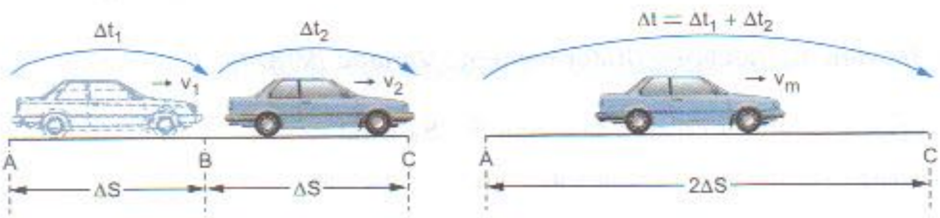


Velocidade Escalar Média (v_m): num intervalo de tempo $\Delta t = t_2 - t_1$, onde $\Delta S = S_2 - S_1$ é a correspondente variação do espaço, é, por definição, a grandeza algébrica:

$$\mathbf{v_m = \frac{\Delta S}{\Delta t}\ ;\quad v_m = \frac{S_2 - S_1}{t_2 - t_1}}$$

Unidades: m/s; km/h Relação: $1\ \text{km/h} = \frac{1}{3{,}6}\ \text{m/s}$

Exemplo Clássico:
Um carro em trajetória retilínea faz metade do percurso com velocidade média v_1 e a outra metade com velocidade média v_2. Determine a velocidade média v_m do percurso todo.



$$\Delta t_1 = \frac{\Delta S}{v_1} \qquad \Delta t_2 = \frac{\Delta S}{v_2} \qquad v_m = \frac{2\Delta S}{\Delta t_1 + \Delta t_2} \Rightarrow \mathbf{v_m = \frac{2v_1v_2}{v_1 + v_2}}$$

Velocidade Escalar Instantânea (v):

$$\mathbf{v = \lim_{\Delta t \to 0} v_m \Leftrightarrow v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} \Leftrightarrow v = \frac{dS}{dt}}$$

Aceleração Escalar Média (a_m): sejam t_1 e v_1 (correspondentes) o instante e a velocidade escalar instantânea iniciais, e t_2 e v_2 (correspondentes) o instante e a velocidade escalar instantânea finais. No intervalo de tempo $\Delta t = t_2 - t_1$ teremos:

$$\mathbf{a_m} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta \mathbf{t}}; \quad \mathbf{a_m} = \frac{\mathbf{v_2 - v_1}}{\mathbf{t_2 - t_1}} \qquad \text{Unidades: m/s}^2\text{; km/h}^2$$

Aceleração Escalar Instantânea (a):

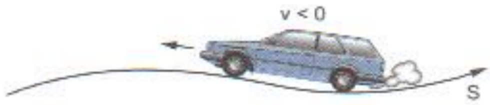
$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \mathbf{a_m} \Leftrightarrow \mathbf{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta \mathbf{t}} \Leftrightarrow \mathbf{a} = \frac{\mathbf{dv}}{\mathbf{dt}}$$

1. Movimento Retilíneo e Uniforme (MRU)

- A equação horária do espaço é do 1º grau: $\mathbf{S = S_0 + vt}$;
- A velocidade escalar é constante, *não nula*;
- A aceleração escalar é *nula*.

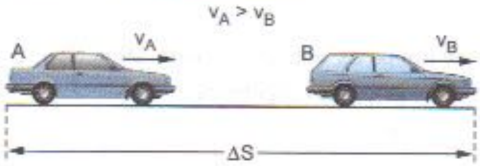
Movimento progressivo (móvel no sentido dos espaços crescentes)

Movimento retrógrado (móvel no sentido dos espaços decrescentes)



Exemplos Clássicos:

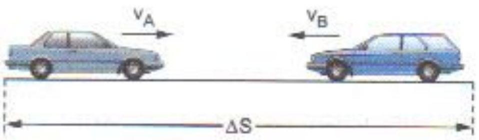
a) Móveis no mesmo sentido:



Δt = intervalo de tempo decorrido até a ultrapassagem dos móveis A e B

$$\Delta \mathbf{t} = \frac{\Delta \mathbf{S}}{(\mathbf{v_A - v_B})}$$

b) Móveis em sentidos opostos:



Δt = intervalo de tempo decorrido até a ultrapassagem dos móveis A e B

$$\Delta \mathbf{t} = \frac{\Delta \mathbf{S}}{(\mathbf{v_A + v_B})}$$

2. Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV)

- A equação horária do espaço é do 2º grau: $\mathbf{S = S_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}}$;
- A equação horária da velocidade é do 1º grau: $\mathbf{v = v_0 + at}$;
- A aceleração escalar é constante, *não nula*.

Movimento acelerado

(*a* e *v* têm o mesmo sinal
$a \cdot v > 0$)

Movimento retardado

(*a* e *v* têm sinais contrários
$a \cdot v < 0$)

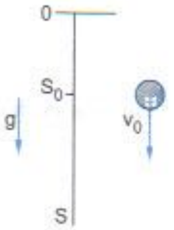
3. Equação de Torricelli

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta S$$

4. Movimento Vertical Próximo da Terra e no Vácuo

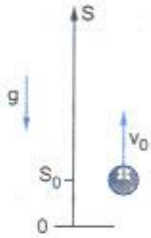
Nas proximidades da superfície da Terra (suposta estacionária) e desprezando a resistência do ar, a aceleração dos objetos em movimento vertical é constante. Essa aceleração é denominada aceleração da gravidade (g). Tais problemas serão resolvidos com as equações do MRUV, considerando a > 0 se o eixo for concordante com o sentido de *g*, e a < 0 caso seja discordante.

$a = +g$



$$\begin{cases} S = S_0 + v_0 t + \dfrac{gt^2}{2} \\ v = v_0 + gt \\ v^2 = v_0^2 + 2g\Delta S \end{cases}$$

$a = -g$



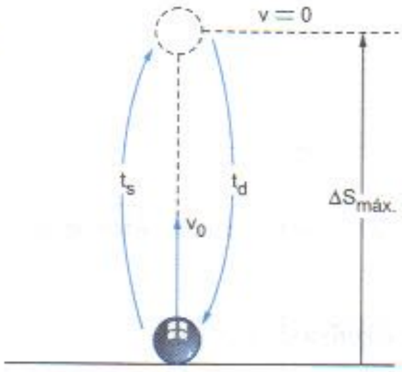
$$\begin{cases} S = S_0 + v_0 t - \dfrac{gt^2}{2} \\ v = v_0 - gt \\ v^2 = v_0^2 - 2g\Delta S \end{cases}$$

Exemplo Clássico:
Para um objeto lançado verticalmente para cima, a partir do solo, com velocidade inicial v_0 , a altura máxima é:

$$\Delta S_{máx.} = \frac{v_0^2}{2g}$$

O tempo de subida (t_s) é igual ao de descida (t_d):

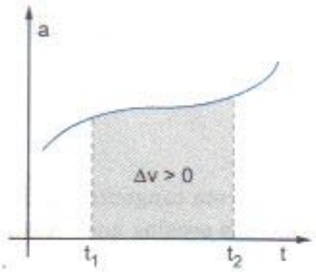
$$t_s = t_d = \frac{|v_0|}{g}$$



5. Propriedade Geral dos Gráficos

Gráfico da Aceleração Escalar – a = a(t)

Qualquer que seja a forma do gráfico, a variação de velocidade escalar (Δv) entre os instantes considerados é obtida pela área entre o gráfico e o eixo dos tempos.



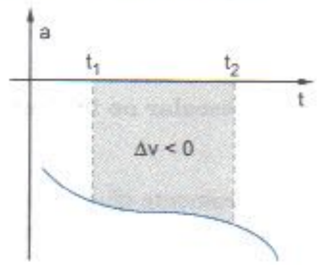
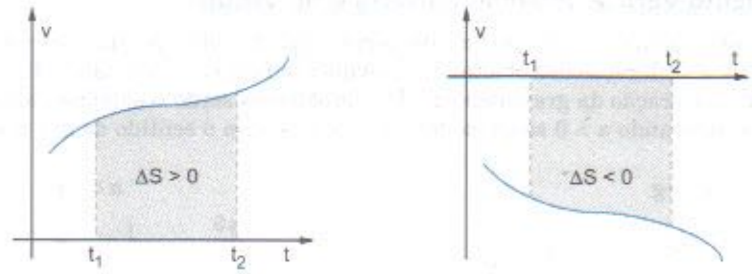
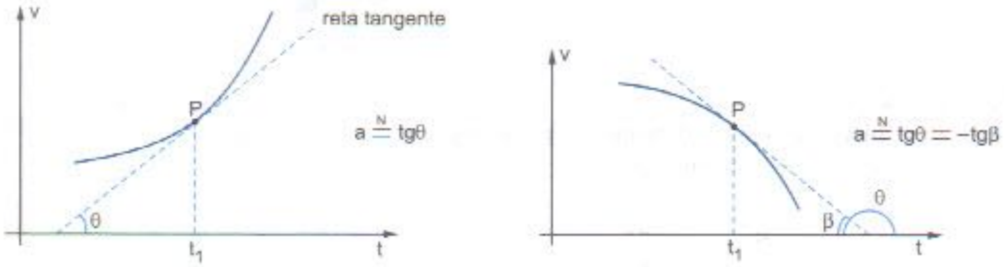


Gráfico da Velocidade Escalar – $v = v(t)$

Qualquer que seja a forma do gráfico, a variação da posição (ΔS) entre os instantes considerados é obtida pela área entre o gráfico e o eixo dos tempos.



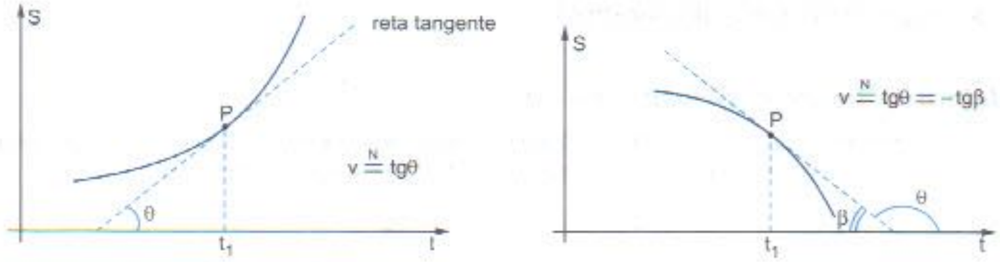
A inclinação da curva num ponto P, determinado pelo instante t_1, fornece a aceleração escalar instantânea nesse instante t_1.



tg$\theta \stackrel{N}{=}$ aceleração escalar no instante t_1

Gráfico da Posição – $S = S(t)$

A inclinação da curva num ponto P, determinado pelo instante t_1, fornece a velocidade escalar nesse instante t_1.



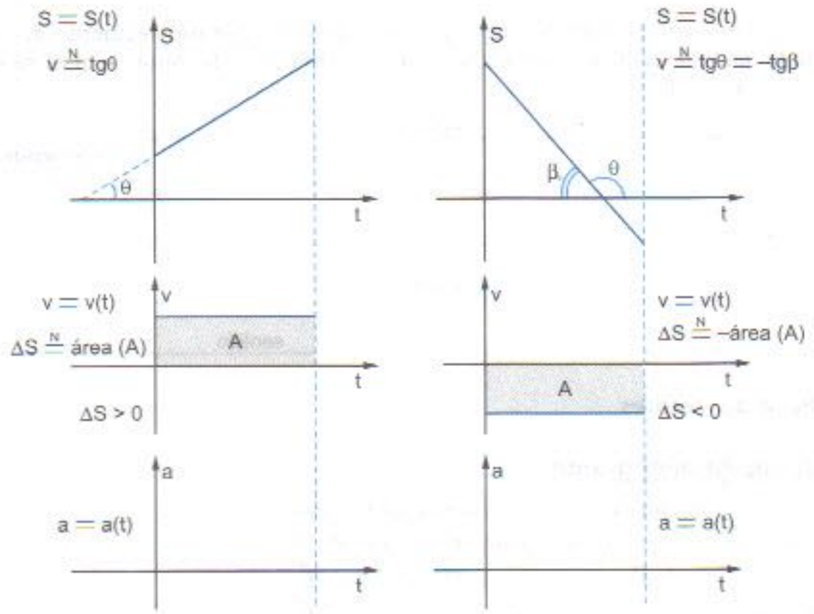
tg$\theta \stackrel{N}{=}$ velocidade escalar no instante t_1

$v \stackrel{N}{=} \text{tg}\theta = -\text{tg}\beta$

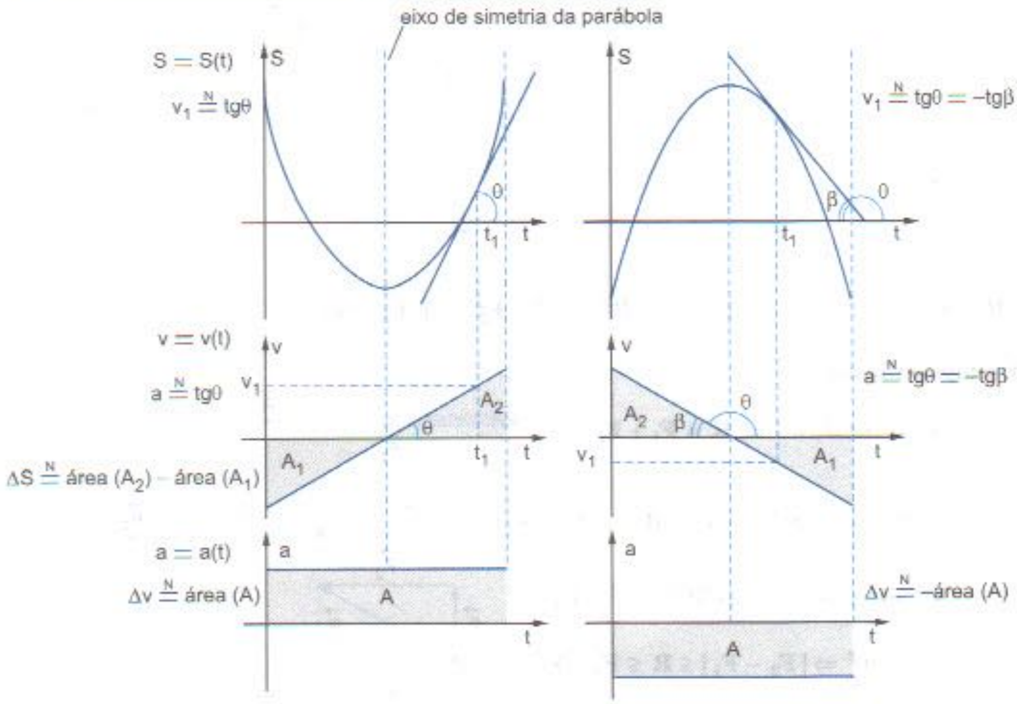
Nota: tgθ é numericamente igual ao coeficiente angular da reta tangente (inclinação da reta tangente). Em todos os casos apresentados, tgθ depende das escalas nos eixos em que *x* e *y* são lidos.

Representação Gráfica dos Movimentos

1. Movimento Retilíneo e Uniforme



2. Movimento Retilíneo Uniformemente Variado



VETORES

Representação Gráfica

Para representar graficamente um vetor, desenhamos um segmento de reta orientado, fazendo seu comprimento ser proporcional à dimensão do vetor, a qual se denomina módulo (ou intensidade).

Adição de Vetores

1. Regra do Paralelogramo

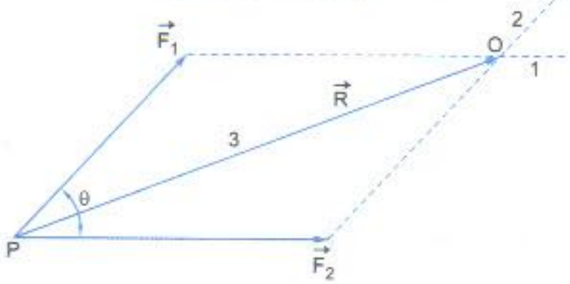
Permite determinar a *resultante* de dois vetores.

Sejam $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ dois vetores com origens em P.

(1) Pela extremidade de $\vec{F}_1$ traçar uma reta paralela a $\vec{F}_2$.

(2) Pela extremidade de $\vec{F}_2$ traçar uma reta paralela a $\vec{F}_1$.

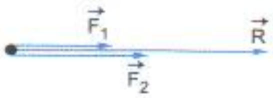
(3) Da origem dos vetores (P) até o cruzamento das paralelas (O) traçamos o vetor soma resultante $\vec{R}$.



$\boxed{\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2}$ em módulo: $\boxed{\mathbf{R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta}}$

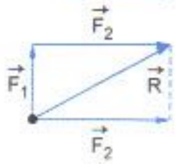
Exemplos Clássicos:

a) $\theta = 0^0 \Rightarrow \cos 0^0 = 1 \Rightarrow \mathbf{R = F_1 + F_2}$



b) $\theta = 180^0 \Rightarrow \cos 180^0 = -1 \Rightarrow \mathbf{R = |F_2 - F_1|}$

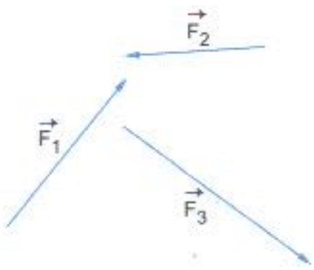
c) $\theta = 90^0 \Rightarrow \cos 90^0 = 0 \Rightarrow \mathbf{R^2 = F_1^2 + F_2^2}$

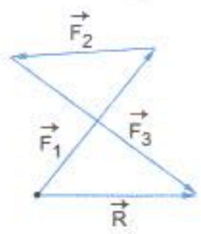


d) $0^0 \le \theta \le 180^0 \Rightarrow \mathbf{|F_2 - F_1| \le R \le F_1 + F_2}$

2. Método da Poligonal

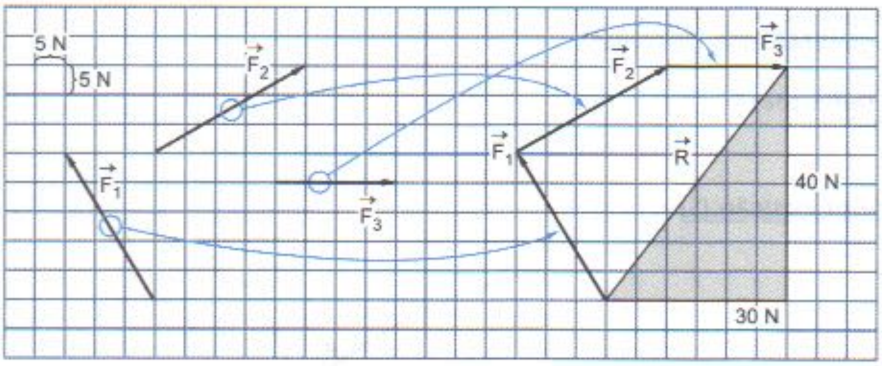
Para determinarmos o vetor resultante ($\vec{R}$) por esse método, colocamos os vetores em seqüência, isto é, a origem de um na extremidade do outro. O vetor resultante será o vetor com origem coincidente com a origem do primeiro e extremidade coincidente com a extremidade do último.





$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$

Exemplo Clássico:

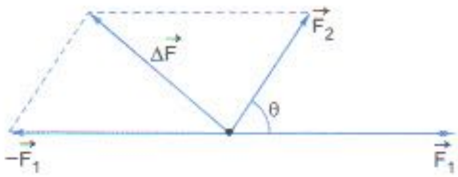


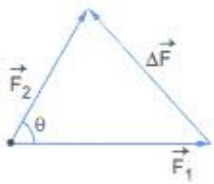
Cálculo de: $\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$

No triângulo escurecido $\Rightarrow$ **R = 50 N**

Subtração de Vetores

Vale a propriedade: $\Delta\vec{F} = \vec{F}_2 - \vec{F}_1 = \vec{F}_2 + (-\vec{F}_1)$





$\boldsymbol{\Delta\vec{F} = \vec{F}_2 - \vec{F}_1}$

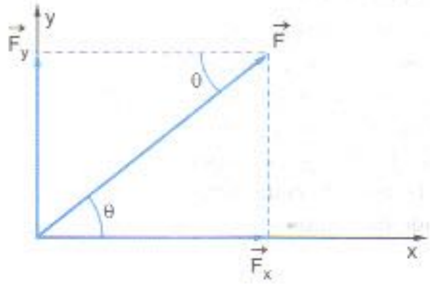
em módulo:

$$(\Delta F)^2 = F_2^2 + F_1^2 - 2F_1F_2\cos\theta$$

Decomposição de um Vetor

$\vec{F} = \vec{F}_x + \vec{F}_y$

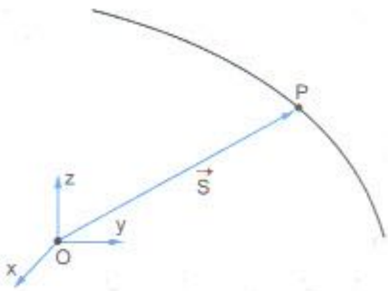
$$\left.\begin{aligned} F_x &= F \cdot \cos\theta \\ F_y &= F \cdot \mathrm{sen}\theta \end{aligned}\right\} F^2 = F_x^2 + F_y^2$$



CINEMÁTICA VETORIAL

Definições

1. Vetor Posição ($\vec{S}$)

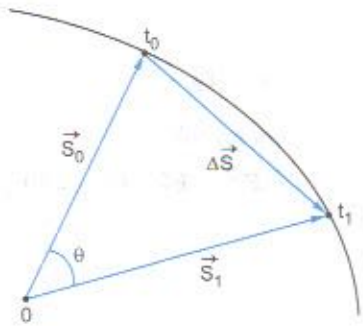


2. Vetor Deslocamento ($\Delta\vec{S}$)

$\Delta\vec{S} = \vec{S}_1 - \vec{S}_0$

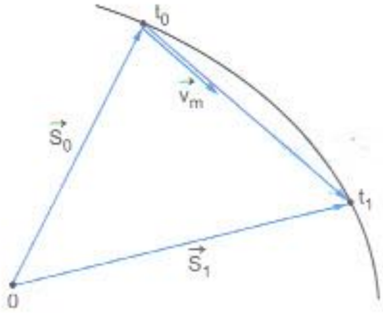
em módulo:

$\Delta S^2 = S_1^2 + S_0^2 - 2S_1S_0\cos\theta$



3. Vetor Velocidade Média ($\vec{v}_m$)

$$\vec{v}_m = \frac{\Delta\vec{S}}{\Delta t} = \frac{\vec{S}_1 - \vec{S}_0}{t_1 - t_0}$$



Exemplo Clássico:
Cálculo do vetor velocidade média de um móvel que descreve movimento circular e uniforme sobre a trajetória de raio R, no intervalo de tempo $\Delta t = T/4$, onde T é o período do movimento.

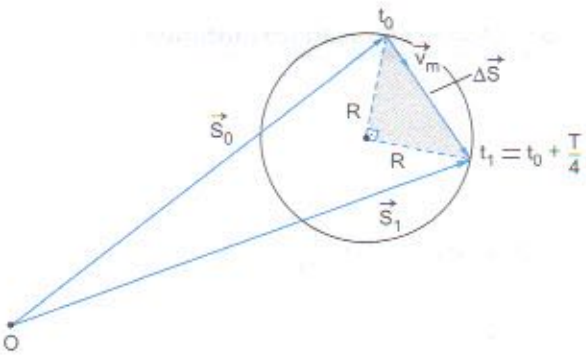
resposta:

No triângulo escurecido:

$$|\Delta\vec{S}|^2 = R^2 + R^2 \Rightarrow |\Delta\vec{S}| = R\sqrt{2}$$

$$|\vec{v}_m| = \frac{|\Delta\vec{S}|}{\Delta t} = \frac{R\sqrt{2}}{T/4}$$

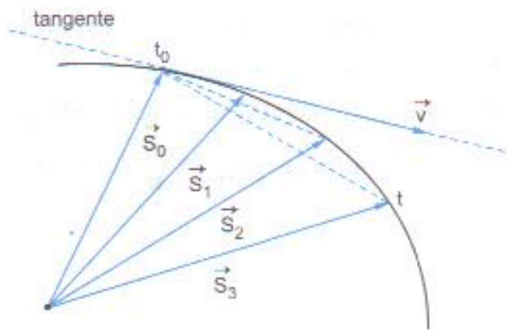
$$|\vec{v}_m| = \frac{4R\sqrt{2}}{T}$$



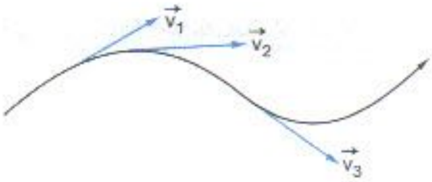
4. Vetor Velocidade Instantânea ($\vec{v}$)

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \to 0} \vec{v}_m = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{S}}{\Delta t}$$

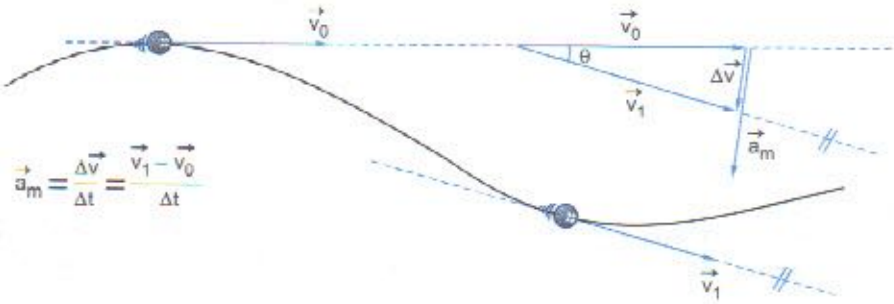
$$\Delta t \to 0 \Rightarrow \vec{S} \to \vec{S}_0$$



O vetor velocidade instantânea é sempre tangente à trajetória, e o seu módulo é igual ao módulo da velocidade escalar instantânea.

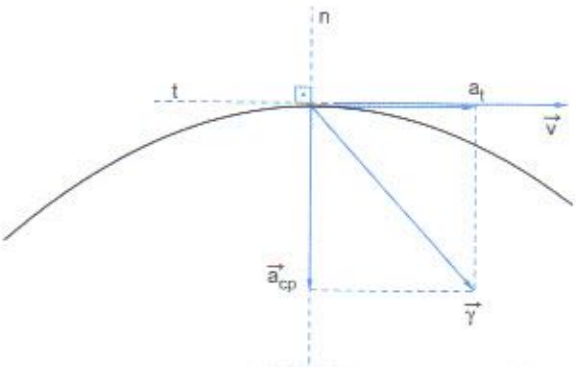


5. Vetor Aceleração Média ($\vec{a}_m$)



6. Vetor Aceleração Instantânea ($\vec{\gamma}$)

$$\vec{\gamma} = \lim_{\Delta t \to 0} \vec{a}_m = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$



O vetor aceleração $\vec{\gamma}$ está decomposto em duas componentes:

- $\vec{a}_t$ = aceleração tangencial (responsável pela variação do módulo de $\vec{v}$);
- $\vec{a}_n$ ou $\vec{a}_{cp}$ = aceleração normal ou centrípeta (responsável pela variação da direção de $\vec{v}$).

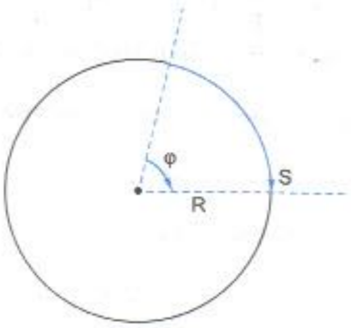
Em módulo: $\mathbf{a_t} = |\mathbf{a}|$; $\mathbf{a_{cp}} = \frac{\mathbf{v^2}}{\mathbf{R}}$; $\gamma^2 = \mathbf{a_t^2} + \mathbf{a_{cp}^2}$ onde R é o raio da trajetória.

CINEMÁTICA ANGULAR

Relação Básica

O arco S relaciona-se com o ângulo φ (medido em radianos) por:

$$\mathbf{S} = \varphi \cdot \mathbf{R}$$



Dessa relação básica (o espaço escalar (S) é igual à posição angular (φ) vezes o raio da trajetória) decorrem as relações a seguir para a velocidade e aceleração:

$$\left.\begin{array}{l}\text{Variação do espaço: } \Delta S = S_2 - S_1 \\ \text{Variação angular: } \Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1\end{array}\right\} \Delta \mathbf{S} = \Delta\varphi \cdot \mathbf{R}$$

$$\left.\begin{array}{l}\text{Velocidade escalar média: } v_m = \dfrac{\Delta S}{\Delta t} \\ \text{Velocidade angular média: } \omega_m = \dfrac{\Delta\varphi}{\Delta t}\end{array}\right\} \mathbf{v_m} = \omega_m \cdot \mathbf{R}$$

No limite para $\Delta t \to 0 \Rightarrow \mathbf{v} = \omega \cdot \mathbf{R}$

$$\left.\begin{array}{l}\text{Aceleração escalar média: } a_m = \dfrac{\Delta v}{\Delta t} \\ \text{Aceleração angular média: } \alpha_m = \dfrac{\Delta\omega}{\Delta t}\end{array}\right\} \mathbf{a_m} = \alpha_m \cdot \mathbf{R}$$

No limite para $\Delta t \to 0 \Rightarrow \mathbf{a} = \alpha \cdot \mathbf{R}$

Unidades Escalares	Relações	Unidades Angulares
S (m)	$S = \varphi \cdot R$	φ (rad)
v (m/s)	$v = \omega \cdot R$	ω (rad/s)
a (m/s²)	$a = \alpha \cdot R$	α (rad/s²)

Período (T) e Freqüência (f)

Denomina-se *freqüência* (f) o número de vezes que um determinado estado cinemático se repete identicamente, na unidade de tempo. Denomina-se *período* (T) o menor intervalo de tempo para que um determinado estado cinemático se repita identicamente. A freqüência (f) e o período (T) são relações inversas: conhecida a freqüência, determina-se o período e vice-versa.

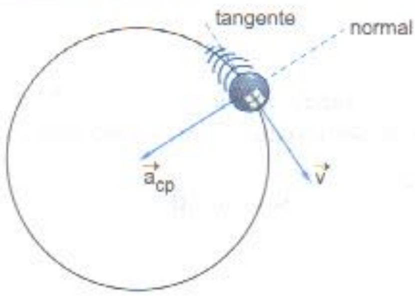
$$f = \frac{1}{T};\ f \cdot T = 1;\ T = \frac{1}{f}$$

A unidade de freqüência no SI é o *hertz* (Hz). Os múltiplos que aparecem são: MHz (10^6 Hz) e kHz (10^3 Hz).

Outra unidade usada para freqüência é o *rpm* (rotações por minuto), sendo que 1 rpm = 1/60 Hz.

A unidade de período no SI é o *segundo* (s).

Movimento Circular e Uniforme (MCU)



EQUAÇÕES HORÁRIAS GERAIS DO MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORME (MCU)

Forma Escalar Linear	Forma Angular	Relações
$S = S_0 + vt$	$\varphi = \varphi_0 + \omega t$	$S = \varphi \cdot R$
v = cte (não nula)	ω = cte (não nula)	$v = \omega R$
$a = 0$	$\alpha = 0$	$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$

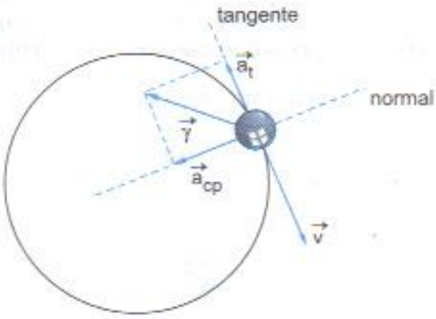
$a_{cp} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$	altera apenas a direção da velocidade; seu módulo permanece constante (MCU).

Este quadro evidencia que a partir da freqüência (f) ou do período (T) obtém-se a série de grandezas.

$$f \Rightarrow T = \frac{1}{f} \Rightarrow \omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow v = \omega R \Rightarrow a_{cp} = \frac{v^2}{R}$$

$$T \Rightarrow f = \frac{1}{T} \Rightarrow \omega = 2\pi f \Rightarrow v = \omega R \Rightarrow a_{cp} = \omega^2 R$$

Movimento Circular e Uniformemente Variado (MCUV)



EQUAÇÕES HORÁRIAS GERAIS DO MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORMEMENTE VARIADO (MCUV)

Forma Escalar Linear	Forma Angular	Relações
$S = S_0 + v_0t + \dfrac{at^2}{2}$	$\varphi = \varphi_0 + \omega_0t + \dfrac{\alpha t^2}{2}$	$S = \varphi \cdot R$
$v = v_0 + at$	$\omega = \omega_0 + \alpha t$	$v = \omega R$
$a =$ cte (não nula)	$\alpha =$ cte (não nula)	$a = \alpha \cdot R$
$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta S$ (Torricelli)	$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\Delta\varphi$ (Torricelli)	

COMPOSIÇÃO DE MOVIMENTOS

Princípio de Galileu ou da Independência dos Movimentos ou da Independência da Ação de Forças

"Quando um corpo se encontra sob ação simultânea de vários movimentos, cada um deles se processa como se os demais não existissem."

Seja, por exemplo, um barco que se move sobre as águas de um rio.

Caracterizaremos:

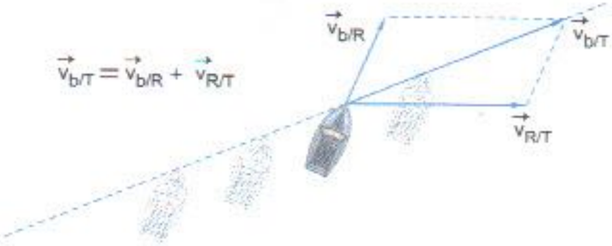
1) Referencial R = águas do rio.
2) Referencial T = margens do rio (desprezou-se, para a Terra, os efeitos de rotação).
a) Movimento do barco em relação às águas (a velocidade própria do barco $\vec{v}_{b/R}$, num determinado instante t).
b) Movimento das águas em relação às margens (a velocidade da correnteza das águas $\vec{v}_{R/T}$, no instante t).
c) Movimento do barco em relação às margens (a velocidade resultante $\vec{v}_{b/T}$, no instante t).

Num mesmo intervalo de tempo, teremos:

Movimento do barco em relação às margens	=	**Movimento do barco em relação ao rio**	+	**Movimento das águas do rio em relação às margens**

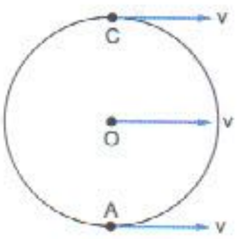
(esta soma é *vetorial*)

$$\vec{v}_{b/T} = \vec{v}_{b/R} + \vec{v}_{R/T}$$

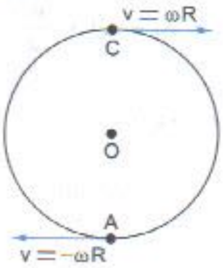


Efeitos Combinados de Rotação e Translação

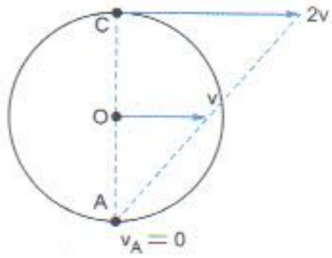
Translação pura



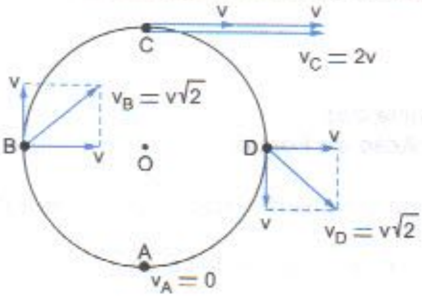
Rotação pura em torno de O

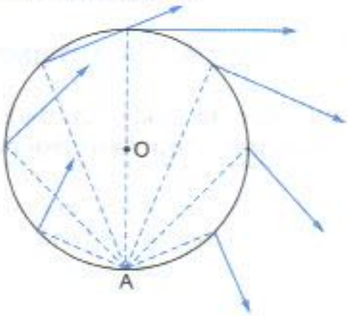


Combinando-se os dois movimentos anteriores, vem:



Assim, para um corpo rolando sem escorregar, em qualquer instante, poderemos tratá-lo como se estivesse em rotação ao redor do seu ponto de contato A.





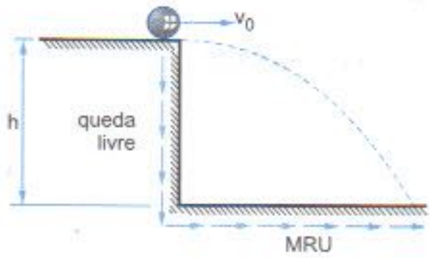
Propriedades de Composição

a) Compondo dois movimentos retilíneos e uniformes, obter-se-á um novo movimento retilíneo e uniforme.

b) Compondo dois movimentos ortogonais retilíneos, um uniforme e o outro uniformemente variado, obter-se-á um movimento parabólico.

Lançamento Horizontal

Podemos estudá-lo como a composição de um movimento de queda livre (vertical) e um movimento retilíneo uniforme (horizontal). Portanto, é um movimento parabólico.



Equações Horárias do Lançamento Horizontal

eixo x:

(1) $\mathbf{x = v_0 t}$

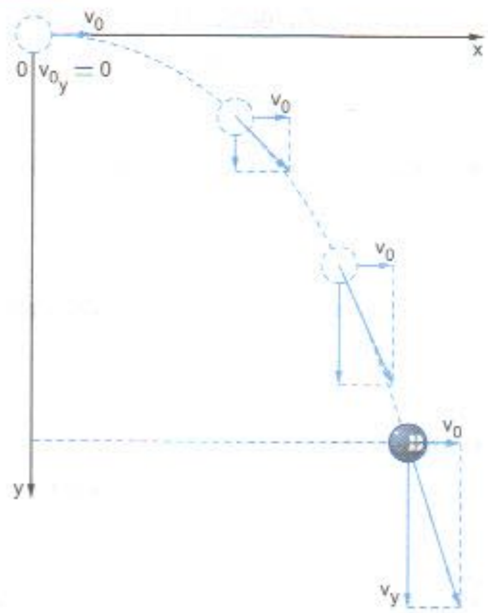
eixo y:

(2) $\mathbf{y = \dfrac{gt^2}{2}}$

(3) $\mathbf{v_y = gt}$

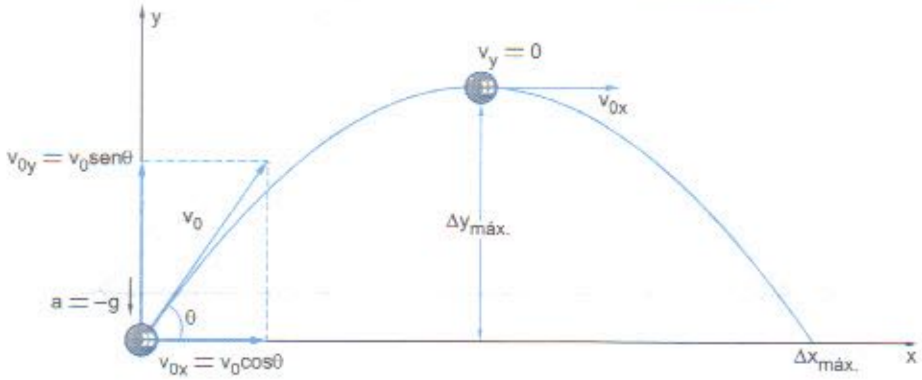
O tempo de queda independe da velocidade de lançamento v_0.

Ele é obtido por: $t = \sqrt{\dfrac{2h}{g}}$



Lançamento Oblíquo

É uma composição de um movimento retilíneo uniformemente variado (verticalmente) e de um retilíneo e uniforme (horizontal). A trajetória é parabólica.



1. Equações Horárias do Lançamento Oblíquo

eixo x:

$$\mathbf{x = x_0 + (v_0 \cos\theta)t}$$

eixo y:

$$\mathbf{y = y_0 + (v_0 \,sen\theta)t - \frac{gt^2}{2}}$$

$$\mathbf{v_y = v_0 \,sen\theta - gt}$$

$$\mathbf{v_y^2 = (v_0 \,sen\theta)^2 - 2g\Delta y}$$

2. Aplicações

- Altura máxima: flecha ($\Delta y_{máx.}$).

$$\Delta y_{máx.} = \frac{v_{0y}^2}{2g} = \frac{v_0^2 \cdot sen^2\theta}{2g}$$

- Tempo de subida (t_s): tempo necessário para atingir a altura máxima.

$$t_s = \frac{v_{0y}}{g} = \frac{v_0 \cdot sen\theta}{g}$$

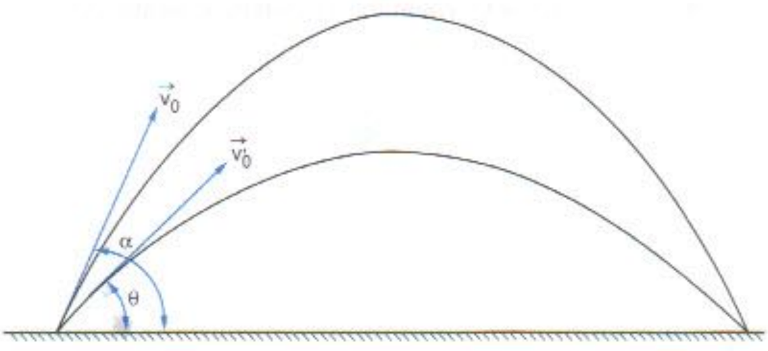
- Tempo total (t_{total}): tempo necessário para retornar à altura da qual foi lançado.

$$t_{total} = 2t_s = 2\frac{v_0 \cdot sen\theta}{g}$$

- Alcance ($\Delta x_{máx.}$)

$$\Delta x_{máx.} = \frac{2v_0^2}{g} \cdot sen\theta \cdot \cos\theta = \frac{v_0^2 \cdot sen(2\theta)}{g}$$

Notas:
- Para uma dada velocidade de lançamento, o alcance é máximo quando $\theta = 45^o$;
- Partículas lançadas de um mesmo ponto, com velocidades iniciais iguais em módulo ($|\vec{v}_0| = |\vec{v}_0'|$), e de modo que os ângulos de lançamento sejam complementares ($\alpha + \theta = 90^o$), têm o mesmo alcance.



DINÂMICA

Os Princípios da Dinâmica (ou Leis de Newton)

1. Primeira Lei de Newton – Princípio da Inércia

"Se a resultante das forças agindo sobre um corpo for nula, esse corpo permanece em seu estado de repouso (se assim estava inicialmente) ou de movimento retilíneo e uniforme (se tiver inicialmente uma velocidade)."

$$\vec{R} = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{\gamma} = \vec{0} \Rightarrow \Delta\vec{v} = \vec{0} \Rightarrow \begin{cases} \vec{v_2} = \vec{v_1} = \vec{0} \text{ (repouso)} \\ \vec{v_2} = \vec{v_1} \text{ (MRU)} \end{cases}$$

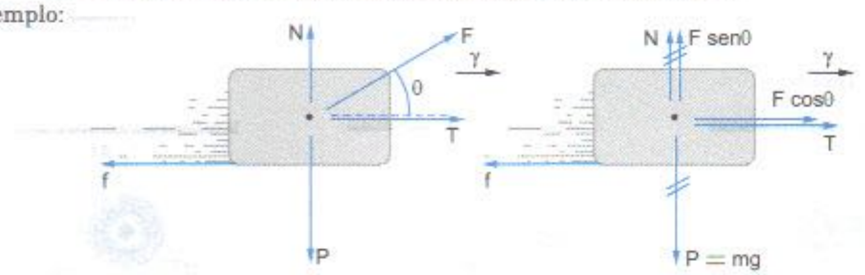
2. Segunda Lei de Newton – Princípio Fundamental da Dinâmica

"A resultante das forças que atuam sobre um corpo é diretamente proporcional à aceleração resultante adquirida por ele." Assim, podemos escrever:

$$\vec{R} = m\vec{\gamma}$$

$\vec{R} = m \cdot \vec{\gamma}$, onde $\vec{R}$ é a resultante das forças aplicadas no corpo.

Exemplo:



Na direção horizontal: $\mathbf{T + F\cos\theta - f = m \cdot \gamma}$

Do equilíbrio na direção vertical: $\mathbf{N + F\,sen\theta = m \cdot g}$

3. Terceira Lei de Newton – Princípio da Ação e Reação

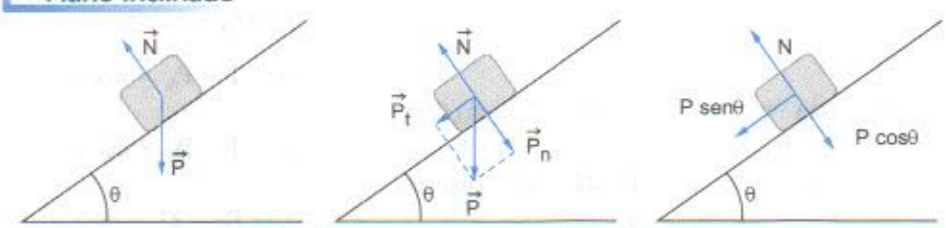
"As ações mútuas de dois corpos, um sobre o outro, são sempre iguais em módulo e direção e têm sentidos opostos."

Obs.: note que as forças de ação e reação atuam em corpos *distintos* e, portanto, não se equilibram.

Peso de um Corpo

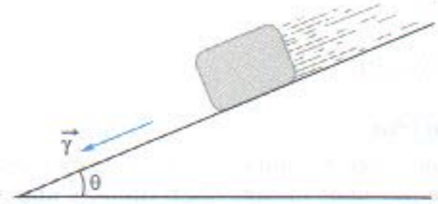
$$\vec{\mathbf{P}} = \mathbf{m} \cdot \vec{\mathbf{g}}, \text{ em que } \begin{cases} m = \text{massa do corpo} \\ \vec{g} = \text{aceleração local da gravidade} \end{cases}$$

Plano Inclinado



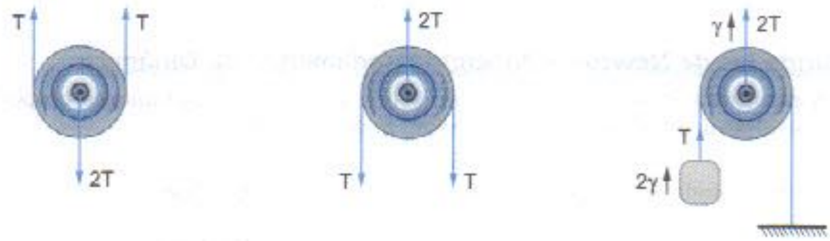
$P_n = P\cos\theta$ $P_t = P\,sen\theta$

Se não houver atrito entre o corpo e o plano, teremos:

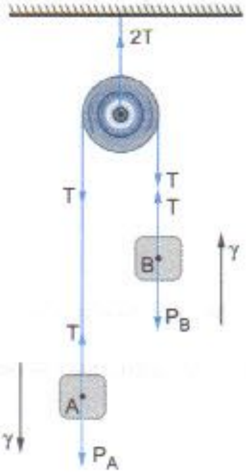


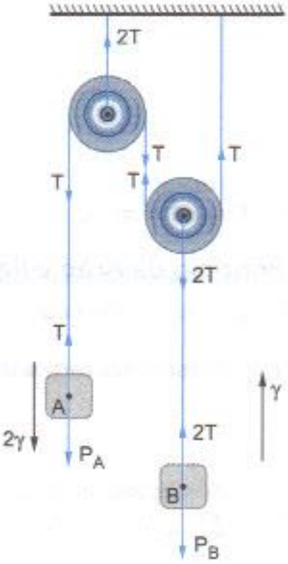
$$\mathbf{P_t = m \cdot \gamma \Rightarrow \gamma = g\,sen\theta}$$

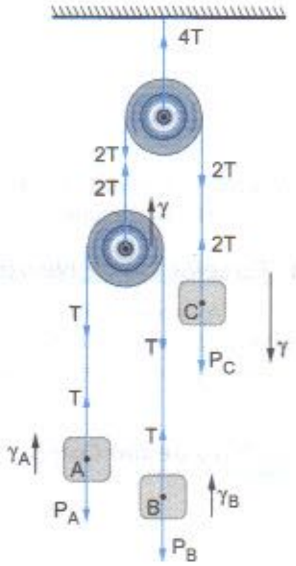
Polias Ideais



Exemplos Clássicos:







$m_A > m_B$

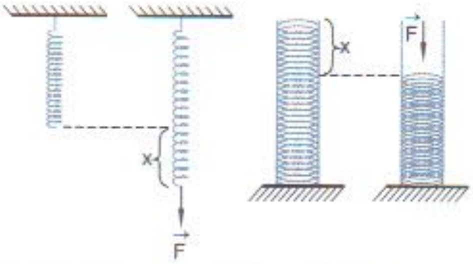
$$\begin{cases} (B) & T - P_B = m_B \cdot \gamma \\ (A) & P_A - T = m_A \cdot \gamma \end{cases}$$

$$\begin{cases} (A) & P_A - T = m_A(2\gamma) \\ (B) & 2T - P_B = m_B(\gamma) \end{cases}$$

$$\gamma = (\gamma_A + \gamma_B)/2$$

$$\begin{cases} (A) & T - P_A = m_A\gamma_A \\ (B) & T - P_B = m_B\gamma_B \\ (C) & P_C - 2T = m_C\gamma \end{cases}$$

Lei de Hooke



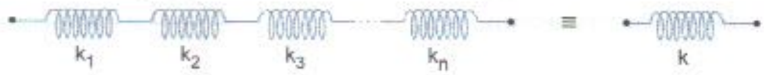
$F = kx$ | k = constante elástica da mola; x = deformação da mola

Prendendo-se um corpo de massa m à mola e deixando-o oscilar, o período (T) de oscilação será:

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

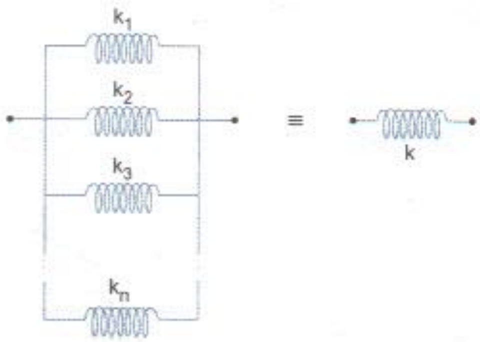
Associação de Molas

a) Em série



$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \ldots + \frac{1}{k_n}$$

b) Em paralelo

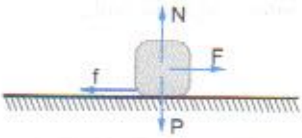


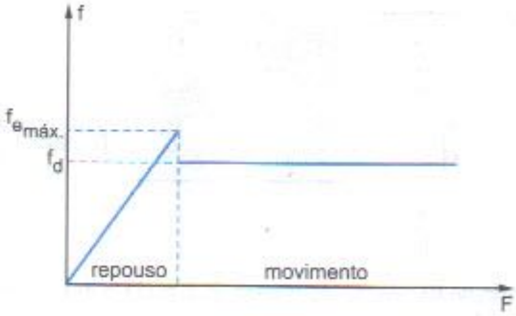
$$k = k_1 + k_2 + k_3 + \ldots + k_n$$

Atrito de Deslizamento

"As intensidades das forças de atrito estático máximo ($f_{e_{máx.}}$) e dinâmico são diretamente proporcionais à intensidade da normal."

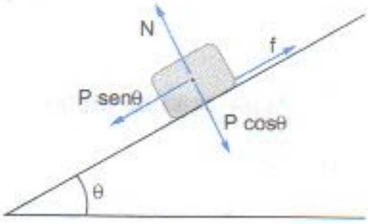
a) Força de atrito estático: $\mathbf{f} \leq \mu_e \mathbf{N}$ e $\mathbf{f}_{e_{máx.}} = \mu_e \mathbf{N}$, onde μ_e é o coeficiente de atrito estático.





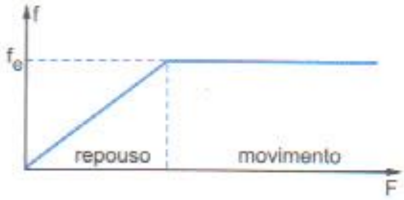
b) Força de atrito dinâmico: $\mathbf{f}_d = \mu_d \mathbf{N}$, onde μ_d é o coeficiente de atrito dinâmico.

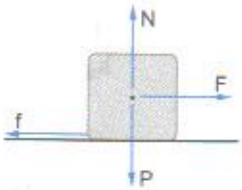
c) Em geral: $\boxed{\mu_d < \mu_e}$



d) Na iminência de deslizamento, temos $\mu = \mathbf{tg}\theta$, onde θ é, então, denominado ângulo de atrito.
O coeficiente de atrito independe da extensão das superfícies em contato (não depende da área em contato).
e) É comum fazer-se a aproximação $\mu_e = \mu_d = \mu$.
Neste caso:

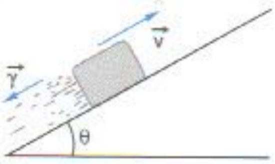
$\mathbf{f} \leq \mu\mathbf{N}$





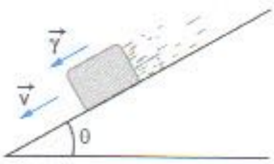
f) Aceleração num plano inclinado com atrito.

corpo move-se rampa acima



$\gamma = g(\text{sen}\theta + \mu \cos\theta)$

corpo move-se rampa abaixo

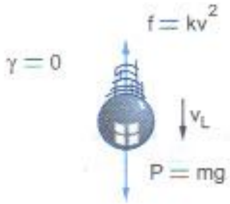


$\gamma = g(\text{sen}\theta - \mu \cos\theta)$

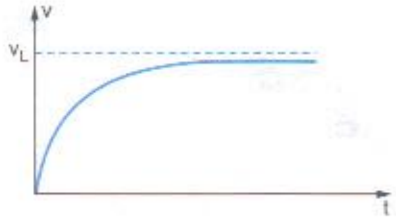
Resistência do Ar

Para velocidades entre 10 cm/s e 200 m/s, a força de resistência do ar ($\vec{f}$) obedece, aproximadamente, à equação: $f = k \cdot v^2$, onde k é uma constante que depende da densidade do ar, da forma do objeto e da área da secção máxima do objeto, área essa considerada perpendicularmente à direção da velocidade.

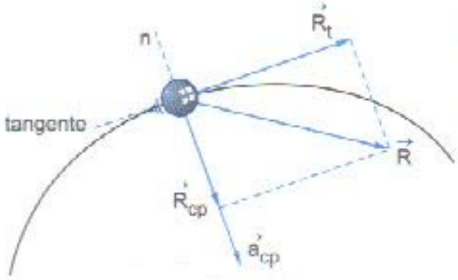
O corpo atinge a velocidade limite no instante em que a = 0.



$$v_L = \sqrt{\frac{m \cdot g}{k}}$$



Dinâmica dos Movimentos Curvos

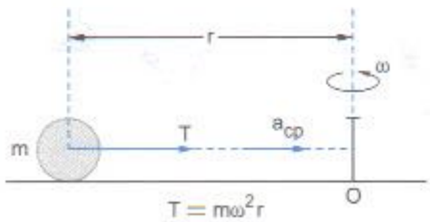


$$\left.\begin{array}{l}\vec{R} = m\vec{\gamma} \\ \vec{\gamma} = \vec{a}_t + \vec{a}_{cp}\end{array}\right\} \begin{array}{l}\vec{\mathbf{R}}_t = \mathbf{m}\vec{\mathbf{a}}_t \\ \vec{\mathbf{R}}_{cp} = \mathbf{m}\vec{\mathbf{a}}_{cp}\end{array}$$

onde $a_{cp} = v^2/R = \omega^2 R$

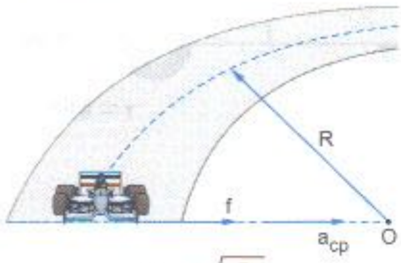
Exemplos Clássicos:

1) Tração



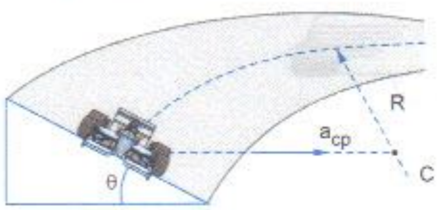
$T = m\omega^2 r$

2) Curva plana



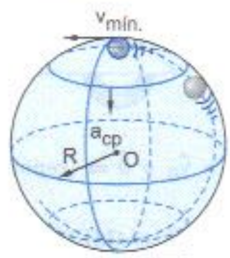
$v_{máx.} = \sqrt{\mu R g}$

3) Curva elevada (sem atrito)



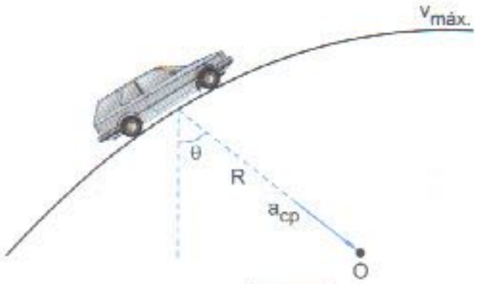
$v_{máx.} = \sqrt{Rg\,tg\theta}$

4) Globo da morte



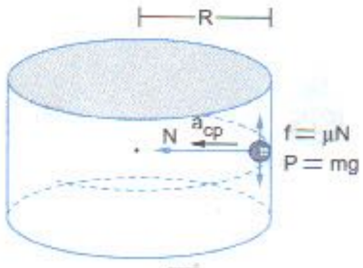
$v_{mín.} = \sqrt{Rg}$

5) Lombada



$v_{máx.} = \sqrt{Rg\cos\theta}$

6) Rotor

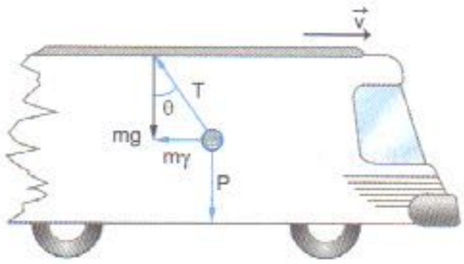


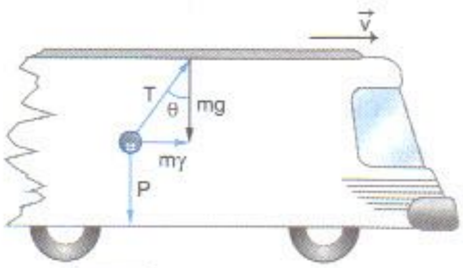
$v_{mín.} = \sqrt{\frac{Rg}{\mu}}$

Pêndulos em Vagões

Para uma referência fixa na Terra, teremos:

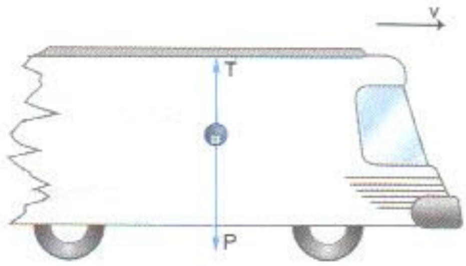
a) MRUV





$\gamma = g\,tg\theta$ $\quad T = m\sqrt{\gamma^2 + g^2}$

b) MRU ou Repouso

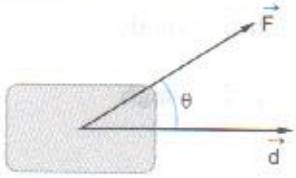


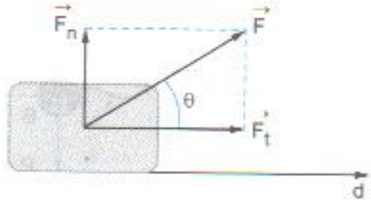
$$\vec{\gamma} = \vec{0} \Rightarrow \Delta\vec{v} = \vec{0} \quad \begin{cases} \vec{v} = \vec{v}_0 = \vec{0} \Rightarrow \text{(repouso)} \\ \vec{v}_0 = \vec{v} \Rightarrow \text{(MRU)} \end{cases}$$

$\mathbf{T} = \mathbf{P}$ (equilíbrio)

TRABALHO

Trabalho de uma Força Constante $\vec{F}$



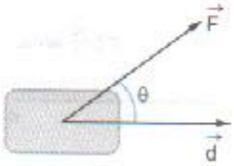


$\vec{d}$ = deslocamento

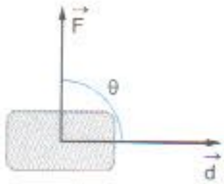
$_{\vec{F}}\tau = \vec{F} \cdot \vec{d} = F \cdot d \cdot \cos\theta$

$F_t = F \cdot \cos\theta$

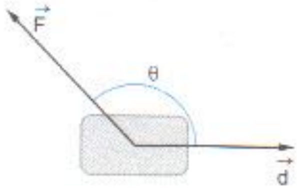
Portanto, o trabalho de $\vec{F}$ é igual ao trabalho de sua componente tangencial $\vec{F}_t$.



$0 \leq \theta < 90^o$
trabalho positivo
(motor)



$\theta = 90^o$
trabalho nulo



$90^o < \theta \leq 180^o$
trabalho negativo
(resistente)

Trabalho em Trajetória não Retilínea

Divide-se a trajetória em n "pedaços" que possam ser considerados retilíneos. Calcula-se o trabalho em cada "pedaço", obtendo-se $_{\vec{F}}\tau_1$, $_{\vec{F}}\tau_2$, ..., $_{\vec{F}}\tau_n$. O trabalho é definido por:

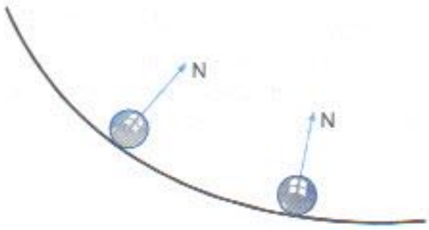
$$_{\vec{F}}\tau = \lim_{n \to \infty} (_{\vec{F}}\tau_1 + _{\vec{F}}\tau_2 + ... + _{\vec{F}}\tau_n)$$

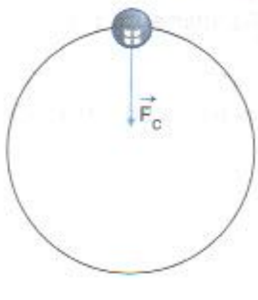
Como aplicação, temos dois casos:

a) Uma partícula deslizando sobre uma superfície qualquer. O trabalho da reação normal da superfície ($\vec{N}$) é sempre nulo.

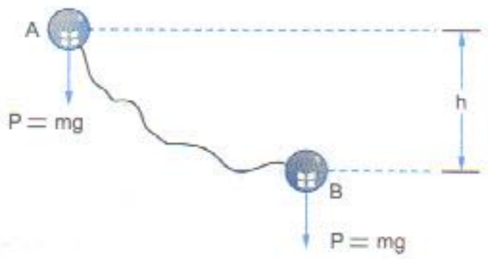
b) O trabalho de qualquer força que é dirigida para o centro da trajetória é nulo.

Nesses dois casos, as forças serão perpendiculares ao deslocamento.





Trabalho do Peso nas Proximidades da Terra

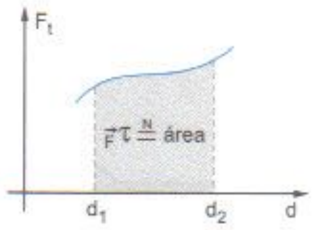


$$_{\vec{P}}\tau_A^B = +mgh$$

$$_{\vec{P}}\tau_B^A = -mgh$$

Trabalho de Força Variável

Dado o gráfico da intensidade da componente tangencial de $\vec{F}$ em função do espaço, a área entre d_1 e d_2 nos fornece o trabalho realizado por $\vec{F}$.



POTÊNCIA

Definição

a) Sendo $_{\vec{F}}\tau$ o trabalho realizado por uma força num intervalo de tempo Δt, a potência média (P_m) e a potência instantânea (P) da força são dadas por:

$$P_m = \frac{_{\vec{F}}\tau}{\Delta t} \qquad P = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{_{\vec{F}}\tau}{\Delta t}$$

Pode-se demonstrar ainda que $P = F_t \cdot v$, onde F_t é o módulo da força tangencial e v é o módulo da velocidade do objeto sob a ação da força.

b) De um modo geral, se um agente estiver fornecendo (ou perdendo) energia, define-se potência fornecida (ou perdida):

$$P_m = \frac{\Delta E}{\Delta t} \text{ e } P = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad \Delta E = \text{energia fornecida (ou perdida)}$$

Rendimento (η)

Consideremos uma máquina que receba uma potência total P_g e utilize uma potência P_u (potência útil). O rendimento (η) dessa máquina é dado por:

$$\eta = \frac{P_u}{P_g}$$

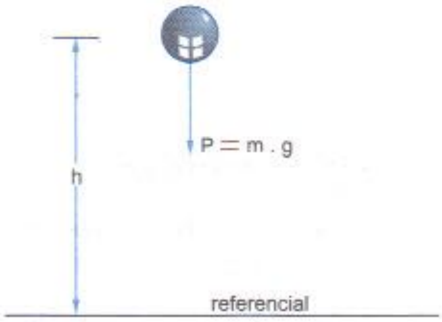
ENERGIA

Formas de Energia Mecânica

1. Energia Potencial Gravitacional (E_g)

À energia que depende da posição de um corpo denominaremos energia potencial.
O sistema terra-corpo tem à sua disposição a energia potencial gravitacional (E_g).

$$E_g = mgh$$



2. Energia Cinética (E_c)

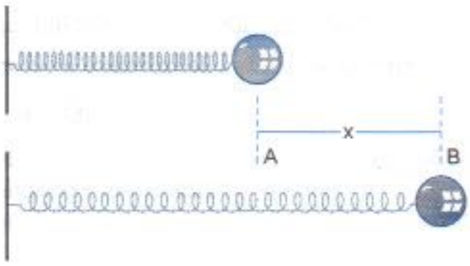
À energia que um corpo tem por estar em movimento denominaremos energia cinética de translação (E_c).

$$E_c = \frac{mv^2}{2}$$

3. Energia Potencial Elástica (E_e)

A energia num sistema elástico, constituído de um corpo de massa m preso a uma mola de constante elástica k que apresenta deformação x devido à sua tendência natural de retornar à sua posição B, é denominada energia potencial elástica (E_e).

$$E_e = \frac{kx^2}{2}$$



4. Energia Mecânica (E_M)

A energia mecânica é a soma das energias potenciais com a energia cinética. Num determinado instante, para um ponto A, teremos: $E_M^A = E_c^A + E_g^A + E_e^A$

Princípio de Conservação da Energia Mecânica

Num sistema conservativo, a energia mecânica permanece constante.

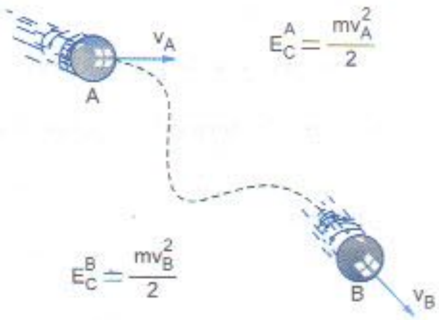
Consideremos uma partícula que vai de um ponto A a um ponto B sob ação, apenas, de forças conservativas.

Teremos, então: $\mathbf{E_M^A = E_M^B}$

Teorema de Energia Cinética

Seja ${}_{\vec{R}}\tau_A^B$ o trabalho total realizado sobre uma partícula entre os pontos A e B. Então:

$$ {}_{\vec{R}}\tau_A^B = E_c^B - E_c^A $$



Forças Conservativas

São forças cujo trabalho entre dois pontos não depende da trajetória seguida. Exemplos: força peso, força elástica, força elétrica. Como exemplo de força *não* conservativa, podemos citar a *força de atrito*.

Consideremos uma partícula que vai de um ponto A a um ponto B, onde ${}_{\vec{f}}\tau$ representa o trabalho total da resultante das forças não conservativas.

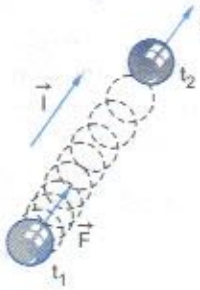
Teremos, então: ${}_{\vec{f}}\tau = E_M^B - E_M^A$

IMPULSO ($\vec{I}$) E QUANTIDADE DE MOVIMENTO ($\vec{Q}$)

Impulso

Para uma força constante que age num corpo num intervalo de tempo $\Delta t = t_2 - t_1$, definiremos o vetor impulso $\vec{I}$ como se segue:

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



a) Módulo (ou intensidade), $|\vec{I}|$ ou I: $\mathbf{I = F \cdot \Delta t}$

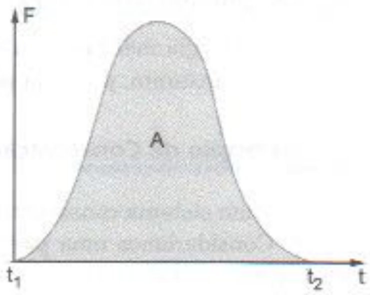
O módulo do impulso é calculado pelo produto do módulo da força pelo intervalo de tempo em que ela age no corpo.

b) Direção: a mesma de $\vec{F}$.

c) Sentido: o mesmo de $\vec{F}$.

Para uma força de direção constante e intensidade variável, representada no gráfico F = F(t), temos:

$I \overset{N}{=} A$, ou seja, a área destacada da figura fornece o valor do impulso no intervalo de tempo $\Delta t = t_2 - t_1$.



Quantidade de Movimento ($\vec{Q}$)

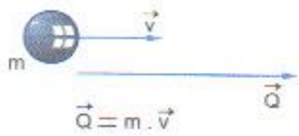
Define-se quantidade de movimento ($\vec{Q}$) de um corpo de massa m, que num certo instante possua velocidade vetorial $\vec{v}$, como: $\vec{Q} = m\vec{v}$.

a) Módulo (ou intensidade) – $|\vec{Q}|$ ou Q: $\mathbf{Q = m \cdot v}$

"O módulo da quantidade de movimento de um corpo num certo instante é o produto da massa do corpo pelo módulo da sua velocidade nesse instante."

b) Direção: a mesma de $\vec{v}$.

c) Sentido: o mesmo de $\vec{v}$.



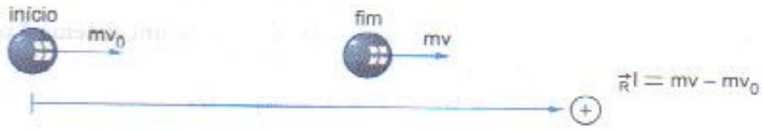
Teorema do Impulso

O impulso da resultante das forças que agem sobre um corpo, num intervalo de tempo (Δt), é igual à variação da quantidade de movimento do corpo nesse mesmo intervalo de tempo.

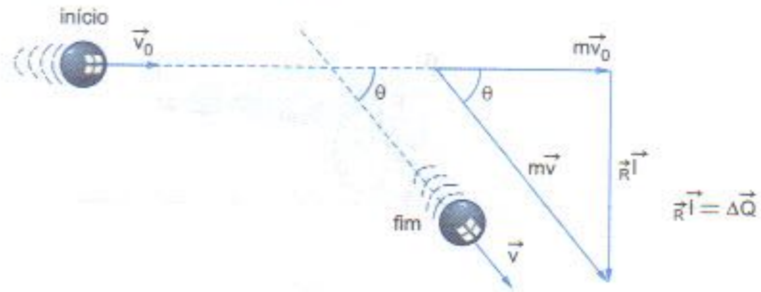
$$_{\vec{R}}\vec{I} = \Delta\vec{Q} = \vec{Q}_f - \vec{Q}_i$$

Exemplos Clássicos de Aplicação:

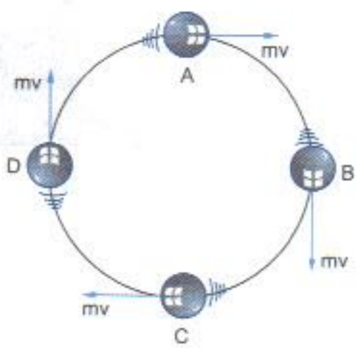
1) Direção constante (operar algebricamente):



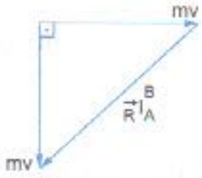
2) Direção variável (operar vetorialmente):



3) Cálculo do módulo do impulso da resultante centrípeta sobre uma partícula que descreve MCU, indicado ao lado.

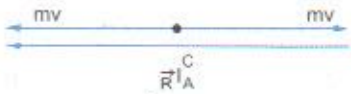


a) De A até B (1/4 de volta)



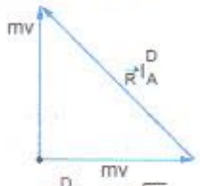
$\vec{R}|_A^B = mv\sqrt{2}$

b) De A até C (1/2 volta)



$\vec{R}|_A^C = 2mv$

c) De A até D (3/4 de volta)



$\vec{R}|_A^D = mv\sqrt{2}$

d) De A até A (1 volta)

$\vec{R}|_A^A = 0$

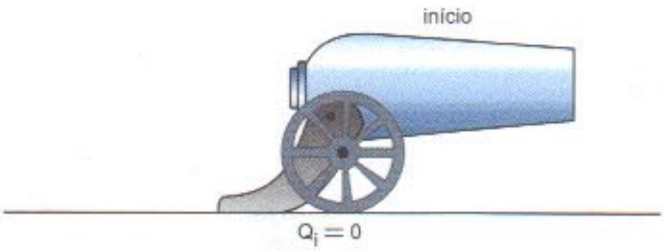
Princípio de Conservação da Quantidade de Movimento

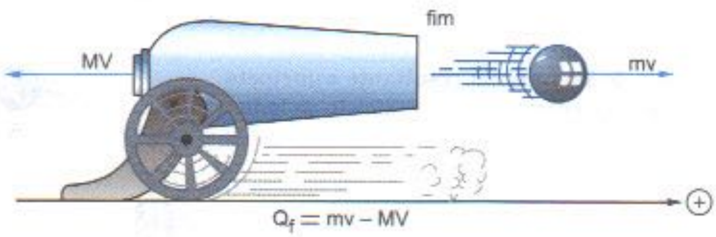
"Quando a resultante das forças externas que atuam em um sistema é nula, o vetor quantidade de movimento do sistema permanece constante."

$$\Delta\vec{Q} = \vec{0} \Rightarrow \vec{Q}_f - \vec{Q}_i = \vec{0} \Rightarrow \vec{\mathbf{Q}}_\mathbf{i} = \vec{\mathbf{Q}}_\mathbf{f}$$

Exemplos Clássicos:

a) Numa mesma direção (podemos operar algebricamente):





$Q_i = Q_f$

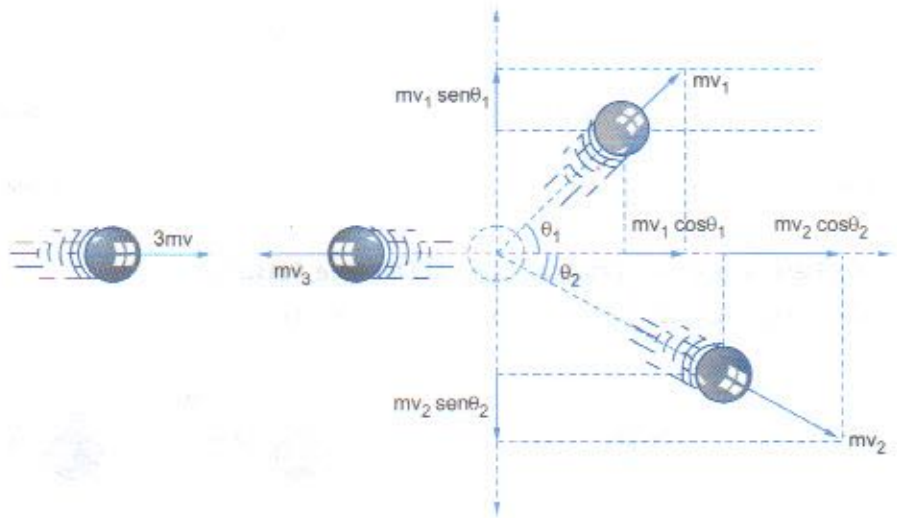
$0 = mv - MV$

$\mathbf{MV = mv}$

b) Direções diferentes (devemos operar vetorialmente):

(início) bomba de massa 3m em MRU

(fim) bomba explode em 3 pedaços iguais



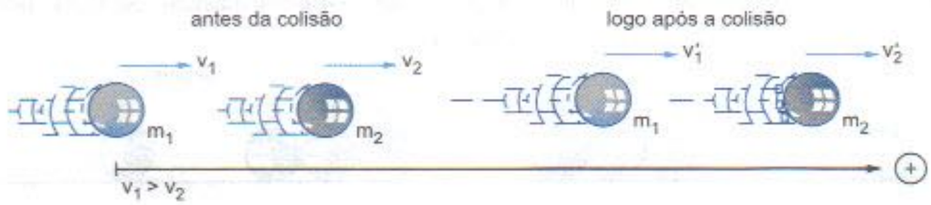
Na direção vertical: $Q_i = Q_f \Rightarrow mv_1\ \text{sen}\theta_1 = mv_2\ \text{sen}\theta_2 \Rightarrow \mathbf{v_1\ sen\theta_1 = v_2\ sen\theta_2}$

Na direção horizontal: $Q_i = Q_f \Rightarrow 3mv = mv_1 \cos\theta_1 + mv_2 \cos\theta_2 - mv_3 \Rightarrow$

$\Rightarrow \mathbf{3v = v_1 \cos\theta_1 + v_2 \cos\theta_2 - v_3}$

CHOQUES OU COLISÕES

Choque Central e Direto



Resolver o sistema de equações (1) e (2):

(1) $\mathbf{m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v'_1 + m_2v'_2}$ (conservação da quantidade de movimento)

(2) $\mathbf{e} = -\left[\dfrac{\mathbf{v'_2 - v'_1}}{\mathbf{v_2 - v_1}}\right]$ (definição do coeficiente de restituição e)

Algebricamente, as velocidades que concordam com o eixo são consideradas positivas; as que discordam são consideradas negativas.

CHOQUE CENTRAL DIRETO

Choque (Classificação)	Coeficiente de Restituição	Conservação da Quantidade de Movimento	Conservação da Energia Cinética
Elástico	$e = 1$	$Q_i = Q_f$ (há)	$E_c^i = E_c^f$ (há)
Inelástico	$0 < e < 1$	$Q_i = Q_f$ (há)	$E_c^i > E_c^f$ (não há)
Perfeitamente inelástico	$e = 0$	$Q_i = Q_f$ (há)	$E_c^i > E_c^f$ (não há)

1. Casos Particulares do Choque Central Direto e Elástico

Corpos de Massas Iguais: após o choque, as velocidades são "trocadas".
Exemplos:

a)

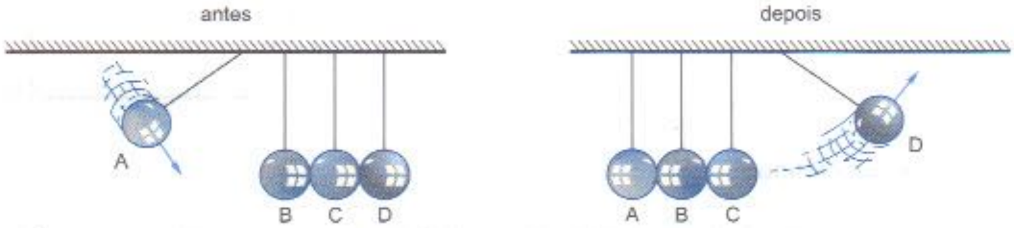
b)

c)

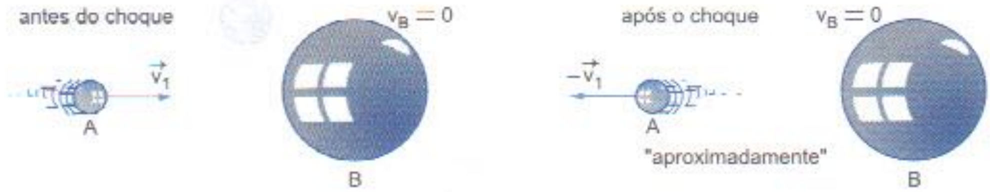
d) Consideremos 4 bolas *idênticas*, A, B, C e D, e alinhadas, tais que inicialmente A tem velocidade $\vec{v}$ e as outras estão em repouso. Após o choque (suposto elástico), A, B e C permanecem em repouso, enquanto D sai com velocidade $\vec{v}$.

e) Suponhamos choque elástico, com bolas idênticas, com A e B tendo inicialmente velocidade $\vec{v}$ e as outras estando em repouso. Após o choque, A e B ficam em repouso, enquanto D e E saem com velocidade $\vec{v}$.

f) Situações semelhantes às situações apresentadas nos exemplos *d* e *e* ocorrem com pêndulos de mesmo comprimento, tendo em seus extremos esferas idênticas, supondo choques elásticos.



Corpo de massa "muito pequena" que incide em um corpo de massa *"muito grande"* inicialmente em repouso: nesse caso, após o choque a partícula de *"massa grande"* continua com velocidade aproximadamente igual a zero e a partícula incidente retorna com aproximadamente a mesma velocidade em módulo.



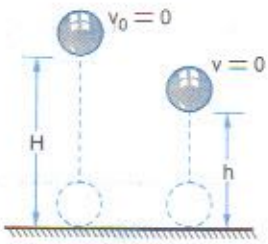
Corpo de massa "muito grande" que incide em um corpo de massa *"muito pequena"* inicialmente em repouso.

2. Casos Particulares de Choque Central Direto e Inelástico

a) Se uma partícula A incide com velocidade $\vec{v}_1$ sobre uma superfície fixa, volta com velocidade $\vec{v}_2$, tal que:

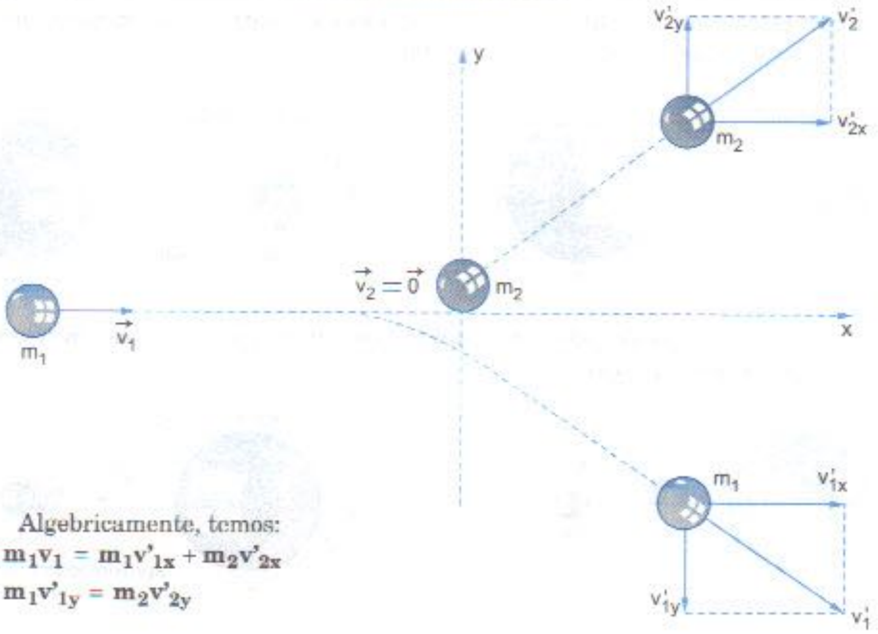
b) Abandonando-se uma partícula de uma altura H, ela bate no solo e retorna até uma altura h tal que:

$$e^2 = \frac{h}{H}$$



Choque Oblíquo

Para choques oblíquos, as velocidades têm direções diferentes; assim, é necessário projetar as velocidades em dois eixos ortogonais convenientes e, em seguida, impor a conservação da quantidade de movimento para cada direção.



Algebricamente, temos:

Eixo x: $\mathbf{m_1 v_1 = m_1 v'_{1x} + m_2 v'_{2x}}$

Eixo y: $\mathbf{m_1 v'_{1y} = m_2 v'_{2y}}$

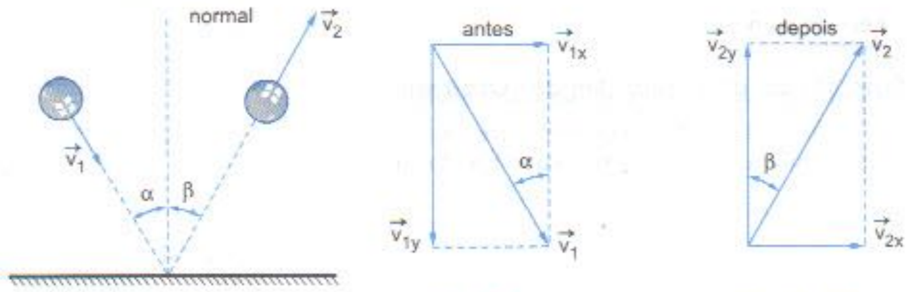
Casos Particulares de Choque Oblíquo

a) Choque *elástico* de duas partículas de *massas iguais*, uma das quais está inicialmente em repouso.

Neste caso, teremos: $\theta = 90^0$

b) Partícula incidindo obliquamente em superfície lisa e fixa.

Neste caso, temos:



$$\operatorname{tg}\beta = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{e} \qquad \vec{v}_{1x} = \vec{v}_{2x} \qquad \vec{v}_{2y} = -e\vec{v}_{1y}$$

CENTRO DE MASSA

Definição

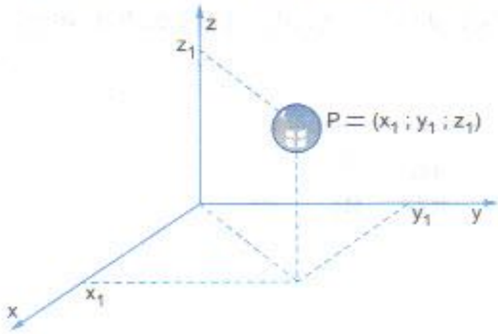
Sejam *n* partículas de massas $m_1, m_2, ..., m_n$ distribuídas no espaço. Adotemos um sistema de referência triortogonal Oxyz. As abscissas das partículas serão $x_1, x_2, ..., x_n$; as ordenadas, $y_1, y_2, ..., y_n$ e as cotas, $z_1, z_2, ..., z_n$.

O centro de massa do conjunto de partículas é um ponto de coordenadas *x*, *y* e *z* tais que:

$$x = \frac{m_1x_1 + m_2x_2 + \ldots + m_nx_n}{m_1 + m_2 + \ldots + m_n}$$

$$y = \frac{m_1y_1 + m_2y_2 + \ldots + m_ny_n}{m_1 + m_2 + \ldots + m_n}$$

$$z = \frac{m_1z_1 + m_2z_2 + \ldots + m_nz_n}{m_1 + m_2 + \ldots + m_n}$$



Propriedades

a) Sejam $\vec{v}$ e $\vec{\gamma}$ a velocidade e a aceleração do centro de massa. Temos:

$$\vec{v} = \frac{m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 + \ldots + m_n\vec{v}_n}{m_1 + m_2 + \ldots + m_n} \qquad \vec{\gamma} = \frac{m_1\vec{a}_1 + m_2\vec{a}_2 + \ldots + m_n\vec{a}_n}{m_1 + m_2 + \ldots + m_n}$$

b) O centro de massa de um sistema move-se como se toda a massa do sistema estivesse nele concentrada e todas as forças externas estivessem nele aplicadas, isto é:

$$\vec{R} = M\vec{\gamma} \quad \begin{cases} \vec{F} \rightarrow \text{resultante das forças externas} \\ M \rightarrow \text{massa total do sistema} \\ \vec{\gamma} \rightarrow \text{aceleração do centro de massa} \end{cases}$$

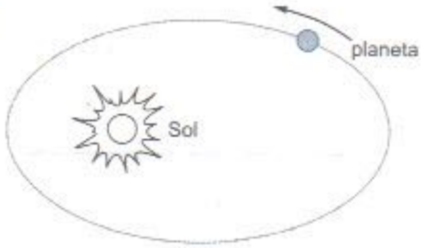
c) A quantidade de movimento total de um sistema é igual à quantidade de movimento do centro de massa, supondo nele concentrada a massa total do sistema.

GRAVITAÇÃO

Leis de Kepler

1. Primeira Lei de Kepler (Lei das Órbitas)

"Todo planeta descreve em torno do Sol uma órbita elíptica, na qual o Sol ocupa um dos focos."



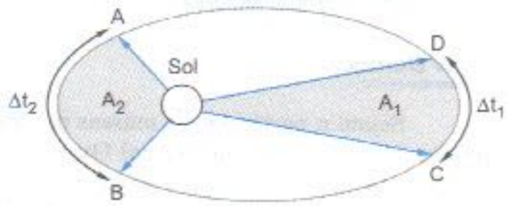
2. Segunda Lei de Kepler (Lei das Áreas)

"O vetor posição varre áreas iguais em intervalos de tempo iguais."

Δt_1 = intervalo de tempo para ir de C a D.

Δt_2 = intervalo de tempo para ir de A a B.

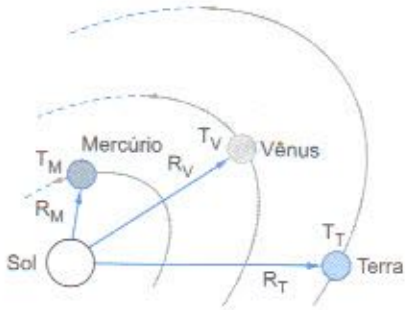
$$\Delta t_1 = \Delta t_2 \Leftrightarrow A_1 = A_2$$



3. Terceira Lei de Kepler (Lei dos Períodos)

"A razão entre o quadrado do período (T) e o cubo do raio médio (R) até o Sol mantém-se constante para qualquer planeta."

$$\frac{T_M^2}{R_M^3} = \frac{T_V^2}{R_V^3} = \frac{T_T^2}{R_T^3} = \ldots = k$$



Lei da Gravitação de Newton

$$F = G\,\frac{Mm}{r^2}$$

No SI, temos: $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$

Energia

Dadas duas partículas de massas M_1 e M_2 separadas por uma distância *r*, a energia potencial gravitacional das partículas é igual a $E_g = -G\,\frac{M_1M_2}{r}$, desde que adotemos referencial no infinito.

Aceleração da Gravidade

Na superfície de um planeta esférico e homogêneo, de massa M, temos:

$\mathbf{g_0} = \dfrac{\mathbf{GM}}{\mathbf{R^2}}$, onde R é o raio do planeta.

Porém, essa expressão é válida desde que o planeta não tenha rotação.

Se o planeta tiver rotação com velocidade angular ω, a aceleração da gravidade na linha do Equador será dada por: $\mathbf{g} = \mathbf{g_0} - \omega^2 \cdot \mathbf{R}$.

Velocidade de Escape

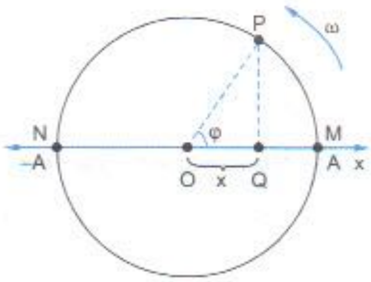
Para um planeta esférico, homogêneo, de massa M e raio R, a velocidade de escape é:

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES (MHS)

Definição

O ponto P está executando um movimento circular uniforme. Observe que, enquanto o ponto P faz uma volta completa, sua projeção em x (ponto Q) executa um vaivém, entre os dois pontos M e N. O movimento do ponto Q é denominado *harmônico simples*.



Equações

Para o MHS podemos escrever:

$x = A\cos(\varphi_0 + \omega t)$ $v = -A\omega\,\mathrm{sen}(\varphi_0 + \omega t)$ $a = -A\omega^2\cos(\varphi_0 + \omega t)$		$a = -\omega^2 x$ $\quad F = -kx$ $T = 2\pi\sqrt{m/k}$ $\omega = \sqrt{k/m}$
$E_e = \dfrac{kx^2}{2}$	$E_m = \dfrac{kA^2}{2}$	$E_c = E_m - E_e = \dfrac{k}{2}(A^2 - x^2)$

E_e = energia potencial elástica

E_c = energia cinética

E_m = energia mecânica

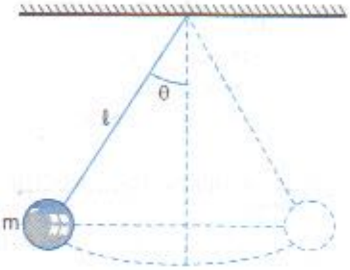
PÊNDULOS

Pêndulo Simples

A trajetória do corpo é um arco de circunferência; o fio que o sustenta varre um setor circular. Para pequenas amplitudes, seu período pode ser calculado por:

$$\mathbf{T = 2\pi \sqrt{\ell / g}}$$

onde g é a aceleração local da gravidade.

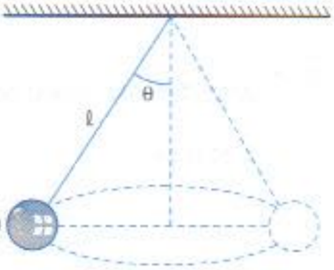


Pêndulo Cônico

A trajetória do corpo é uma circunferência; o fio que o sustenta varre uma superfície cônica.

Seu período é dado por:

$$\mathbf{T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell \cos\theta}{g}}}$$

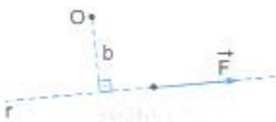


ESTÁTICA

Momento de uma Força

Na figura ao lado, o momento da força ($\vec{F}$) em relação ao ponto O é dado por:

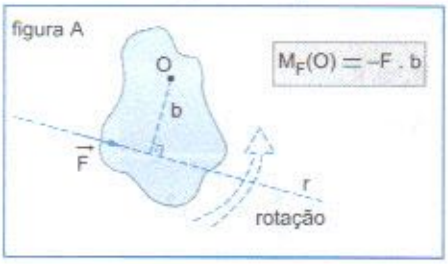
$$M_F(O) = F \cdot b$$

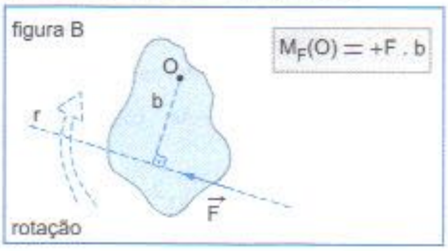


O braço (b) é a menor distância entre o ponto O e a linha (r) de ação da força.

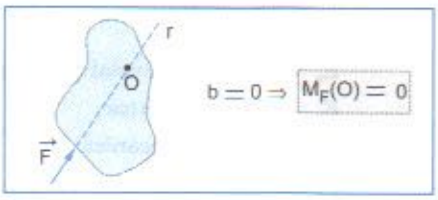
Se a força tende a produzir rotação no sentido anti-horário → $M_F < 0$ (figura A).

Se a força tende a produzir rotação no sentido horário → $M_F > 0$ (figura B).





Nota: se a linha de ação da força passar pelo pólo, o momento da força é nulo (pois b = 0).



Condições de Equilíbrio de um Corpo

1ª) A resultante das forças atuantes no corpo deve ser nula: $\sum \vec{F} = \vec{R} = \vec{0}$.

2ª) A soma dos momentos das forças atuantes no corpo deve ser nula (em relação a um ponto arbitrário): $\sum M = 0$.

MECÂNICA DOS FLUIDOS

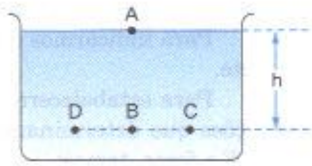
Pressão

Considere a força $\vec{F}$, que atua perpendicularmente à área S. Chama-se pressão (p) o quociente:

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

Pressão num Líquido

Considere um recipiente contendo um líquido em equilíbrio, conforme a figura.



A pressão devida à camada de líquido sobre os pontos B, C ou D é dada pela Lei de Stevin.

$$p = hdg$$

onde: p = pressão; d = densidade do líquido; g = aceleração da gravidade; h = distância entre a superfície do líquido e o ponto considerado.

A pressão total (ou absoluta) nos pontos B, C ou D é dada por $\mathbf{p_B = p_C = p_D = p_0 + hdg}$, onde p_0 é a pressão que atua no ponto A.

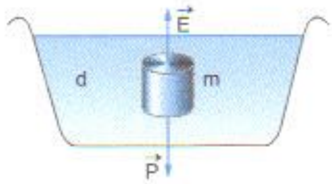
Princípio de Arquimedes

Refere-se à força que aparece nos corpos imersos em fluidos. Essa força, chamada *empuxo*, possui direção perpendicular à superfície do líquido e sentido apontando para fora do mesmo. Sua intensidade pode ser calculada conforme o texto de Arquimedes:

"O empuxo é igual ao peso do líquido deslocado."

Exemplo:

$$E = m_{\ell d} \cdot g \Rightarrow \mathbf{E = d \cdot V_{\ell d} \cdot g}$$

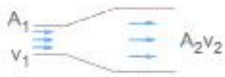


Para um fluido em movimento, temos três equações:

1. Equação da Continuidade

$$\mathbf{A_1v_1 = A_2v_2}$$

A: a área da tubulação
v: a velocidade do fluido



2. Equação de Bernoulli

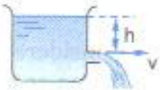
$$p_1 + dgh_1 + \frac{1}{2}dv_1^2 = p_2 + dgh_2 + \frac{1}{2}dv_2^2$$

p: pressão absoluta no ponto considerado
d: densidade do fluido
g: aceleração da gravidade
h: altura do ponto considerado
v: velocidade do fluido no ponto considerado

3. Equação de Torricelli

$$v = \sqrt{2gh}$$

v: velocidade de saída do fluido na abertura
h: desnível entre a superfície do fluido e a abertura na tubulação



ANÁLISE DIMENSIONAL

Escrever a dimensão de uma grandeza física significa escrever sua relação com as grandezas fundamentais de um sistema, ou seja, as "dimensões" do sistema.

Para indicarmos que estamos tratando da dimensão de uma grandeza, utilizamos o colchete.

Para estabelecermos a dimensão de uma grandeza, partimos das leis físicas ou das definições que determinam a relação dessa grandeza com as demais. Assim, por exemplo, sendo F a força, temos:

$$\left.\begin{array}{l} [F] = [m][a] \\ [a] = \dfrac{L}{T^2} = LT^{-2} \\ [m] = M \end{array}\right\} [F] = M^1L^1T^{-2}$$

TERMOLOGIA

TERMOMETRIA

Definição

Estuda as várias maneiras de se medir temperatura e as relações entre as escalas termométricas.

Escalas Termométricas

Faremos referência às escalas relativas Celsius, Fahrenheit e a uma escala absoluta: a escala Kelvin. Podemos relacioná-las como segue:

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} = \frac{T - 273}{5}$$

CALORIMETRIA

Relação Fundamental

Dado um corpo constituído por uma única substância, vale:

$\mathbf{Q} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{c}\,(\Delta\theta)$ onde:

- Q: calor recebido ou perdido pelo corpo
- m: massa do corpo
- c: calor específico da substância que constitui o corpo
- $\Delta\theta$: variação de temperatura sofrida pelo corpo ($\Delta\theta = \theta_f - \theta_0$)

Unidades de Calor

caloria (cal)   joule (J)   **1 cal = 4,19 J**

Se $Q > 0$ ($\Delta\theta > 0$): calor recebido
Se $Q < 0$ ($\Delta\theta < 0$): calor perdido

Capacidade Térmica de um Corpo (C)

$C = \dfrac{Q}{\Delta\theta}$ onde:
- Q: quantidade de calor recebida ou perdida pelo corpo (sem mudança de estado)
- $\Delta\theta$: variação de temperatura do corpo

Para um corpo constituído por uma única substância, de calor específico *c*, vale:

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

Equivalente em Água de um Corpo (E)

É definido como uma massa de água de capacidade térmica igual à do corpo.

Se o calor for medido em calorias e a massa do corpo em gramas, o equivalente em água é numericamente igual à capacidade térmica do corpo.

MUDANÇAS DE ESTADO

Quando aquecemos um corpo, sua temperatura aumenta até que este comece a mudar de estado físico.

Durante a mudança de estado, a temperatura do corpo permanece *constante*.

Chamamos de "calor latente" a quantidade de calor necessária para que um grama de substância mude de estado.

Daí, pode-se concluir que:

$Q = m \cdot L$ onde:
- L: calor latente da mudança em questão
- Q: calor envolvido na mudança de estado
- m: massa do corpo

DILATAÇÃO

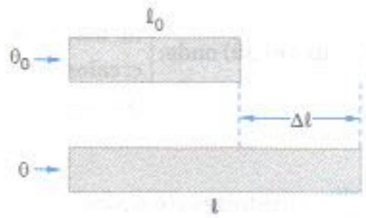
A experiência mostra que quase todos os corpos aumentam suas dimensões quando a temperatura aumenta. É a dilatação térmica.

Dilatação Linear

É o estudo da dilatação numa só dimensão.

A equação que relaciona essas grandezas é:

$$\Delta\ell = \ell_0 \alpha \Delta\theta$$



onde: $\Delta\ell = \ell - \ell_0$

ℓ_0 = comprimento inicial

ℓ = comprimento final

α = coeficiente de dilatação linear

$\Delta\theta = \theta - \theta_0$ = variação de temperatura ($\Delta\theta > 0$)

Essa equação pode ainda ser escrita como $\ell = \ell_0(1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$

Dilatação Superficial

É o estudo da dilatação em duas dimensões.

Teremos: $\Delta \mathbf{S} = \mathbf{S_0}\beta\Delta\theta$ ou $\mathbf{S} = \mathbf{S_0}(\mathbf{1} + \beta\Delta\theta)$

onde: β = coeficiente de dilatação superficial.
Para um dado material $\beta = \mathbf{2}\alpha$

Dilatação Volumétrica

É o estudo da dilatação a três dimensões. Pode ser aplicado tanto a sólidos, quanto a líquidos e gases. Teremos:

$$\mathbf{V} = \mathbf{V_0}(\mathbf{1} + \gamma\Delta\theta) \quad \text{ou} \quad \Delta\mathbf{V} = \mathbf{V_0}\gamma\Delta\theta$$

onde γ é o coeficiente de dilatação volumétrica e $\gamma = \mathbf{3}\alpha$.

TRANSMISSÃO DE CALOR

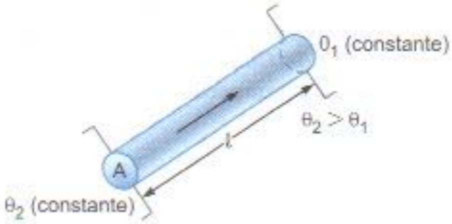
Condução

No fenômeno da condução, o calor é transmitido através de um corpo sem que haja transporte de matéria. Podemos tomar como exemplo o aquecimento do cabo de uma colher metálica cuja concha é mantida no café quente. A razão entre o calor transmitido (Q) através de um corpo e o tempo (Δt) gasto nessa transmissão é denominada fluxo de calor (ϕ).

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t}$$

Para a barra ao lado, na qual o fluxo é constante (regime estacionário) e onde o calor só é transmitido pelos extremos, verifica-se que o fluxo de calor:

1) é diretamente proporcional à diferença de temperatura ($\theta_2 - \theta_1$).
2) é diretamente proporcional à secção reta A.
3) é inversamente proporcional ao comprimento ℓ.



$$\phi = kA\,\frac{(\theta_2 - \theta_1)}{\ell}$$

em que k, a constante de proporcionalidade, depende do material e é chamada condutividade térmica.

Convecção

Convecção é o fenômeno no qual o calor é transferido pelo movimento de um fluido de um local para outro, como no caso da água sendo aquecida em uma panela. Pode ser natural, ou seja, ocorrer devido a diferença de densidade provocada pela diferença de temperatura ou forçado por bombas ou ventiladores.

Radiação

Radiação é o nome dado à transmissão de calor entre regiões ou corpos por meio de ondas eletromagnéticas, não sendo, portanto, necessária a presença de um meio material. É responsável pelo aquecimento do nosso planeta pela radiação solar.

III GASES

Caracterização

Um gás é caracterizado por três variáveis, chamadas variáveis de estado, que são:

- Pressão (p);
- Volume (V);
- Temperatura (T).

Transformações Gasosas

Quando pelo menos duas dessas variáveis mudam, dizemos que o gás sofreu uma transformação. Consideraremos, agora, algumas transformações particulares.

1. Transformação Isotérmica

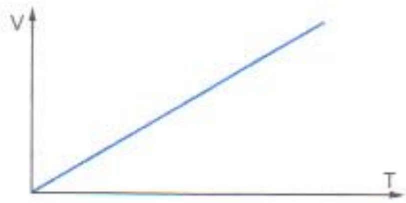
A temperatura permanece constante.

Lei de Boyle-Mariotte: a pressão varia de maneira inversamente proporcional ao volume.

2. Transformação Isobárica

A pressão permanece constante.

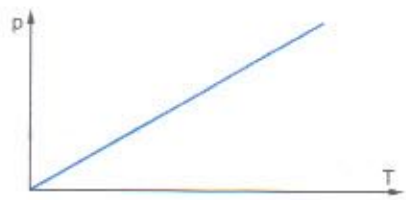
Lei de Charles: o volume varia diretamente proporcional à temperatura absoluta.



3. Transformação Isométrica

Também chamada de isocórica. Nessa transformação, o volume permanece constante.

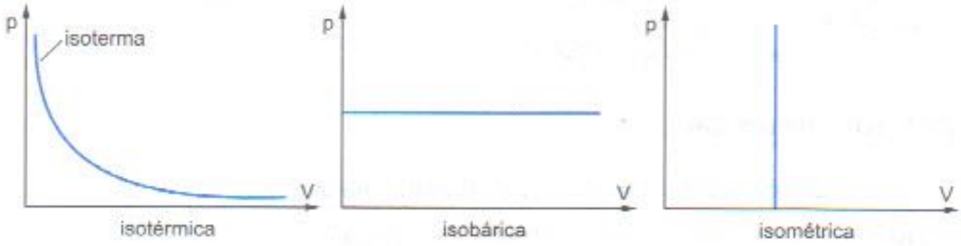
Lei de Gay-Lussac: a pressão varia diretamente proporcional à temperatura absoluta.



4. Transformação Adiabática

É aquela na qual não ocorre troca de calor com o ambiente. Tanto a pressão, como o volume e a temperatura variam.

Colocando-se essas transformações num diagrama p x V, temos:



Equações

Baseado nas idéias expostas, pode-se demonstrar duas equações: a Equação de Estado dos Gases e a Equação Geral dos Gases.

a) *Equação de Estado dos Gases*: $\mathbf{pV = nRT}$ onde:
- p: pressão
- V: volume
- n: número de mols
- R: constante dos gases
- T: temperatura absoluta

Alguns valores para R:

$$R = 0{,}082\ \frac{atm \cdot \ell}{mol \cdot K} \qquad R = 8{,}31\ \frac{J}{mol \cdot K} \qquad R = 2\ \frac{cal}{mol \cdot K} \qquad R = 62{,}3\ \frac{mmHg \cdot \ell}{mol \cdot K}$$

b) *Equação Geral dos Gases*:

$$\frac{p_0 \cdot V_0}{T_0} = \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1}$$

onde o índice 0 representa um estado inicial do gás e o índice 1, outro estado qualquer.

Pode ser usada sempre que a massa do sistema permanecer constante.

Teoria Cinética dos Gases

A teoria cinética dos gases parte de algumas hipóteses que restringem o comportamento do gás e, por meio da mecânica clássica, chega a uma equação que fornece a pressão do gás em função da média dos quadrados das velocidades das moléculas do gás.

Hipóteses

1ª) *Os gases são constituídos de partículas: as moléculas*. Para cada gás, uma molécula pode conter um ou mais átomos.

2ª) *O movimento das moléculas é caótico e inteiramente regido pelas leis da mecânica clássica.*

3ª) *O número de moléculas de uma dada massa de gás é muito grande* (certamente estamos nos referindo a massas mensuráveis por processos macroscópicos – a relatividade do termo "grande" é óbvia).
4ª) *O volume das moléculas em relação ao espaço ocupado pelo gás é muito pequeno.*
5ª) *As colisões entre moléculas e de moléculas com as paredes do recipiente são elásticas e de duração muito pequena.* Isso significa que, nos choques, há conservação de energia cinética e da quantidade de movimento.
6ª) *As forças intermoleculares são desprezíveis.*

Pressão de um Gás

$$\mathbf{p = \frac{1}{3} d\overline{v^2}} \quad \begin{cases} d = \text{densidade absoluta do gás, suposta constante} \\ \overline{v^2} = \text{valor médio dos quadrados das velocidades} \\ \quad \text{das moléculas do gás} \end{cases}$$

Obs.: $\sqrt{\overline{v^2}}$ é chamada *velocidade quadrática média.*

Energia Interna e Temperatura de um Gás

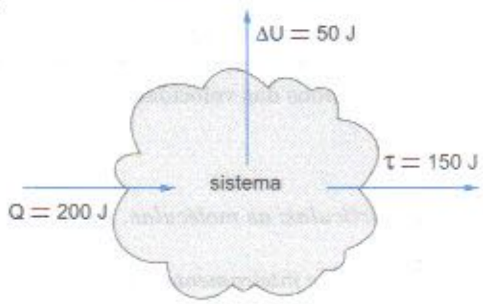
A equação $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$, lembrando que $m = d \cdot V$ e que $p = \frac{1}{3} d \cdot \overline{v^2}$, pode ser reescrita como $\frac{1}{3} \cdot d \cdot \overline{v^2} \cdot \frac{m}{d} = n \cdot R \cdot T$, isto é, $\frac{1}{3} m\overline{v^2} = nRT$ ou $\mathbf{\frac{1}{2} m\overline{v^2} = \frac{3}{2} nRT}$,
$\mathbf{E_c = \frac{3}{2} nRT}$ ou ainda $\mathbf{E_c = \frac{3}{2} pV}$.

TERMODINÂMICA

Primeiro Princípio

O Primeiro Princípio da Termodinâmica é uma aplicação do princípio da conservação de energia. Esse princípio diz que um sistema não pode jamais criar ou destruir energia. Assim sendo, se um sistema receber 200 J de calor e realizar 150 J de trabalho, os 50 J restantes não podem ter desaparecido. Eles aqueceram o sistema, isto é, foram armazenados na forma de energia interna.

Podemos fazer um esquema dessa troca de energia, representando:
Calor recebido pelo sistema (Q): é a energia que entra no sistema e a representamos por uma flecha para dentro.
Exemplo:



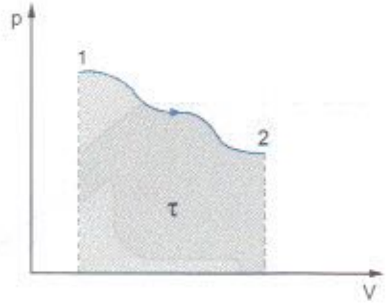
Trabalho cedido pelo sistema (τ): é a energia que sai do sistema, e a representamos por uma flecha para fora.
Aumento de energia interna (ΔU): representamo-la por uma flecha para cima (se for diminuição, a flecha é para baixo). Assim, para obter a relação entre Q, τ e ΔU, basta impor que *a soma das flechas que entram é igual à soma das flechas que saem.*

$$\mathbf{Q = \tau + \Delta U}$$

Trabalho como Área

Para qualquer transformação gasosa, pode ser demonstrado que o trabalho envolvido na transformação é dado pela área sob o gráfico, no diagrama p x V.

Assim:

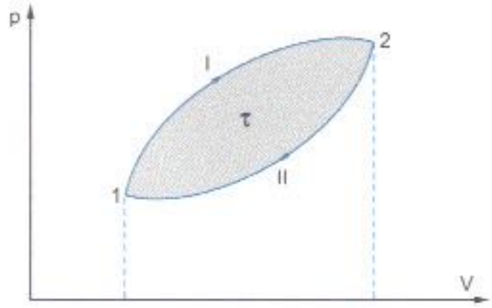


Obs.: sabemos também que, quando o volume do sistema aumenta, o sistema realiza trabalho, e quando esse volume diminui, o sistema recebe trabalho.

Trabalho de um Sistema num Ciclo (Transformação Fechada)

Consideremos um sistema percorrendo o ciclo representado na figura a seguir.

Ao passar de (1) para (2), o gás realiza o trabalho dado pela área A_I, abaixo da transformação I. Ao voltar de (2) para (1), o sistema recebe o trabalho dado pela área A_{II}, abaixo da transformação II. O saldo de trabalho do sistema ao percorrer o ciclo será dado pela diferença $A_I - A_{II}$, entre o trabalho realizado e recebido do sistema.



Mas a diferença é numericamente igual à área interna do ciclo. Logo:

$$\tau_{ciclo} \overset{N}{=} A_{interna}$$

Observemos que, se o ciclo é percorrido no sentido anti-horário, o sistema recebe trabalho; no sentido horário, o sistema realiza trabalho. Nessa transformação, o sistema volta ao estado energético inicial e, por isso, é nula a variação de energia interna:

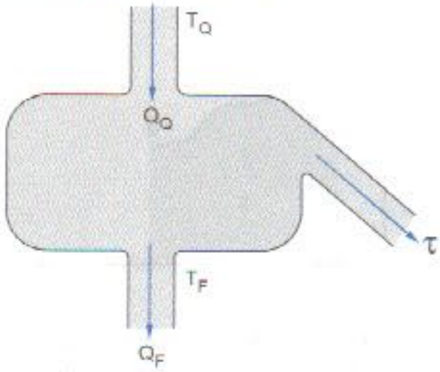
$$\Delta U = 0$$

Conclui-se que: $Q = \tau$, ou seja, há equivalência entre o trabalho realizado e o calor trocado.

Segundo Princípio – Lei de Carnot

Rege o comportamento das máquinas térmicas. É impossível, pelo enunciado do Segundo Princípio, construir-se uma máquina perfeita.

Podemos representar a máquina como segue:



onde: T_Q é a temperatura da fonte quente.

T_F é a temperatura da fonte fria.

Tal esquema pode ser traduzido num dos enunciados da Lei de Carnot:

"Um sistema converte calor em trabalho, operando em ciclo entre duas fontes térmicas, uma quente, que lhe fornece calor, e outra fria, para onde a máquina rejeita parte do calor recebido."

O rendimento da máquina pode ser escrito: $\eta = 1 - \dfrac{Q_F}{Q_Q} = 1 - \dfrac{T_F}{T_Q}$.

ELETRODINÂMICA

Corrente Elétrica (i)

$i = \frac{|Q|}{\Delta t}$ | Q: quantidade de carga; Δt: intervalo de tempo

$\mathbf{i = \frac{n \cdot e}{\Delta t}}$ | n: nº de elétrons; $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C

Definição de Resistência (R)

$R = \frac{U}{i} \Rightarrow \mathbf{U = R \cdot i}$

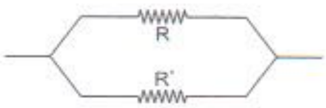
Associação de Resistores

a) *Série:* $R_{eq.} = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_n$ (*i* é a mesma em todos os resistores $R_1, R_2, \ldots, R_n$)

b) *Paralelo:* $\frac{1}{R_{eq.}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_n}$ (U é igual para todos os resistores $R_1, R_2, \ldots, R_n$)

Casos Particulares

- *Dois resistores em paralelo:*



$\mathbf{R_{eq.} = \frac{R \cdot R'}{R + R'}}$ "produto pela soma"

- n *resistores iguais em paralelo:*

$R_{eq.} = \frac{R}{n}$

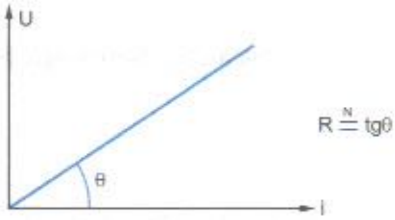
• n *resistores iguais em série:*

Lei de Ohm

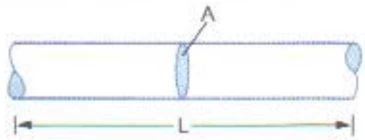
A Lei de Ohm afirma que a razão entre a tensão (U) nos terminais de um condutor e a corrente elétrica (i) que o atravessa, ou seja, sua resistência elétrica (R), não se altera.

Os materiais que seguem a Lei de Ohm são chamados de ôhmicos e só o fazem dentro de certas condições físicas muito especiais, em geral quando a temperatura é mantida constante.

Devemos lembrar que a Lei de Ohm não é expressa por $U = R \cdot i$, que permanece como a definição de resistência. Um condutor segue a Lei de Ohm se seu gráfico de tensão (U) *versus* corrente (i) for linear (devendo obrigatoriamente passar pela origem), e sua resistência é dada pela inclinação dessa reta (valor numérico da tangente de θ), como é mostrado na figura ao lado.



Variação da Resistência em Função das Dimensões do Condutor (Cilíndrico) e do Material



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

R: resistência
ρ: resistividade (característica do material e da temperatura)
L: comprimento
A: área da secção transversal do condutor

Variação da Resistência com a Temperatura

$$\mathbf{R} = \mathbf{R_0}\,[\mathbf{1} + \alpha(\theta - \theta_0)]$$

R_0: resistência na temperatura θ_0
R: resistência na temperatura θ
$\theta > \theta_0$
α: coeficiente de temperatura (característica do material)

Condutância (C) e Condutividade (c)

$$C = \frac{1}{R} \quad \text{ou} \quad [C] = \frac{1}{\Omega} = \text{mho} \quad ; \quad c = \frac{1}{\rho} \quad [c] = \frac{1}{\Omega \cdot m} = \frac{S}{m}$$

$[C]$ = siemens (S)

Potência (P)

Potência é definida como a rapidez com que se realiza uma conversão de energia. De modo geral, a potência média (P_m) é dada por:

$$P_m = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

ΔE: energia transformada
Δt: tempo gasto

Na eletricidade, temos:

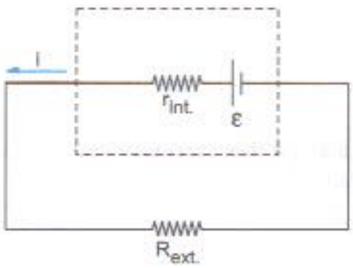
$$P = U \cdot i$$

U: tensão a que estão submetidos os terminais do elemento
i: corrente que atravessa o elemento

1. Potência Dissipada em um Resistor (P_d)

$$P_d = \frac{U^2}{R} = R \cdot i^2 \qquad \text{(Lei de Joule)}$$

2. Potência Máxima de um Gerador ($P_{máx.}$)



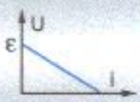
A condição para que a potência transmitida seja máxima é:

$$R_{ext.} = r_{int.}$$

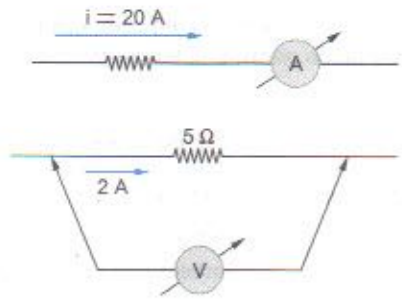
Nessa situação, temos:

$i = \frac{i_{cc}}{2} = \frac{\varepsilon}{2\, r_{int.}}$, em que i_{cc} é a corrente de curto-circuito.

Geradores e Receptores

	Equação	Gráfico	Pot. Útil	Pot. Diss.	Pot. Total = = $P_u + P_d$	Rendim. = $\frac{P_u}{P_t}$
Gerador	$U = \varepsilon - ri$		$P_u = U \cdot i$	$P_d = r \cdot i^2$	$P_t = \varepsilon \cdot i$	$\eta = \frac{U}{\varepsilon}$
Receptor	$U = \varepsilon' + ri$		$P_u = \varepsilon' \cdot i$	$P_d = r \cdot i^2$	$P_t = U \cdot i$	$\eta = \frac{\varepsilon'}{U}$

Medidores Ideais



Um medidor é ideal quando a sua entrada ou saída do sistema não altera o estado do mesmo.

a) *Amperímetro:* é o medidor de corrente. Deve ser inserido em série com o ramo no qual se quer medir a corrente. Possui resistência desprezível. Leitura do amperímetro: $L_A = 20$ A.

b) *Voltímetro:* é o medidor de diferença de potencial. Deve ser ligado em paralelo com o ramo no qual se quer medir a *ddp*. Possui resistência considerada infinita.

Leitura do voltímetro: $L_V = 10$ V.

c) *Galvanômetro:* é um detector de pequenas correntes. Possui resistência considerável e a corrente máxima que suporta é da ordem de miliampères. É utilizado na construção de amperímetros, pela associação de uma resistência *(shunt)* em paralelo com o galvanômetro, e de voltímetros, pela associação de uma resistência (multiplicadora) em série com o galvanômetro.

Leis de Kirchhoff

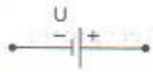
1. Primeira Lei (Lei dos Nós)

"A soma das correntes que chegam a um nó é igual à soma das correntes que saem do nó." Deve ser aplicada (n – 1) vezes, onde *n* é o número de nós.

2. Segunda Lei (Lei das Malhas)

"Quando se percorre uma malha, partindo e chegando a um mesmo ponto, a soma algébrica das tensões é nula."

As parcelas dessa soma são do tipo U e $R \cdot i$.



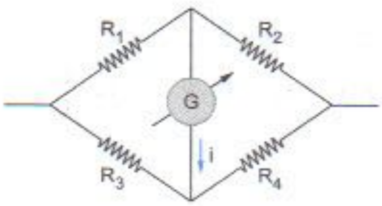
Convenção de sinais:

Para U: vale o sinal de chegada do operador ao símbolo.

Para $R \cdot i$: se o operador, ao passar pela resistência, estiver percorrendo o circuito no mesmo sentido da corrente, $R \cdot i$ será positivo; se não, negativo.

Utilização: aplicar essa lei até que o número total de equações se iguale ao número de incógnitas.

Ponte de Wheatstone

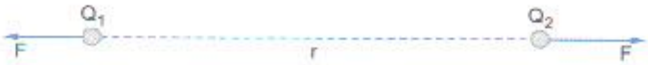


No equilíbrio: i = 0 e
$\mathbf{R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3}$ (Os produtos das resistências opostas são iguais.)

FORÇA E CAMPO ELÉTRICO

Lei de Coulomb

$$F_{el.} = \frac{k\,|Q_1|\,|Q_2|}{r^2}$$



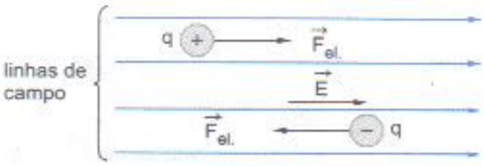
$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon}$ onde: ε = permissividade absoluta do meio.

Geralmente, o meio onde estão as cargas é o vácuo. Nesse caso:

$$k_0 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \quad \text{(SI)}$$

Campos Elétricos

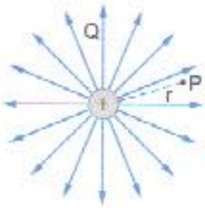
a) Campo elétrico uniforme:



$$\vec{F}_{el.} = q \cdot \vec{E} \Rightarrow \vec{E} = \frac{\vec{F}_{el.}}{q}$$

$\vec{F}_{el.}$: força elétrica
q: carga

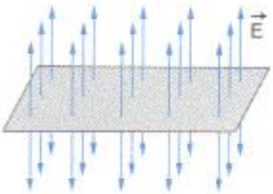
b) Campo de carga puntiforme:



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

Q: carga geradora do campo
r: distância de P à carga

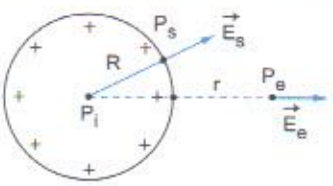
c) Campo criado por placa infinita, carregada com densidade superficial σ:



$$E = \frac{|\sigma|}{2\varepsilon}$$

$\sigma = \frac{Q}{S}$
Q = carga
S = área que contém a carga Q

d) Campo nas proximidades de um condutor esférico, carregado:



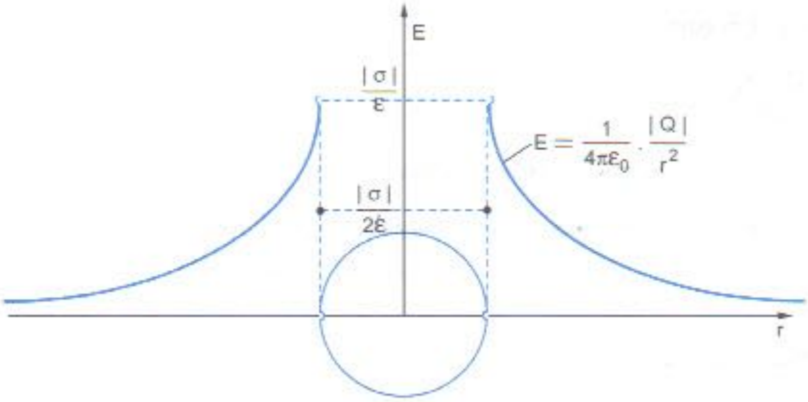
Pontos internos: $E_i = 0$

Pontos na superfície: $E_s = \frac{|\sigma|}{2\varepsilon}$

Pontos externos: $E_e = \frac{k\,|Q|}{r^2}$

Pontos infinitamente próximos à superfície: $E_p = \frac{|\sigma|}{\varepsilon}$

Curva característica da variação do campo em função da distância, para um condutor esférico.



Fluxo do Campo Elétrico (ϕ)

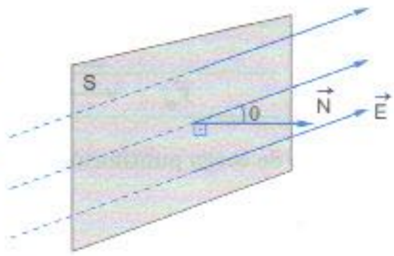
O fluxo eletrostático através de uma superfície é, de certa forma, uma medida do número de linhas de campo que atravessam essa superfície.

$$\phi = \mathbf{E} \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{cos\theta}$$

onde $\vec{N}$ é a normal à superfície, S é a área da superfície e θ é o ângulo formado entre $\vec{N}$ e $\vec{E}$.

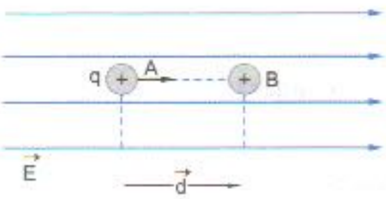
Lei de Gauss: o fluxo através de uma superfície fechada não depende das cargas externas e vale:

$\phi = \dfrac{\Sigma\, q_{internas}}{\varepsilon}$, onde ε é a permissividade absoluta do meio.



POTENCIAL E CAPACITORES

Trabalho e DDP no Campo Elétrico Uniforme



$$\left| \begin{array}{l} {}_{\vec{F}_{el.}}\tau_A^B = \vec{F}_{el.} \cdot \vec{d} \\ \vec{F}_{el.} = q\vec{E} \end{array} \right. \Rightarrow {}_{\vec{F}_{el.}}\tau_A^B = qEd$$

A energia potencial da carga q em B é menor do que em A e vale:

$$\mathbf{W_B = W_A - q \cdot E \cdot d}$$

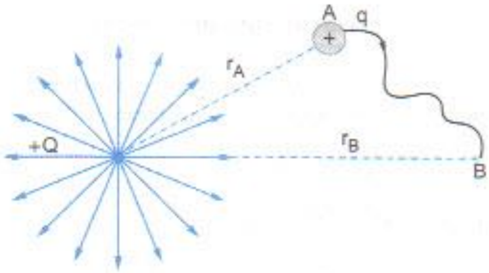
$$\frac{{}_{\vec{F}_{el.}}\tau_A^B}{q} = U_{AB} \Rightarrow \mathbf{E \cdot d = U}$$

Carga Puntiforme

Potencial no ponto A: $V_A = k \cdot \dfrac{Q}{r_A}$.

Energia potencial de q em A: $W_A = q \cdot V_A$.

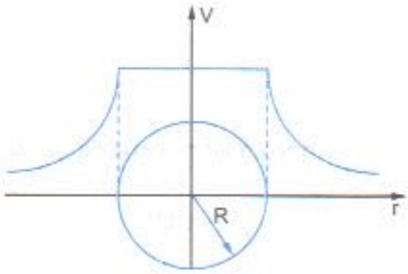
Trabalho do campo elétrico para levar q de A até B: $\tau_{\vec{F}_{el.}}{}_A^B = q \cdot (V_A - V_B)$.



Variação do Potencial nas Proximidades de um Condutor Esférico Carregado

a) Pontos internos e da superfície: $V_i = V_s = \dfrac{kQ}{R}$

b) Pontos externos: $V_e = \dfrac{kQ}{r}$

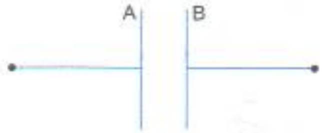


Capacidade Eletrostática de um Condutor ou Capacitância

$$C = \frac{Q}{V}$$

Capacidade do Capacitor

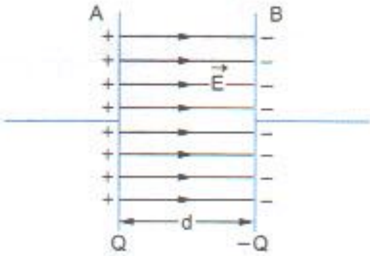
$$C = \frac{Q}{V_A - V_B} \Rightarrow C = \frac{Q}{U} \Rightarrow Q = C \cdot U$$



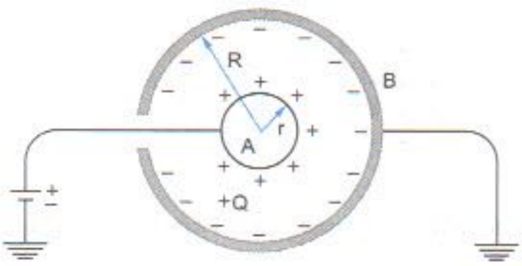
Tipos de Capacitores

a) Plano:

$C = \dfrac{\varepsilon S}{d}$ | ε = permissividade; S = área; d = distância entre as placas

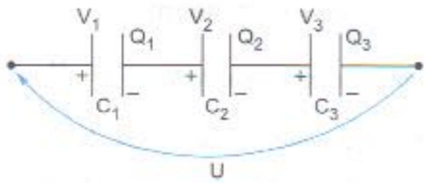


b) Esférico:



$$C = \frac{R \cdot r}{K(R - r)}$$

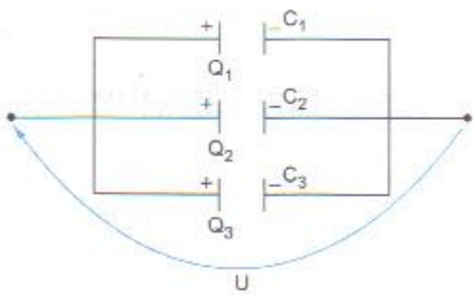
Associação de Capacitores



a) *Série:* neste caso, as cargas armazenadas nos capacitores são iguais (no equilíbrio).

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$$

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



b) *Paralelo:* neste caso, a tensão nos capacitores é a mesma (no equilíbrio).

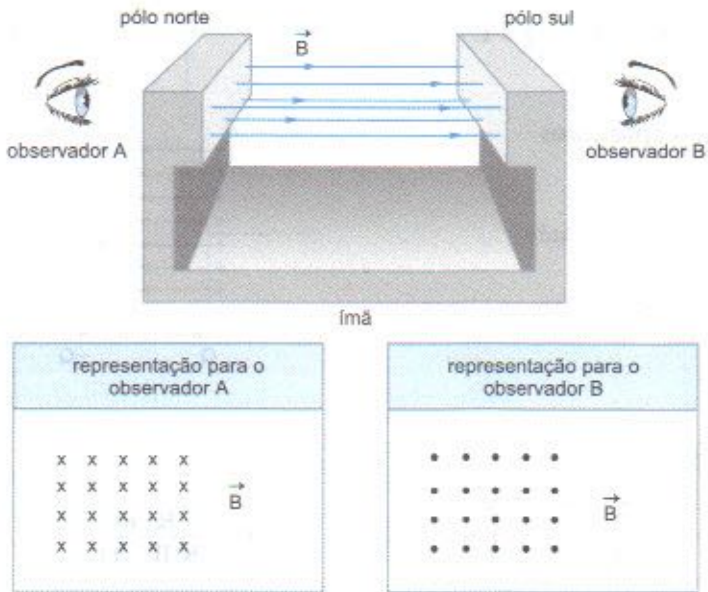
$$C_{eq.} = C_1 + C_2 + C_3$$

Energia Armazenada em um Capacitor

$$\left|\begin{array}{l} E = \dfrac{QU}{2} \\ Q = CU \end{array}\right. \Rightarrow E = \frac{CU^2}{2}$$

ELETROMAGNETISMO

Representação do Campo de Indução Magnética ($\vec{B}$)



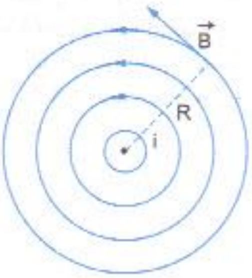
A intensidade do campo de indução magnética é indicada pela letra B e a unidade de medida é o tesla (T).

Produção do Campo

Corrente elétrica i cria campo $\vec{B}$. Aliás, todo e qualquer campo magnético é criado por corrente elétrica, mesmo o campo magnético dos ímãs permanentes. A teoria atual ensina que os elétrons nos ímãs descrevem órbitas orientadas, dando o campo magnético resultante.

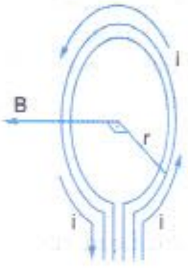
O campo magnético é produzido pelo movimento de cargas. Determinação do vetor indução magnética pela Regra da Mão Direita: o polegar vai no sentido da corrente, os outros dedos dão o sentido das linhas de indução magnética.

Regra da Mão Direita



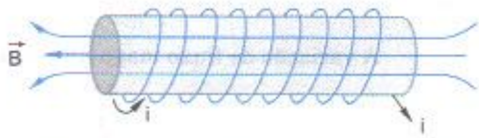
fio retilíneo e infinito

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi R}$$



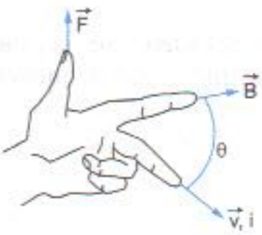
espira circular

$$B = \frac{\mu_0 i}{2r}$$



Bobina ou solenóide (comprimento muito maior que o diâmetro) $B = \mu_0 n i$, onde n é o número de voltas por metro de comprimento.

Força Magnética ($\vec{F}_{mag.}$)



O campo de indução magnética ($\vec{B}$) exerce força ($\vec{F}$) numa carga elétrica (q) com velocidade ($\vec{v}$) que forma um ângulo (θ) com $\vec{B}$.

Intensidade: $F = qvB\ \text{sen}\theta$.

Direção: perpendicular ao plano que contém $\vec{v}$ e $\vec{B}$.

Sentido: Regra da Mão Esquerda.

No caso de termos uma corrente elétrica ao invés de uma única carga, a fórmula anterior transforma-se na seguinte:

$$\mathbf{F = B \cdot i \cdot \ell \cdot sen\theta}$$

Essa é a fórmula da força que atua sobre um fio reto de comprimento ℓ, percorrido por corrente i dentro de um campo de indução magnética B. O ângulo entre o fio e as linhas de campo é θ.

Força entre Fios Retilíneos Paralelos

$$\mathbf{F} = \frac{\mu_0 i_1 i_2\, \ell}{2\pi r}$$

a) Atração

b) Repulsão

Definição do Ampère

A atração entre dois fios longos paralelos é usada para definir o ampère. Suponha que os fios estejam separados pela distância de 1 metro (r = 1,0 m) e que as duas correntes sejam iguais ($i_1 = i_2 = i$). Se essa corrente comum aos dois fios for ajustada até que a força por unidade de comprimento entre eles seja igual a $2 \cdot 10^{-7}$ N/m, dizemos que seu valor é 1 A.

Indução Eletromagnética

A variação de fluxo magnético $\Delta\phi$ produz f.e.m. ($\mathcal{E}$).

Lei de Faraday: $|\mathcal{E}| = \dfrac{\Delta\phi}{\Delta t}$

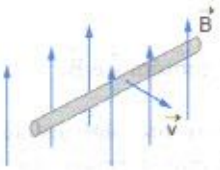
Lei de Lenz: a corrente *i*, provocada por $\mathcal{E}$, aparece no sentido de se opor à variação de fluxo magnético.

Obs.: o fluxo magnético é análogo ao eletrostático.

$$\phi = B \cdot S \cdot \cos\theta$$
$$[\phi] = \text{weber} = \text{Wb}$$

Caso particular: um condutor de comprimento ℓ, com velocidade v, cortando perpendicularmente linhas de indução magnética, fica sujeito a uma ddp ($\mathcal{E}$) entre seus extremos, dada por:

$$\mathcal{E} = B \cdot v \cdot \ell$$

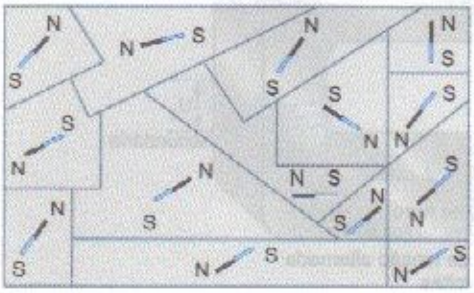


Campos Magnéticos e Variação do Fluxo Elétrico

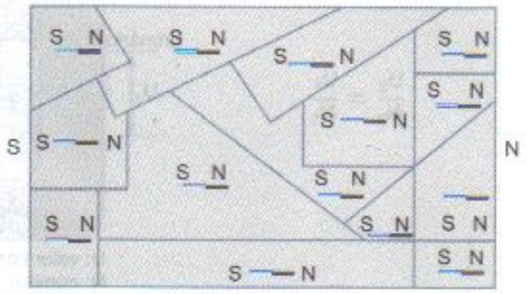
Do mesmo modo que a variação do fluxo magnético cria força eletromotriz e, portanto, campo elétrico, a variação do fluxo elétrico cria campo magnético. Essas constatações explicam a existência das ondas eletromagnéticas.

Propriedades Magnéticas da Matéria

1. Modelo Idealizado por Weber



barra não-imantada (desordem)

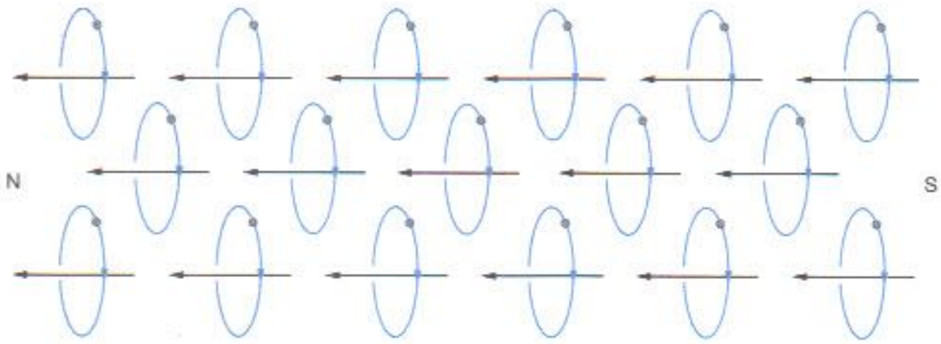


barra imantada (ordem)

2. Modelo Atual (Contribuição de Vários Cientistas)

Hoje, sabemos que os microímãs de Weber são devidos ao movimento ordenado de elétrons.

Um ímã terá campo magnético mais forte quanto maior for a orientação dos pólos devido aos elétrons.



Algumas substâncias, próximas a um campo magnético, podem ser atraídas *fortemente* por ele, outras *fracamente* e ainda outras podem ser *repelidas*.

Segundo o comportamento magnético anterior, as substâncias serão *ferromagnéticas*, *paramagnéticas* e *diamagnéticas*.

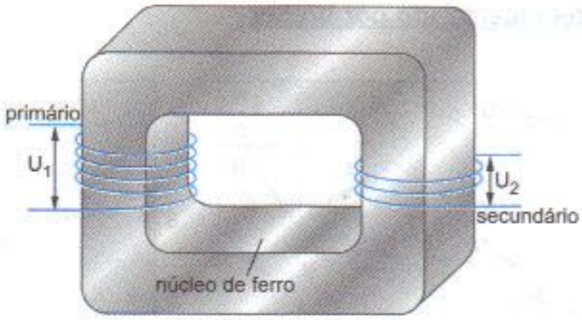
O *paramagnetismo* pode ser explicado por uma pequena concordância na orientação dos campos magnéticos atômicos.

O *ferromagnetismo* é devido ao fato de, em certas substâncias, os átomos se orientarem facilmente.

Transformadores

A relação entre as tensões no primário e no secundário é dada por:

$$\frac{U_2}{N_2} = \frac{U_1}{N_1}$$



U: valor eficaz de tensão alternada
N: número de voltas

Assim, se $N_2 < N_1$, haverá uma tensão menor no secundário que no primário, e, se $N_1 < N_2$, o secundário fornece tensão mais elevada que a do primário.

Esses aparelhos têm rendimento bastante alto, isto é, a potência transmitida ao secundário é praticamente igual à do primário.

$$P_1 = P_2 \qquad \mathbf{U_1 i_1 = U_2 i_2}$$

Assim, vemos que um transformador que eleva a tensão reduz a corrente e vice-versa.

ÓPTICA GEOMÉTRICA

CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Fontes de Luz

- Primárias ou corpos luminosos. Exemplos: Sol, chama de uma vela, etc.
- Secundárias ou corpos iluminados. Exemplos: Lua cheia, parede, etc.

Raio de Luz

É toda linha que representa o trajeto seguido pela luz. É um ente que não tem existência física real.

Meios
- Transparentes. Exemplos: vidro, ar, etc.
- Translúcidos. Exemplos: vidro fosco, papel vegetal, etc.
- Opacos. Exemplos: paredes de madeira, de cimento, etc.

Propagação da Luz

A luz se propaga no vácuo com velocidade aproximada de 300 000 km/s ($3 \cdot 10^8$ m/s).

a) *Princípio da propagação retilínea:*

"Nos meios transparentes e homogêneos, a luz se propaga em linha reta."

b) *Princípio da independência dos raios:*

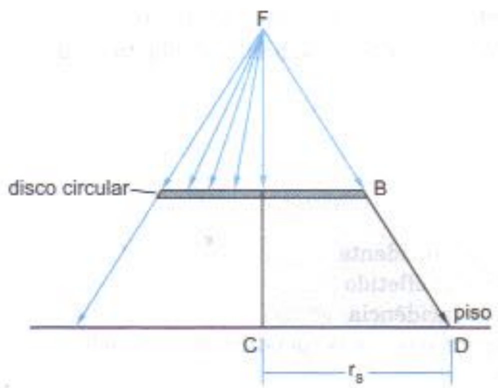
"Os raios luminosos, ao se cruzarem, não influem uns sobre a propagação dos outros."

c) *Princípio da reversibilidade ou do caminho inverso dos raios:*

"Se um raio luminoso executa um certo caminho, um outro poderá fazê-lo em sentido contrário."

Aplicações do Princípio da Propagação Retilínea

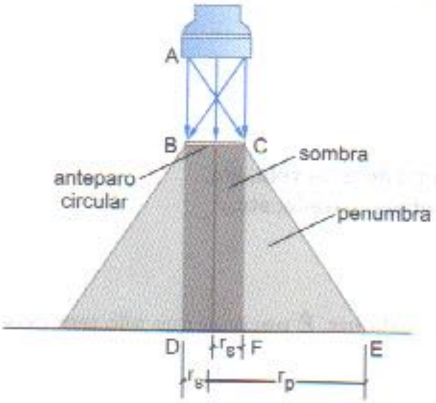
a) *Sombra:* ocorre para fonte de luz puntiforme.



r_s = raio de sombra projetada no piso

$$\Delta FAB \sim \Delta FCD \Rightarrow \frac{FA}{FC} = \frac{AB}{r_s}$$

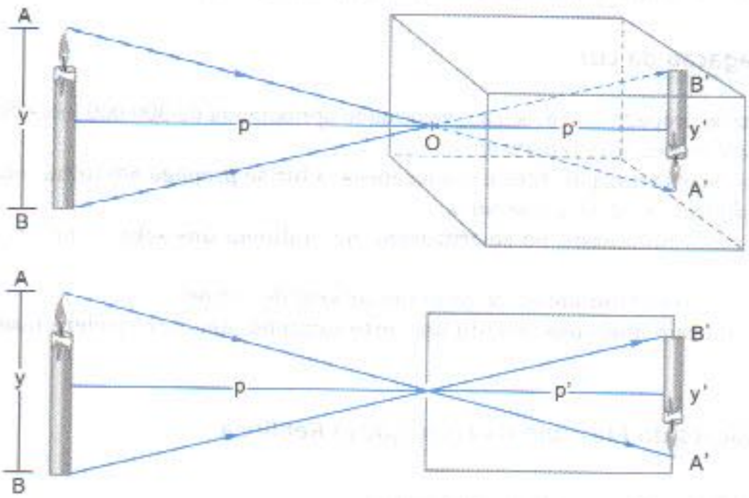
b) *Penumbra:* ocorre para fonte de luz extensa.



$$\Delta ABC \sim \Delta ADE \Rightarrow \frac{\mathbf{BC}}{\mathbf{DE}} = \frac{\mathbf{AB}}{\mathbf{AD}}$$

r_s = raio da sombra projetada
r_p = raio da penumbra projetada
Área da penumbra projetada (A): $\mathbf{A} = \pi(\mathbf{r_p^2} - \mathbf{r_s^2})$

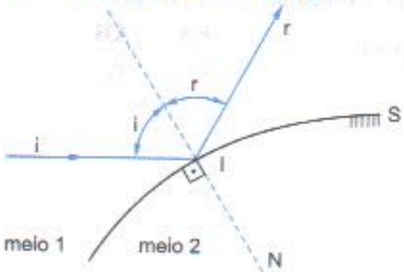
c) *Câmara escura de orifício*



$$\frac{\mathbf{y'}}{\mathbf{y}} = \frac{\mathbf{p'}}{\mathbf{p}}$$

Notas: orifício de dimensões suficientes para evitar a difração da luz.
A imagem (figura imagem) é geometricamente semelhante ao objeto e *não depende da forma do orifício.*

REFLEXÃO DA LUZ



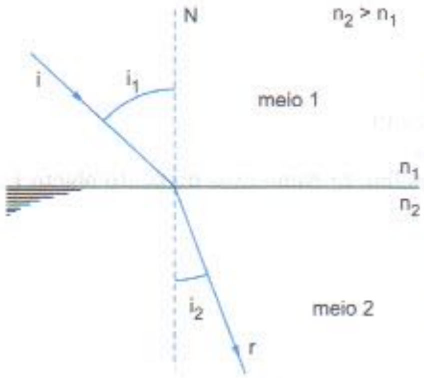
i: raio de luz incidente
r: raio de luz refletido
I: ponto de incidência
N: reta normal (ela é perpendicular a "S" pelo ponto I)
i: ângulo de incidência
r: ângulo de reflexão

Leis da Reflexão

1ª) O raio incidente (i), a reta normal ao ponto de incidência (N) e o raio refletido (r) são coplanares (pertencem ao mesmo plano, denominado plano de incidência).
2ª) O ângulo de incidência (i) e o ângulo de reflexão (r) têm a mesma medida: $\mathbf{i = r}$.

III REFRAÇÃO DA LUZ (LUZ ENTENDIDA SEMPRE COMO RADIAÇÃO MONOCROMÁTICA)

A *luz*, ao passar de um meio homogêneo e transparente para outro meio, modifica sua velocidade de propagação. Esse fenômeno é a refração da luz.



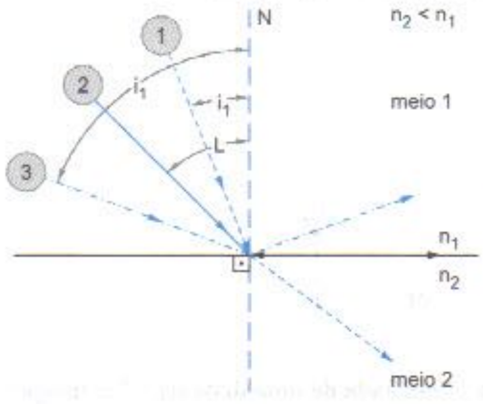
i: raio incidente
N: reta normal à superfície
r: raio refratado
i_1 : ângulo de incidência
i_2 : ângulo de refração
n_1 : índice de refração absoluto do meio 1
n_2 : índice de refração do meio 2
$n_{2,1}$: índice de refração do meio 2 em relação ao meio 1
v_1 : velocidade de propagação da luz no meio 1
v_2 : velocidade de propagação da luz no meio 2
λ_1 : comprimento de onda da luz no meio 1
λ_2 : comprimento de onda da luz no meio 2

$$\frac{\mathbf{sen\ i_1}}{\mathbf{sen\ i_2}} = \mathbf{n_{2,1}} = \frac{\mathbf{n_2}}{\mathbf{n_1}} = \frac{\mathbf{v_1}}{\mathbf{v_2}} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Se $n_2 > n_1 \Rightarrow i_2 < i_1 \Rightarrow v_2 < v_1$, o meio 2 é dito mais refringente que o meio 1.
Se $n_2 < n_1 \Rightarrow i_2 > i_1 \Rightarrow v_2 > v_1$, o meio 2 é dito menos refringente que o meio 1.

Ângulo Limite (L)

Ocorre quando a luz passa do meio mais refringente para o menos refringente ($n_2 < n_1$).

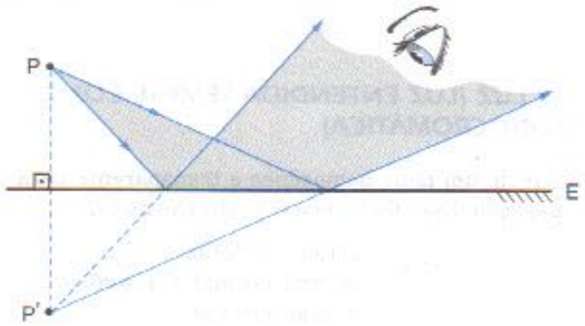


(1) Se $i_1 < L$: ocorre refração.
(2) Se $i_1 = L$: ocorre refração, com raio rasante.
(3) Se $i_1 > L$: ocorre reflexão total.

$$\mathbf{sen\ L} = \frac{\mathbf{n_{menor}}}{\mathbf{n_{maior}}}$$

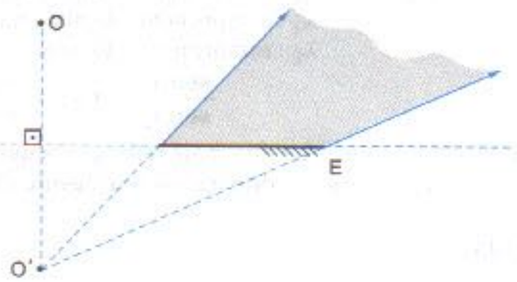
ESPELHOS PLANOS (REFLEXÃO EM SUPERFÍCIES PLANAS)

Propriedades dos Espelhos Planos



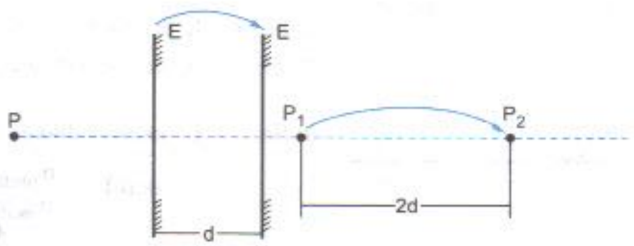
a) A imagem e o objeto são simétricos em relação ao espelho.
b) Para um objeto real, a imagem é virtual e vice-versa.
c) O prolongamento de todos os raios refletidos no espelho, provenientes do ponto objeto P, passam pelo ponto imagem P'.

Campo de um Espelho



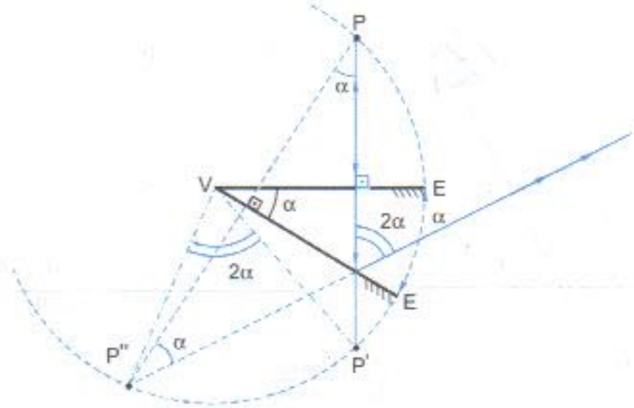
Região do espaço vista pelo observador "O" por reflexão através do espelho. O campo depende: da posição do observador, da forma e da dimensão do espelho.

Translação



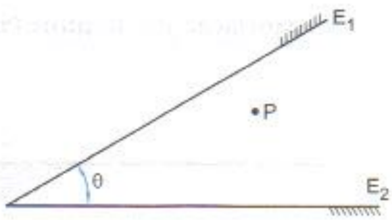
Em relação ao ponto P, se o espelho plano translada de uma distância d, a imagem translada a distância 2d.

Rotação



Se um espelho plano gira de ângulo α, o raio refletido gira de ângulo 2α.

Espelhos Planos Angulares



Sejam dois espelhos planos E_1 e E_2 que formam entre si um ângulo θ (em graus), e um ponto objeto P entre os espelhos.

O número de imagens de P fornecidas pelo sistema é (n) tal que:

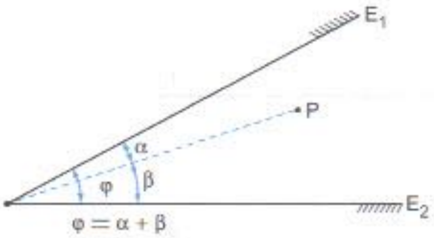
$$\mathbf{n} = \frac{\mathbf{360^o}}{\theta} - \mathbf{1}$$

Essa relação é válida nos seguintes casos:

a) Quando $\frac{360^o}{\theta}$ é um número *inteiro* e par, qualquer que seja a posição do ponto objeto P entre os espelhos.

b) Quando $\frac{360^o}{\theta}$ é um número *inteiro* e ímpar, estando o ponto objeto P no plano bissetor do ângulo θ.

Nota: quando não se verificam uma das condições anteriores, *define-se:* *n* e *m* inteiros, tais que:

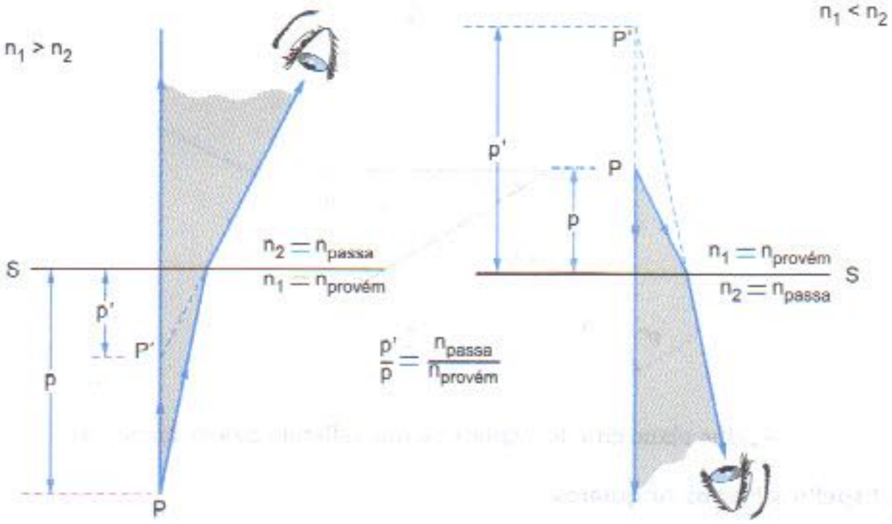


$$n \geq \frac{180^o - \alpha}{\varphi} \; (n \text{ é inteiro})$$

$$m \geq \frac{180^o - \beta}{\varphi} \; (m \text{ é inteiro})$$

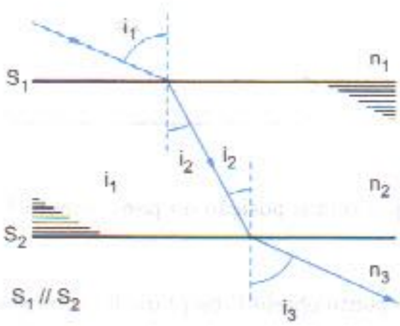
N = n + m onde N é o número total de imagens do sistema.

DIOPTROS PLANOS (REFRAÇÃO EM SUPERFÍCIES PLANAS)



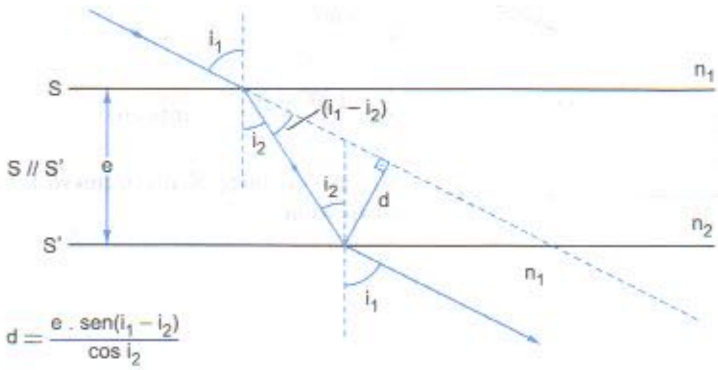
$$\frac{p'}{p} = \frac{n_{passa}}{n_{provém}}$$

Associação de Dioptros Planos e Paralelos (Lâmina de Faces Paralelas)



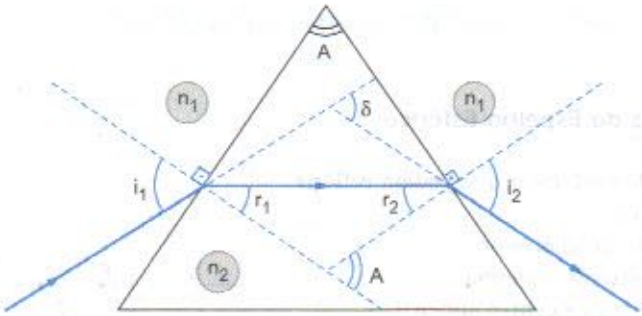
$(S_1) \Rightarrow n_1 \operatorname{sen} i_1 = n_2 \operatorname{sen} i_2 \Rightarrow$
$(S_2) \Rightarrow n_2 \operatorname{sen} i_2 = n_3 \operatorname{sen} i_3$
$\Rightarrow \mathbf{n_1 \operatorname{sen} i_1 = n_3 \operatorname{sen} i_3}$

Se os meios 1 e 3 forem idênticos, o raio emergente será paralelo ao raio incidente. Temos, neste caso, uma lâmina de faces paralelas.



$$d = \frac{e \cdot \operatorname{sen}(i_1 - i_2)}{\cos i_2}$$

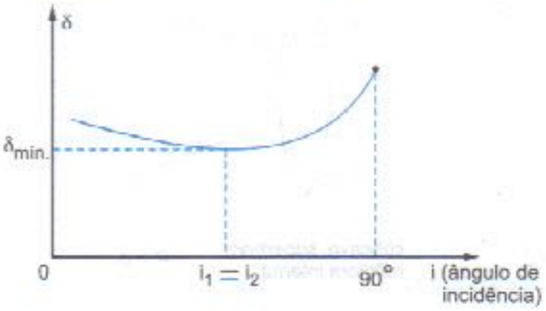
Prismas



(1) $n_1 \text{ sen } i_1 = n_2 \text{ sen } r_1$
(2) $n_2 \text{ sen } r_2 = n_1 \text{ sen } i_2$
(3) $\delta = i_1 + i_2 - A$
(4) $A = r_1 + r_2$

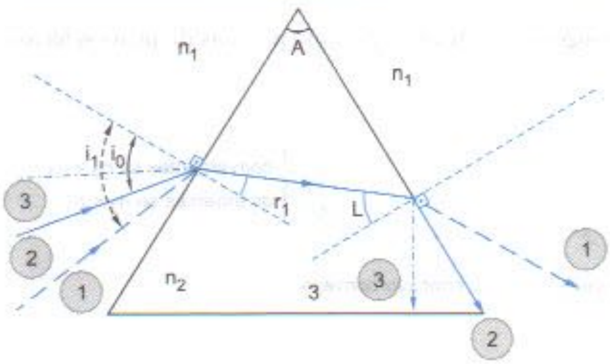
A: ângulo de refringência ou de abertura do prisma
δ: ângulo de desvio

1. Desvio Mínimo ($\delta_{min.}$)



$i_1 = i_2$ e $r_1 = r_2$
$\boldsymbol{\delta_{mín.} = 2i_1 - A}$
$\boldsymbol{A = 2r_1}$

2. Condições de Emergência



$\boldsymbol{r_2 \le L \Rightarrow A \le 2L}$ e
$i_1 \ge i_0$, onde
$\boldsymbol{\text{sen } i_0 = \frac{n_2}{n_1} \cdot \text{sen}(A - L)}$

Nota: sendo

$A \le 2L$:
(1) Se $i_1 > i_0$, raio emerge na 2ª face.
(2) Se $i_1 = i_0$, raio emerge rasante na 2ª face.
(3) Se $i_1 < i_0$, raio sofre reflexão total na 2ª face.

SISTEMAS ÓPTICOS ESFÉRICOS (ESPELHOS E LENTES)

Elementos do Espelho Esférico

São calotas esféricas que podem refletir regularmente a luz.

Elementos geométricos:

p: eixo principal, eixo de simetria

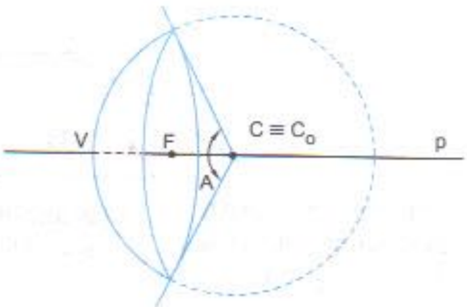
C: centro de curvatura ≡ centro óptico (C_o)

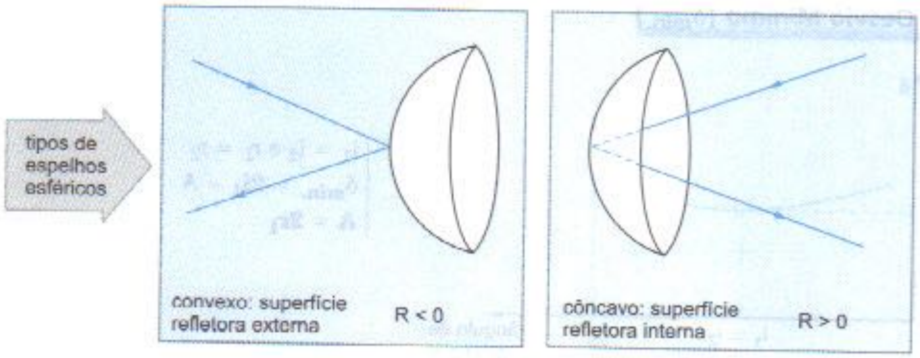
V: vértice

A: ângulo de abertura

VF = f: distância focal

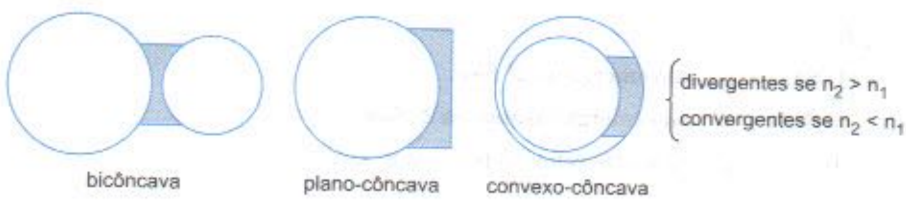
VC = R = 2f: raio de curvatura

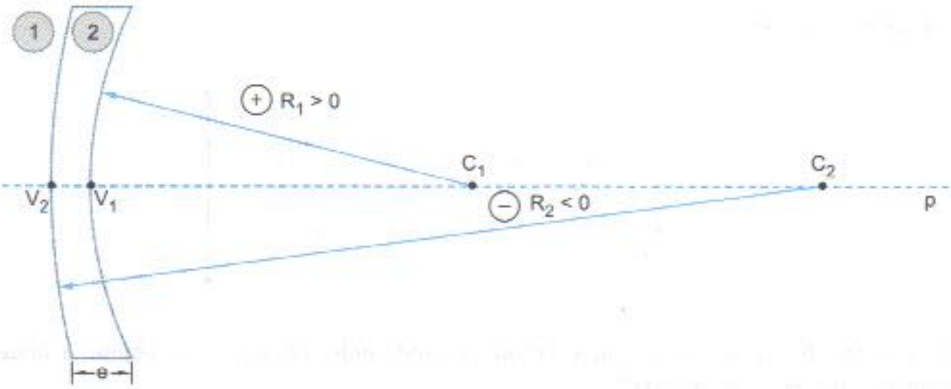




Elementos das Lentes Esféricas

É um meio transparente, homogêneo e isótropo, limitado por dois dioptros esféricos ou um plano e um esférico.





Nota: quando a espessura for desprezível, a lente se diz *delgada*; os vértices das lentes delgadas são coincidentes e definem o que denominamos *centro óptico* da lente.

V_1 , V_2 : vértices. Nas lentes delgadas $\overline{V_1V_2} << R$.

p: eixo principal; eixo de simetria.

R_1 , R_2 : raios de curvatura.

$R > 0$: superfície côncava.

$R < 0$: superfície convexa.

Condições de Gauss

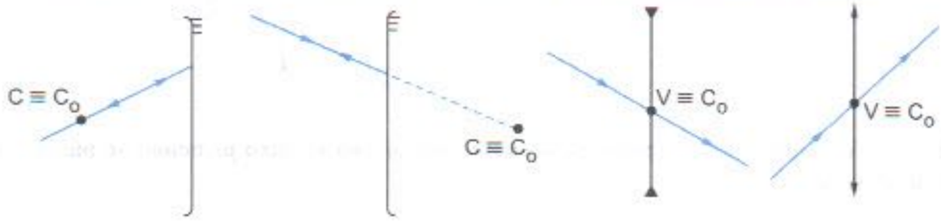
a) Feixe de luz incidente próximo do eixo principal.

b) Feixe de luz incidente de pequena abertura.

c) Nas lentes V_1 e V_2 próximos entre si $\overline{V_1V_2} << R$ (lente delgada).

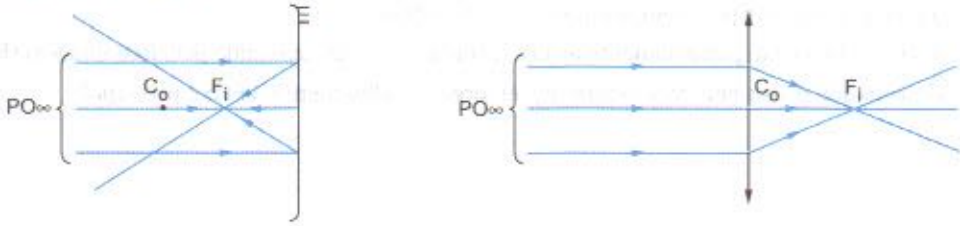
1. Propriedades dos Sistemas Ópticos Esféricos

a) *Centro óptico:* luz incidente passando pelo centro óptico não sofre desvio lateral.

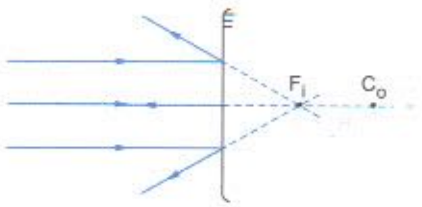


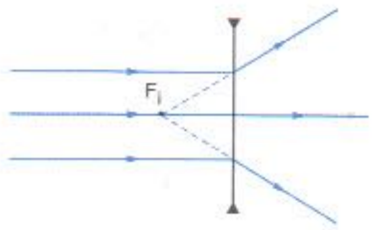
b) *Foco imagem (F_i):* ponto do sistema que corresponde à imagem de um objeto no infinito (PO_∞).

Sistemas convergentes



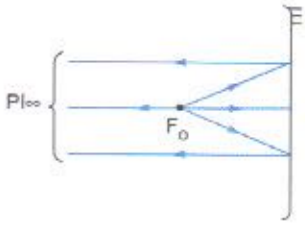
Sistemas divergentes

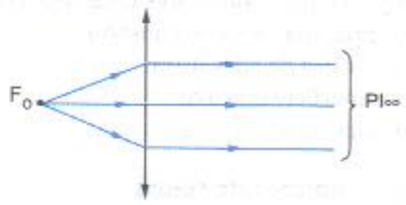




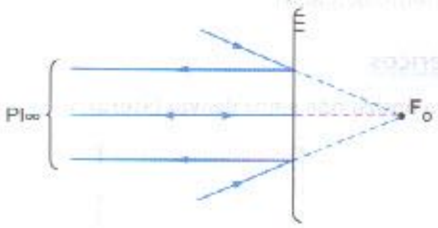
c) *Foco objeto (F_o):* ponto do sistema em que, quando nele colocamos um objeto, a imagem conjugada situa-se no infinito (PI_∞).

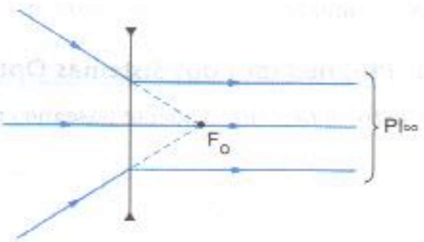
Sistemas convergentes





Sistemas divergentes





d) *Eixo óptico:* toda reta que passa pelo centro óptico. Será o eixo principal se passar também pelo vértice.

2. Determinação Gráfica de Imagens

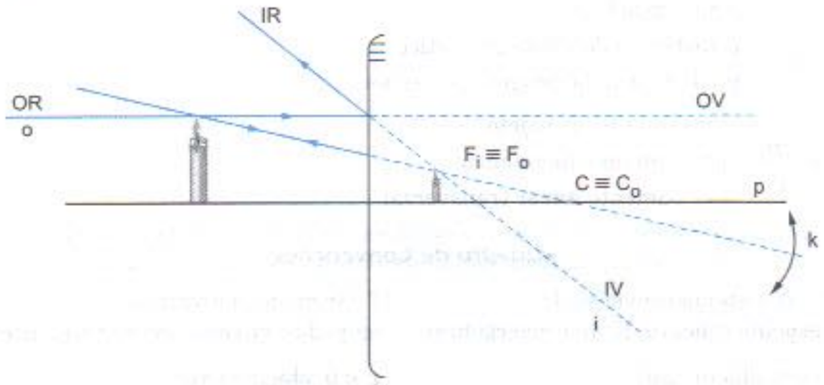
Usar as propriedades dos raios de luz.

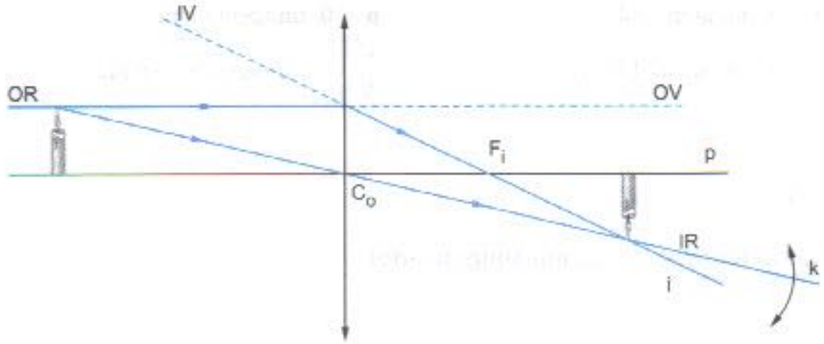
a) Todo raio que passa pelo centro óptico (C_0) não sofre desvio.

b) Todo raio que incide paralelamente ao eixo principal emerge passando pelo foco imagem (F_i).

c) Todo raio que passa pelo foco objeto (F_0) emerge paralelamente ao eixo principal.

Exemplos:





o: reta paralela ao eixo principal, onde se situa o objeto.
OR: semi-reta dos objetos reais.
OV: semi-reta dos objetos virtuais.
i: reta das imagens. Passa pelo foco imagem.
IR: semi-reta das imagens reais.
IV: semi-reta das imagens virtuais.
k: reta que passa pelo C_0 . É um eixo móvel.

3. Determinação Analítica de Imagens

a) Distância focal (f):

Espelhos: $\mathbf{f} = \dfrac{\mathbf{R}}{\mathbf{2}}$

Lentes: $\dfrac{1}{f} = \left(1 - \dfrac{n_2}{n_1}\right)\left(\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}\right)$

b) Vergência (C):

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

Na associação de lentes justapostas, a lente equivalente tem vergência igual à soma das vergências de cada lente.

c) Equação de conjugação e equação do aumento linear transversal (nas condições de Gauss).

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

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

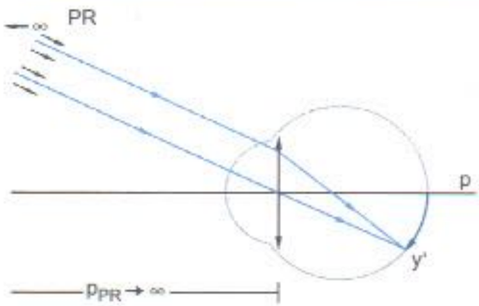
$$A = \frac{y'}{y} = \frac{-p'}{p}$$

y: tamanho do objeto
y' : tamanho da imagem
A: aumento linear transversal

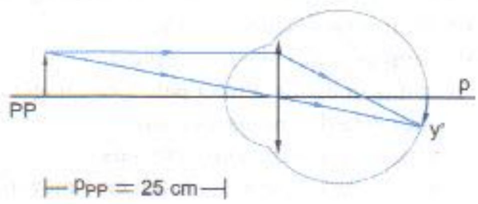
Quadro de Convenções	
$f > 0$: sistema convergente (espelho côncavo, lente convergente)	$f < 0$: sistema divergente (espelho convexo, lente divergente)
$p > 0$: objeto real	$p < 0$: objeto virtual
$p' > 0$: imagem real	$p' < 0$: imagem virtual
$\frac{y'}{y} > 0$: imagem direita	$\frac{y'}{y} < 0$: imagem invertida

ÓPTICA DA VISÃO

O Olho Normal (Esquema Simplificado)



PR: ponto remoto (no infinito).
O cristalino fornece imagem nítida sobre a retina, praticamente sem esforço de acomodação.



PP: ponto próximo (a 25 cm do globo ocular).
O cristalino fornece imagem sobre a retina com seu esforço máximo de acomodação.

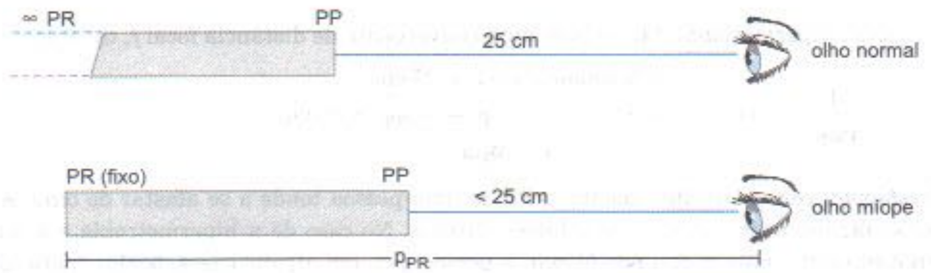
Amplitude de Acomodação (a)

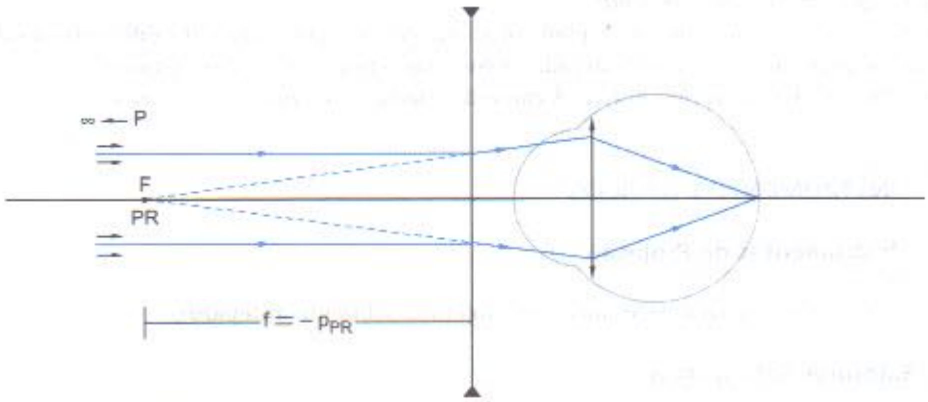
$$a = \frac{1}{p_{PP}} - \frac{1}{p_{PR}}$$

No caso do olho normal **a = 4 di** pois $\mathbf{p_{pp} = 0{,}25}$ **m** e $\mathbf{p_{PR} \to \infty}$.

Defeitos da Visão e suas Correções

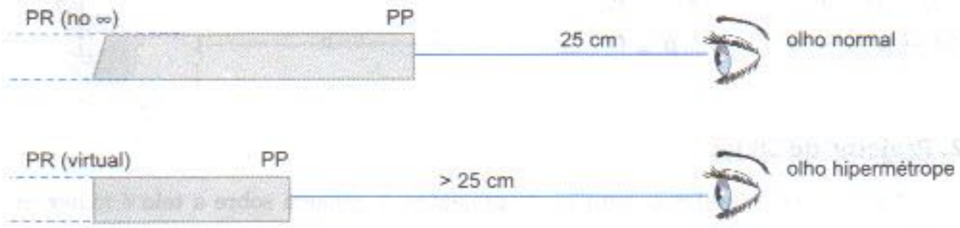
a) *Miopia*
- o PR encontra-se a uma distância finita.
- o PP encontra-se a menos de 25 cm do globo ocular.

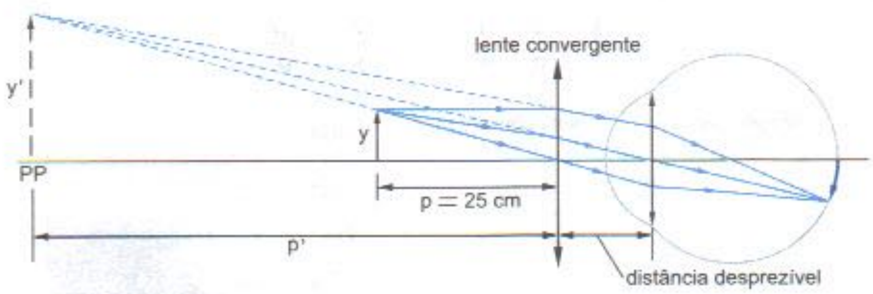




Correção da miopia: lente divergente de distância focal $\mathbf{f} = -\mathbf{p_{PR}}$.

b) *Hipermetropia* { o PR é virtual.
o PP encontra-se a mais de 25 cm do globo ocular.





Correção da hipermetropia: faz-se com lente convergente de distância focal *f*, tal que:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} - \frac{1}{p_{PP}}$$

Notas:
a) Normalmente p = 25 cm.
b) Se $p \to \infty \Rightarrow p' \to -p_{PR}$ (virtual)
$$\mathbf{f = p_{PR}}$$

c) *Presbiopia:* com o envelhecimento, o PP de uma pessoa tende a se afastar do olho. A correção se faz do mesmo modo que a hipermetropia. No caso de a hipermetropia e a miopia ocorrerem juntamente com a *presbiopia*, a pessoa usa, em alguns casos, óculos "para longe" e óculos "para perto" ou lentes *bifocais*.
d) *Astigmatismo:* defeito devido à planicidade da córnea, que apresenta diferentes raios de curvatura para cada secção considerada. A correção é feita com lentes cilíndricas.
e) *Estrabismo:* desvio no eixo óptico. A correção é feita com lentes prismáticas.

INSTRUMENTOS ÓPTICOS

Instrumentos de Projeção

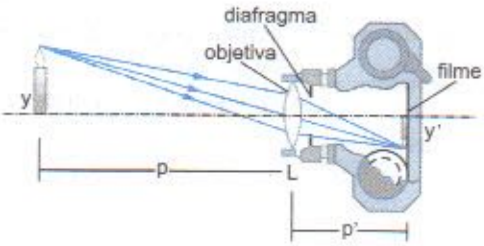
Fornecem imagem real (pode ser projetada sobre um anteparo).

1. Máquina Fotográfica

A imagem, na máquina fotográfica, é real e invertida.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \qquad \frac{y'}{y} = \frac{-p'}{p}$$

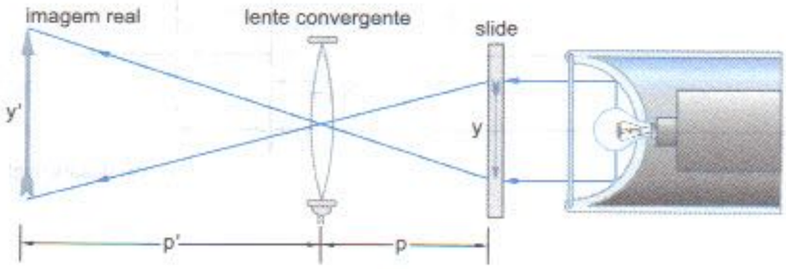
Nota: se $p \to \infty \Rightarrow p' \to f \quad \mathbf{p' \cong f}$



2. Projetor de Slides

No esquema (lanterna simples de projeção), a imagem sobre a tela é maior, real e invertida em relação ao objeto.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \qquad \frac{y'}{y} = \frac{-p'}{p}$$



3. Projetor de Filmes

É construído como a lanterna de projeção anterior, mas o filme é deslocado automaticamente, produzindo uma sucessão de imagens.

Instrumentos de Observação

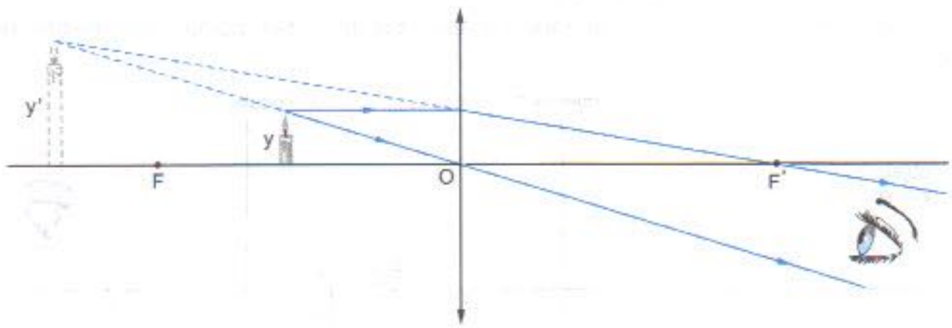
Fornecem imagem final virtual.

1. Lupa ou Lente de Aumento

Lente convergente; fornece imagem maior, direita e virtual.

$$\frac{y'}{y} = \frac{-p'}{p} \qquad \frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

Esquematicamente, teríamos:



Aumento normal (imagem no infinito): $\mathbf{M} = \frac{25}{f}$.

Aumento máximo (imagem no ponto próximo): $\mathbf{M} = 1 + \frac{25}{f}$.

2. Microscópio Simples

Quando a lupa e o objeto são fixos em suportes estáveis, o aparelho é denominado microscópio simples.

3. Microscópio Composto

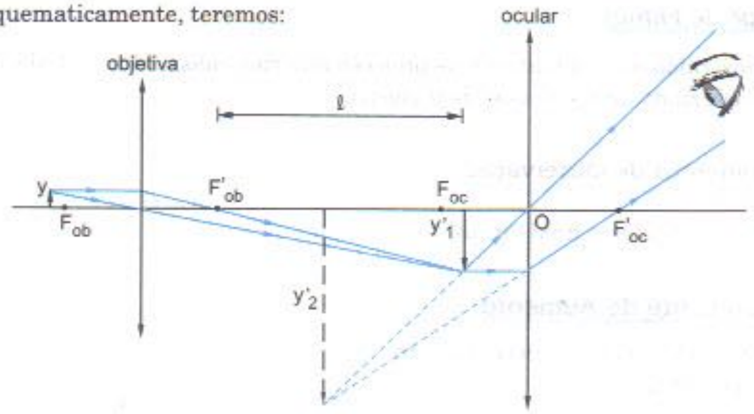
Utilizado na observação de objetos de pequenas dimensões.

Aumento linear transversal (A) do microscópio:

$$A = y_2'/y \qquad A = A_{ob} \cdot A_{oc} \qquad \left| \begin{array}{l} A_{ob} = \dfrac{y_1'}{y} \\ A_{oc} = \dfrac{y_2'}{y_1'} \end{array} \right.$$


microscópio

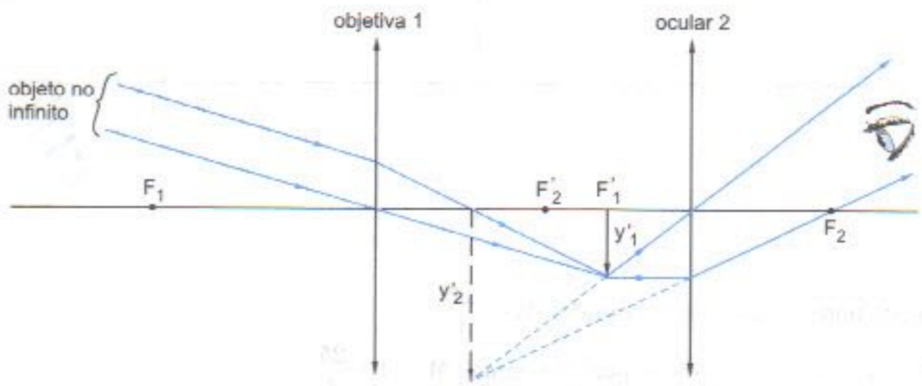
Esquematicamente, teremos:



Aumento normal: $\mathbf{m} = \frac{\ell}{\mathbf{f_{ob}}} \cdot \frac{\mathbf{25}}{\mathbf{f_{oc}}}$.

4. Luneta Astronômica (Kepler)

Permite aumentar o ângulo visual dos objetos distantes. Esquematicamente, teremos:



$$\mathbf{M} = \frac{-\mathbf{f_{ob}}}{\mathbf{f_{oc}}}$$

5. Luneta Terrestre

É uma luneta astronômica associada a um veículo (lentes, prismas) cuja finalidade é tornar direita a imagem final.

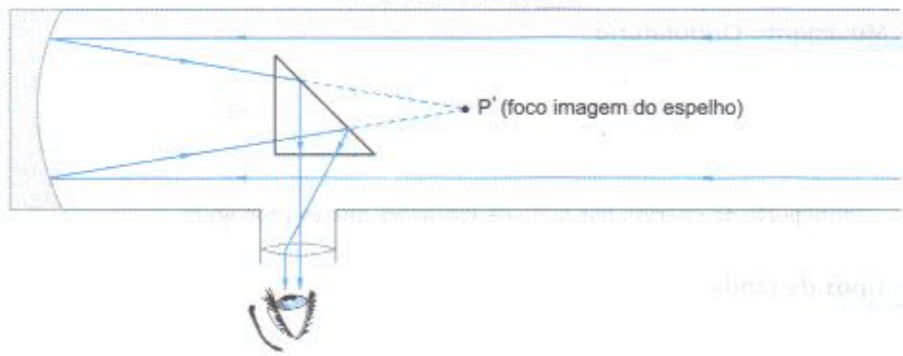
6. Luneta de Galileu

É uma luneta terrestre em que a inversão da imagem é feita sem o auxílio de veículo. A objetiva é uma lente convergente e a ocular, divergente.

7. Telescópio de Reflexão

É uma luneta astronômica cuja objetiva (lente) foi substituída por um espelho esférico.

Telescópio de Foucault



ONDULATÓRIA

ONDAS

Movimento Ondulatório

Transporte de energia por meio de vibrações que se propagam.

Tipos de Onda

1. Ondas Transversais e Ondas Longitudinais

Ondas Transversais

Vibrações perpendiculares à direção de propagação. Exs.: luz, ondas em cordas.

Ondas Longitudinais

Vibrações na direção de propagação. Ex.: som.

2. Ondas Mecânicas e Ondas Eletromagnéticas

Ondas Mecânicas

Vibrações propagando-se em meios materiais. Exs.: som, onda em corda, onda na água.

Ondas Eletromagnéticas

Propagação de campos elétricos e magnéticos variáveis; são ondas transversais e caminham em sólidos, líquidos, gases e no vácuo. Exs.: luz, ondas de rádio, raios-X, raios γ, infravermelho, ultravioleta.

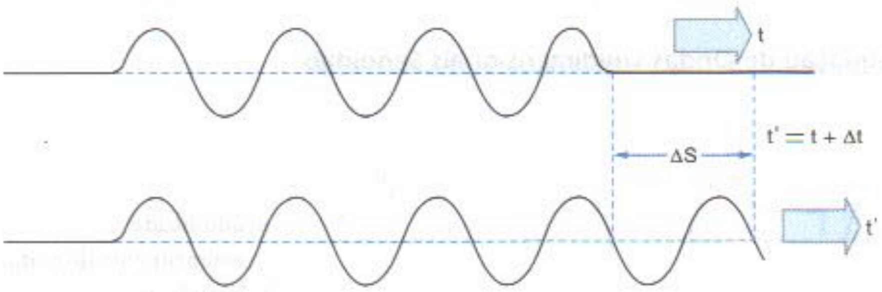
3. Ondas Uni, Bi e Tridimensionais

1D: ondas em cordas.
2D: ondas em superfícies (ex.: ondas na superfície da água).
3D: ondas no espaço (exs.: som, luz).

Definições

1. Velocidade de Onda

$$\mathbf{v} = \frac{\Delta \mathbf{S}}{\Delta \mathbf{t}}$$ *v* depende do *meio* de propagação



2. Freqüência de Onda

$$\mathbf{f} = \frac{\Delta \mathbf{n}}{\Delta \mathbf{t}}$$

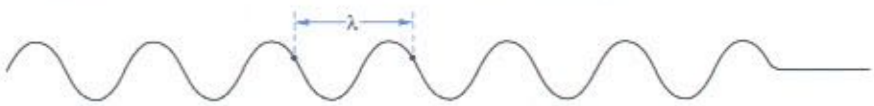
Δn: nº de vibrações produzidas pela onda em Δt.
f: depende da *fonte* de ondas.

(Período de onda, T, é o tempo para a realização de uma vibração: $T = \frac{1}{f}$.)

3. Comprimento de Onda

λ = menor distância entre dois pontos que vibram em fase num meio atravessado por uma onda.

λ depende de *f* e de *v* (logo, depende da *fonte* e do *meio*).



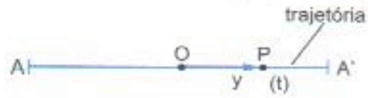
4. Relação Fundamental

$\Delta t = T \Rightarrow \Delta s = \lambda$

Logo: $\mathbf{v} = \lambda \mathbf{f}$ ou $\mathbf{v} = \lambda / \mathbf{T}$.

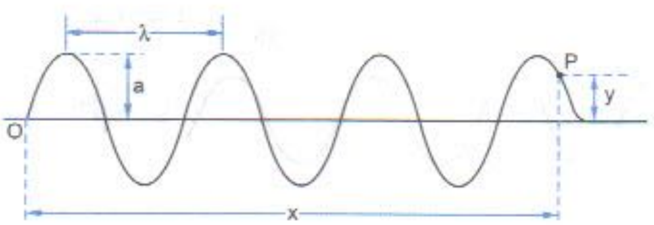
5. Elongação, Amplitude

Seja P um ponto vibrando com a passagem de uma onda numa trajetória limitada AA':



- Em cada instante t, o ponto P apresenta um certo afastamento, y, em relação ao ponto central, O;
- y: elongação de P no instante t;
- A máxima elongação é denominada amplitude, a;
- a = máx. (y).

6. Equação de Ondas Unidimensionais Senoidais



a: amplitude
λ: comprimento de onda
f: freqüência

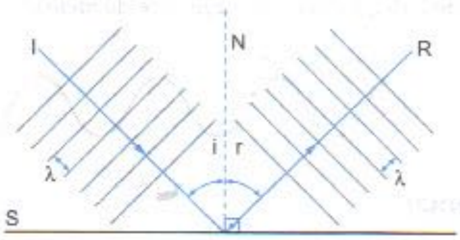
Para cada ponto P do meio de propagação: $\mathbf{y = a\ sen(kx - \omega t)}$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \omega = 2\pi f$$

Propagação Ondulatória

1. Reflexão

Leis: 1ª) I, N, R são coplanares.
2ª) i ≡ r



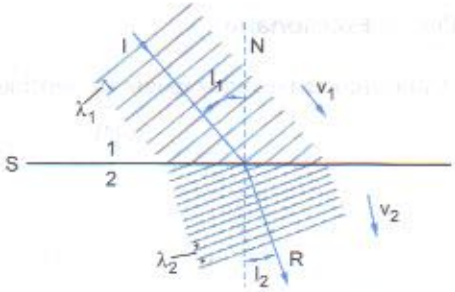
Nota: a reflexão pode provocar a inversão de fase (ou mudança de fase de 180º) na onda, quando esta é onda em corda que reflete numa extremidade fixa da corda; ou se é onda qualquer e o meio de propagação, em cuja superfície a onda reflete, permite velocidade de propagação menor que a do meio da incidência.

2. Refração

Leis: 1ª) I, N, R são coplanares.

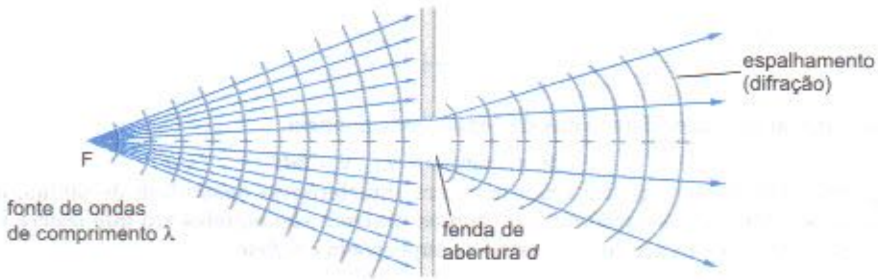
2ª) $\dfrac{\operatorname{sen} i_1}{\operatorname{sen} i_2} = \dfrac{v_1}{v_2}$

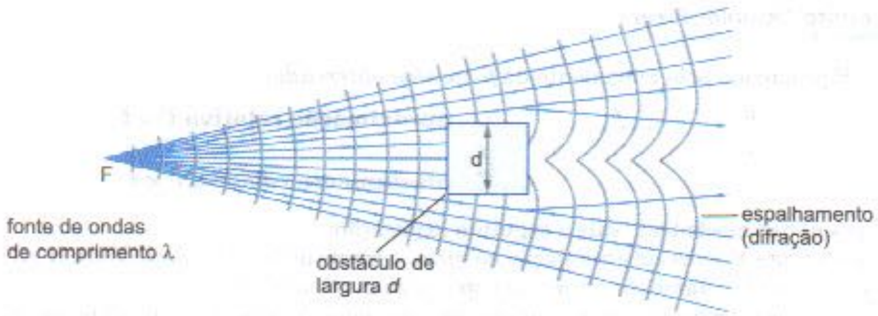
Nota: $\dfrac{v_1}{v_2} = \dfrac{\lambda_1}{\lambda_2} = n_{2,1} = \dfrac{n_2}{n_1}$



$n_{2,1}$: índice de refração do meio 2 em relação ao meio 1.

3. Difração (em Fendas e Obstáculos)





Nota: a difração é tanto mais acentuada quanto maior a relação λ/d.

Interferência

Caso Geral (Ondas de mesma f)

Sejam F_1 e F_2 fontes de onda *em fase*.

$F_1P = S_1$ e $F_2P = S_2$.

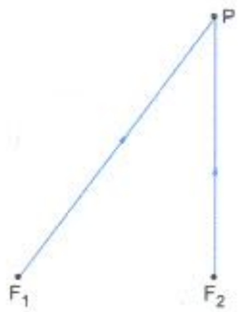
$S_1 - S_2 = \Delta S$ (diferença de caminhos) $\leq F_1F_2$

a) Interferência *construtiva* (P: ventral):

$$\mathbf{\Delta S = n\frac{\lambda}{2}} \quad n = 0, 2, 4, 6, ...$$

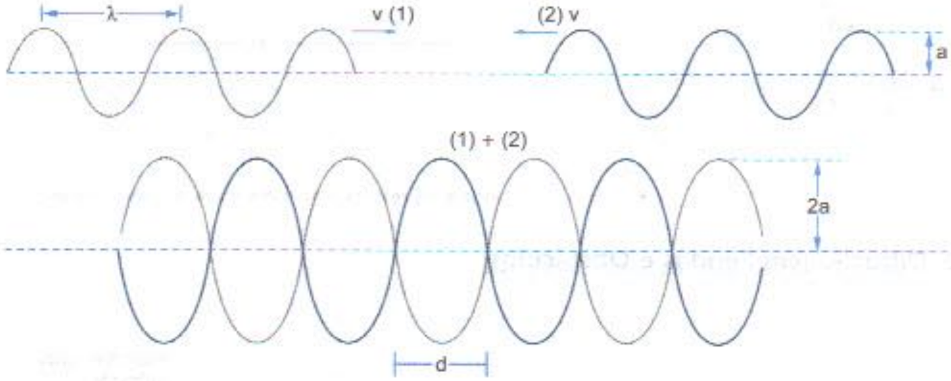
b) Interferência *destrutiva* (P: nodal):

$$\mathbf{\Delta S = k\frac{\lambda}{2}} \quad k = 1, 3, 5, 7, ...$$



"Onda" Estacionária

Interferência de ondas iguais em sentidos opostos.



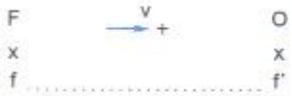
d = menor distância entre dois nodos da "onda" estacionária.

$$\lambda = 2d \text{ e, como } v = \lambda f, \ \mathbf{v = 2df}$$

Nota: *pontos nodais* são aqueles em que ocorre interferência destrutiva de ondas, quando estas se superpõem em *oposição de fase; pontos ventrais* são aqueles em que ocorre interferência construtiva de ondas, quando estas se superpõem *em fase*.

Efeito Doppler-Fizeau

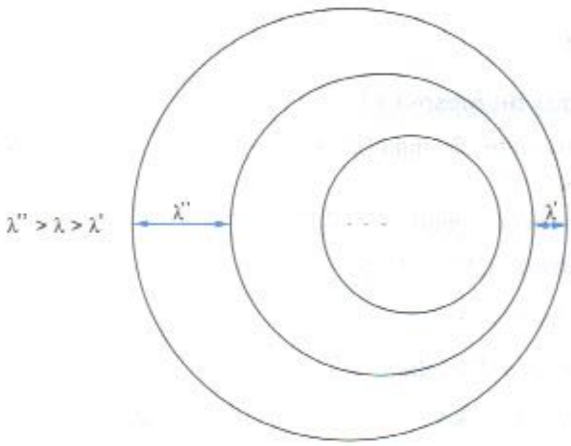
É produzido pelo movimento da *fonte* e/ou *observador*.



aproximação relativa f' > f

afastamento relativo f' < f

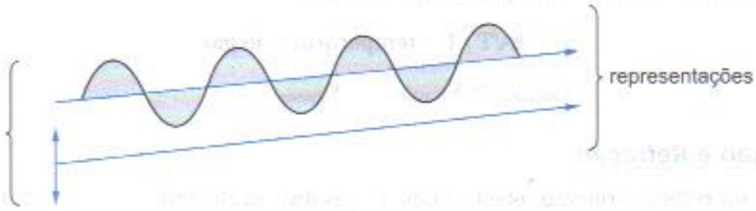
Nota: para ondas mecânicas, vale a seguinte explicação:
I. Quando a fonte F move-se em relação ao meio, o comprimento de onda *diminui* no sentido do movimento de F e *aumenta* no sentido oposto ao movimento de F.
II. Quando o observador O move-se em relação ao meio, a velocidade da onda em relação a O *aumenta* na aproximação e *diminui* no afastamento.



Polarização

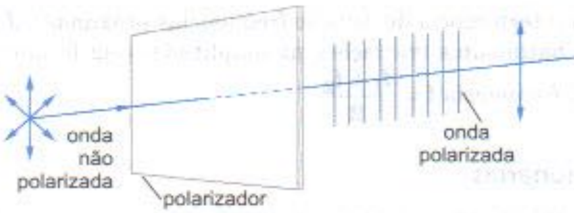
Só para ondas transversais.

a) *Onda polarizada*



b) *Onda não polarizada*

c) *Polarização por filtro*



ACÚSTICA

Som

Ondas mecânicas longitudinais que podem sensibilizar a audição humana. Têm freqüência entre 20 Hz e 20 000 Hz.

Infra-Som

Ondas mecânicas longitudinais de freqüência inferior a 20 Hz.

Ultra-Som

Ondas mecânicas longitudinais de freqüência superior a 20 000 Hz.

Propagação das Ondas Sonoras

1. Velocidade no Ar

v = 340 m/s (aumenta com a temperatura e umidade)

$$v = k\sqrt{T},\ T = \text{temperatura do gás}$$

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

2. Reflexão e Refração

O som reflete e refrata, obedecendo às leis da ondulatória.

A reflexão do som pode produzir como efeitos: o *eco* e a *reverberação*.

Eco: quando, entre a chegada do som direto e a do som refletido, existe um intervalo *superior* a 0,1 s.

Reverberação: quando esse intervalo de tempo é *inferior* a 0,1 s.

3. Difração

A difração dos sons em fendas e obstáculos é um fenômeno facilmente observável, devido ao grande comprimento de onda do som ($\lambda \approx 1$ m). Sons graves difratam mais do que sons agudos ($\lambda_{\text{graves}} > \lambda_{\text{agudos}}$).

Interferência

1. Batimentos (Audíveis)

Resultam da interferência de sons de freqüências próximas (**$\Delta f < 8$ Hz**); a onda interferente apresenta batimentos (variações na amplitude) com freqüência $\mathbf{f_b = f_1 - f_2}$; a onda interferente tem freqüência $\mathbf{f = \dfrac{f_1 + f_2}{2}}$.

2. "Ondas" Estacionárias

Resultam da interferência de sons iguais em sentidos opostos; produzidas no tubo de Kundt; servem para medir *v*.

Tubo de Kundt

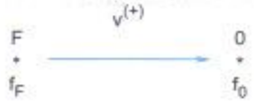
F: fonte sonora de freqüência *f*
A: êmbolo em posição nodal
d: distância entre nodos sucessivos

$$\left|\begin{aligned} v &= \lambda f \\ \lambda &= 2d \end{aligned}\right. \Rightarrow \mathbf{v = 2df}$$

Nota: *v* é a velocidade do som no tubo, e *não* da "onda" estacionária (que *não* tem velocidade).

Efeito Doppler

Ocorre como nas ondas em geral.



$$\frac{f_O}{f_F} = \frac{v - v_O}{v - v_F}$$

(fórmula válida para qualquer onda mecânica)

v_O : velocidade do observador
v_F : velocidade da fonte sonora (F)
v: velocidade da onda

Ressonância

Consideremos um corpo atingido pelo som. Quando a freqüência do som coincide com uma das freqüências naturais do corpo, ocorre *ressonância* entre o corpo e as ondas sonoras. Nesse caso, o corpo passa a vibrar, acumulando em suas vibrações a energia do som que o atinge.

Polarização

Não ocorre com ondas longitudinais, como é o caso das ondas sonoras.

Fontes Sonoras

1. Cordas Vibrantes

$$f = \frac{v}{2\ell} \cdot n \quad n \in N$$

$$v = \sqrt{\frac{T}{s \cdot d}} \quad \text{ou} \quad v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Uma corda vibrante emite sons cujas freqüências dependem:
a) do comprimento da corda (ℓ).
b) da tensão aplicada à corda (T).
c) da densidade (d) e secção transversal da corda (s); ou, equivalentemente, da densidade linear da corda (μ).

2. Tubos Sonoros

tubos abertos

$$f = \frac{v}{2\ell} \cdot n \quad n \in N$$

tubos fechados

$$f = \frac{v}{4\ell} \cdot k \quad \text{k: número ímpar}$$

Um tubo sonoro emite sons cujas freqüências dependem:

a) da velocidade do som no interior do tubo (v).

b) do comprimento do tubo (ℓ).

c) do fato de o tubo ser aberto ou fechado. Não dependem da secção transversal nem do material do tubo.

Qualidades Musicais do Som

Qualidades Musicais	Características Físicas Correspondentes
a) *Altura* (sons altos ou agudos; sons baixos ou graves)	Freqüência
b) *Nível sonoro* (sons fortes; sons fracos)	Intensidade
c) *Timbre*	Composição de harmônicos

Nível de Intensidade Sonora (β)

Definimos $\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$

em que:

β tem por unidade o decibel (dB).

I_0 = intensidade de referência arbitrária = 10^{-12} W/m^2 – corresponde grosseiramente ao limiar de audição.

1 decibel = $\frac{1}{10}$ bel

ÓPTICA FÍSICA

Teorias da Luz

1. Teoria Corpuscular de Newton

- Luz como corpúsculos elásticos em movimento retilíneo, de tamanho variável com a cor;
- Não explica a interferência e difração; prevê, erradamente, velocidade da luz na água maior do que no ar.

2. Teoria Ondulatória (Huyghens, Fresnel, Maxwell)

- Luz como movimento ondulatório com freqüência diferente para diferentes cores;
- Não explica a emissão descontínua da luz, o efeito fotoelétrico e outros fenômenos quânticos da luz.

3. Teoria Quântica (Einstein)

- Luz como propagação de corpúsculos de energia (fótons) numa distribuição espacial governada por leis estatísticas de estrutura análoga às leis da ondulatória.

Propagação Ondulatória da Luz

1. Velocidade

$$v_{\text{sólidos}} < v_{\text{líquidos}} < v_{\text{gases}} < c$$

$$\mathbf{c = 3 \cdot 10^8\ m/s} \qquad v \text{ depende de } f \text{ (exceto no vácuo)}$$

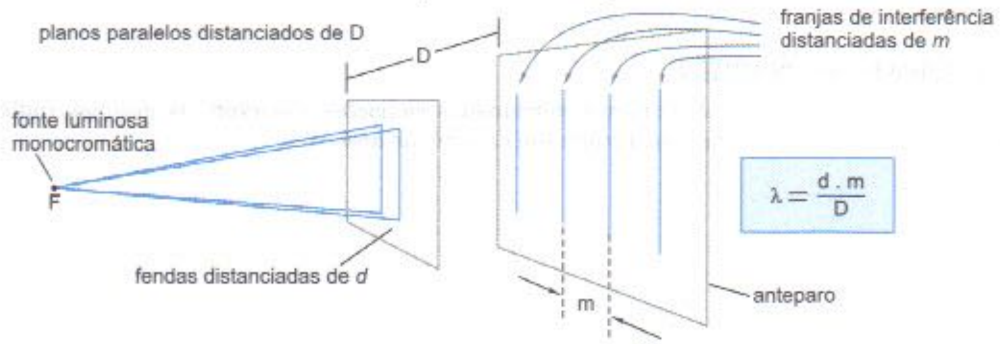
2. Reflexão e Refração

A luz obedece às leis ondulatórias da reflexão e refração.

3. Interferência da Luz

- Estudada por T. Young através do aparelho com o qual media o comprimento de onda da luz;
- Responsável pelos efeitos coloridos (irisação) em bolhas de sabão e outras películas delgadas (como o óleo sobre a água), quando iluminadas com luz branca.

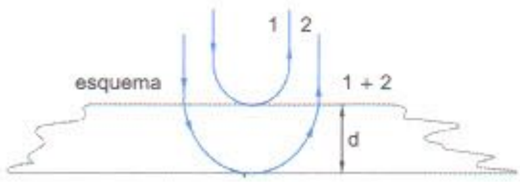
Experiência de Young



4. Películas

$\Delta S \cong 2d$ *(incidência normal)*

Caso A: nenhuma inversão ou duas inversões nas reflexões da luz na película.



Caso B: apenas uma inversão nas reflexões da luz na película.

$$2d = n\lambda \Rightarrow d = n\frac{\lambda}{2} \Rightarrow \begin{cases} \text{caso A: interferência construtiva} \\ \text{caso B: interferência destrutiva} \end{cases}$$

(k é ímpar)
(n é natural)

$$2d = \frac{k\lambda}{2} \Rightarrow d = \frac{k\lambda}{4} \Rightarrow \begin{cases} \text{caso A: interferência destrutiva} \\ \text{caso B: interferência construtiva} \end{cases}$$

λ: comprimento de onda da luz na película

Efeito Doppler

- Como nas ondas em geral;
- Teoria da expansão do universo apóia-se no Efeito Doppler e no deslocamento para o vermelho da luz estelar *(redshift)*.

$$\frac{f_O}{f_F} = \frac{c - v}{c} \qquad \begin{array}{l} \text{aproximação: } v < 0 \\ \text{afastamento: } v > 0 \end{array}$$

Polarização

A mudança da luz natural, não polarizada, em luz polarizada é possível por:
- filtros polaróides;
- reflexão e refração.

Emissão e Absorção

1. Espectro de Emissão

Cada substância emite determinadas radiações que constituem o seu *espectro de emissão.*

2. Espectro de Absorção

As substâncias que emitem determinadas radiações absorvem as mesmas radiações; as radiações absorvidas constituem seu *espectro de absorção.*