Ensino Médio

Física

Sumário

Cinemática 2
Grandezas escalares e vetoriais 4
Movimento Uniforme (MU) 5
Movimento de queda livre (MQL) 10
Movimento circular uniforme (MCU) 13
Noção de força 16
Princípio da Inércia ou 1.ª Lei de Newton 18
Princípio Fundamental da Dinâmica ou 2.ª Lei de Newton 18
Princípio da Ação e Reação ou 3.ª Lei de Newton 19
Termologia 21
Escalas termométricas 22
Calorimetria 24
Transmissão de calor;Gases 27
Modelo de gás ideal;Leis das transformações gasosas; Lei de Boyle 28
Fundamentos da óptica geométrica 29
Leis da Reflexão e da Refração;Câmara escura 32
Sistemas ópticos;Espelhos Planos 34
Espelhos Esféricos 36
Lentes esféricas;Lentes convergentes 42
Lentes divergentes 43
Construção gráfica de imagens 44
Instrumentos ópticos;O olho humano 46
Ondulatória;Ondas 48
Acústica 55
Efeito Doppler 58
Eletrostática 60
Processos de eletrização;Lei de Coulomb 62
Potencial elétrico 64
Eletrodinâmica 66
Capacitores 69
Corrente elétrica;Tipos de corrente elétrica 72
Resistores 74
Leis de Ohm 75
Utilização de medidores elétricos 79
Gerador 80
Receptores;Capacitores 82
Eletromagnetismo 85
Física moderna;Radiação térmica; Raio X 96
Espectroscopia;Mecânica quântica 97
Efeito fotoelétrico;Relatividade 98
Cosmologia;Radioatividade 99
Fissão nuclear;Fusão nuclear 100
Fontes de energia 102
Bibliografia 104

Material organizado pelo grupo de professores do NEEJA Vicente Scherer.

Cinemática

O que devemos entender a respeito da cinemática é sua capacidade de descrever os movimentos dos corpos. Tal capacidade fornecerá a posição de um corpo, que consiste em definir o local onde ele se encontra em determinados instantes estabelecidos. Para definir essa posição, é condição primeira estabelecer a existência de uma medida de comprimento; ao mesmo tempo, é necessário para determinar os instantes, uma medida de tempo. Portanto, as duas grandezas fundamentais da cinemática são o *comprimento* e o *tempo.*

LEMBRE-SE

CONVERSÃO DE ESCALAS

Para converter quilômetros por hora (km/h) em metros por segundo (m/s), basta transformar cada uma das unidades:

- 1 km = 1 000 m
- 1 hora tem 60 minutos, cada um deles com 60 segundos. Então, 1 h = 60 s . 60 s = 3 600 s

Assim, $1\ km/h = \frac{1000\ m}{3600\ s} = \frac{1}{3,6} = 0,28\ m/s$

Para transformar m/s em km/h, é só fazer o raciocínio inverso:

$$\text{km/h} \xrightarrow{\text{dividir por 3,6}} \text{m/s} \qquad \text{m/s} \xrightarrow{\text{multiplicar por 3,6}} \text{km/h}$$

Unidades de medidas

Com a adoção do Sistema Internacional de Unidades (SI) ficaram estabelecidos padrões para todas as grandezas físicas, tornando homogêneo seu emprego.

Para as unidades básicas da cinemática, utilizamos as seguintes unidades SI:
Unidade de comprimento: metro (m)
Unidade de tempo: segundo (s)

Ponto material

Entendemos por ponto material todo e qualquer corpo cujas dimensões são irrelevantes para o estudo de seu movimento. Assim, quando observamos um avião manobrando em um aeroporto percebemos que suas dimensões não podem ser desprezíveis, sendo, portando, um ponto extenso, visto que suas dimensões interferem no estudo de um determinado fenômeno.

Já durante uma viagem intercontinental, o mesmo avião tem suas dimensões consideradas irrelevantes, podendo, assim, ser considerado um ponto material, já que suas dimensões não interferem no estudo de um determinado fenômeno.

Para que possamos definir a posição de um ponto material, é necessário que determinemos a posição desse ponto material em relação a uma referência estabelecida. O que adotamos como referência, passamos a definir como referencial, cujas medidas de comprimento são feitas a partir de um sistema de coordenadas cartesianas fixadas no referencial.

Portanto, a posição de um ponto material é definida por meio de suas coordenadas medidas em relação a um determinado referencial.

Assim, devemos considerar outros conceitos básicos referentes à cinemática: referencial, repouso, movimento, trajetória, posição escalar, deslocamento e caminho percorrido.

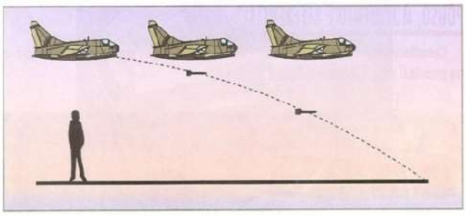
Repouso, Movimento e Referencial

Imagine que você está viajando em um ônibus. Será que você está em repouso ou em movimento? Se essa mesma pergunta fosse feita para uma pessoa que está aguardando o ônibus em uma determinada parada, ela poderia dizer que você está em movimento. Ao mesmo tempo, se essa mesma pergunta fosse feita para outra pessoa, passageiro do ônibus, diria que você está em repouso. Ou seja, a noção de movimento ou repouso de um determinado objeto móvel não depende apenas do objeto, mas do corpo que adotamos como referência do movimento, isto é, o referencial.

Podemos dizer, então, que um móvel qualquer está parado ou em repouso quando sua posição não varia em relação a determinado referencial. Por outro lado, o objeto móvel está em movimento quando sua posição varia em relação a determinado referencial. Um determinado móvel pode estar em repouso em relação a um determinado referencial e em movimento em relação a outro. Ao considerarmos o termo “em relação”, devemos entender que o movimento é relativo, pois suas medidas dependem dos referenciais adotados.

Trajetória

Quando dizemos que o movimento de um corpo é relativo implica dizer que sua trajetória é relativa, ou seja, o caminho percorrido pelo corpo em determinado tipo de movimento depende do referencial adotado. Assim, trajetória é uma linha determinada pelas diversas posições que um corpo ocupa no decorrer do tempo.

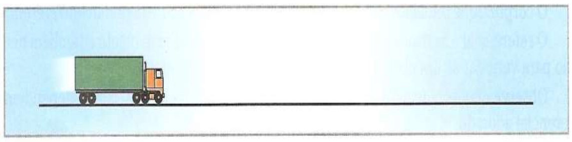


De acordo com a trajetória, os movimentos recebem os seguintes nomes:

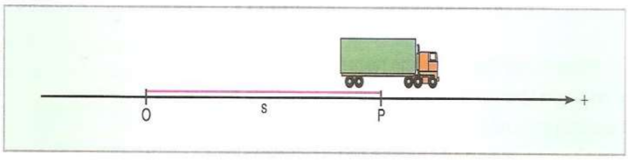
- ✓ *movimento retilíneo:* a trajetória é uma reta.
- ✓ *movimento curvilíneo:* a trajetória é uma curva.

Posição escalar

Ao determinarmos a trajetória de um corpo, estamos determinando sua posição no decorrer do tempo por meio de um único número chamado de abscissa do corpo.
Por exemplo, se considerarmos um corpo movimentando-se sobre a trajetória da figura:



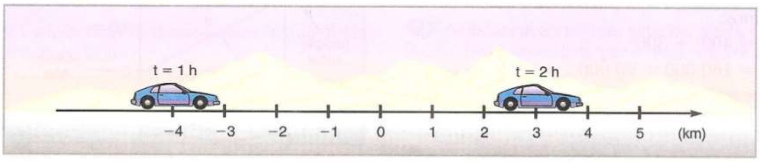
Podemos fazer a localização desse corpo num determinado instante, se adotarmos de forma arbitrária um ponto *O* sobre sua trajetória, ao qual denominamos origem das posições e orientarmos a trajetória a direita a partir do *O*.



Para conhecermos a posição do corpo, sua abscissa, num certo instante será necessário conhecermos a distância do corpo em relação ao ponto *O*.

Para representarmos a posição de um corpo num instante dado usamos a letra *s*.

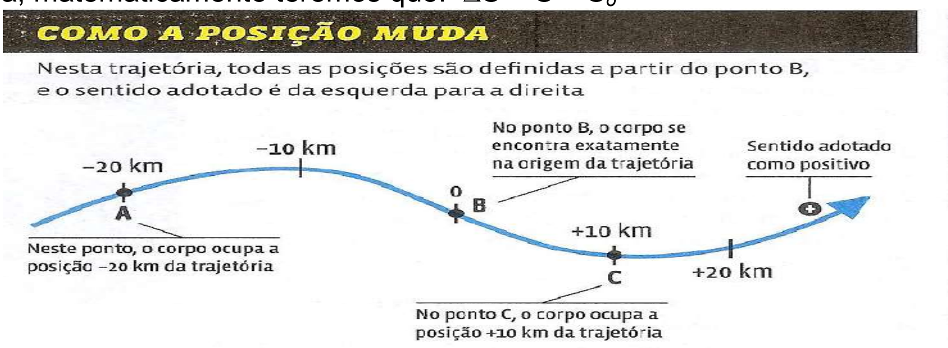
Essa sua posição será positiva se o corpo estiver à direita da origem e negativa se estiver à esquerda da origem.

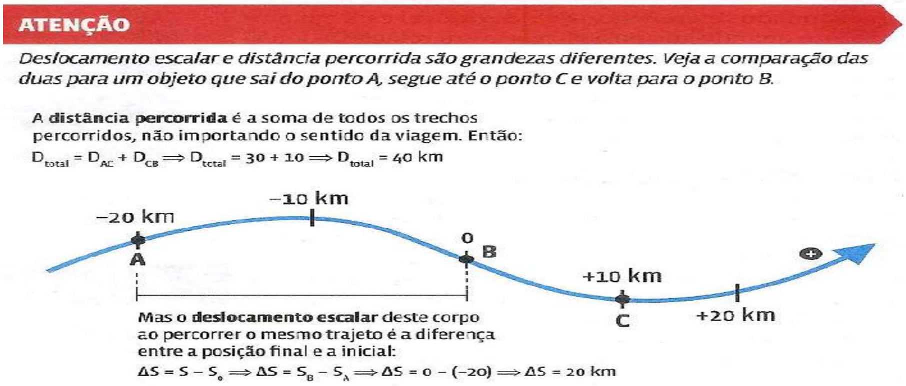


- ✓ a posição do corpo no instante t = 1 h é s = −4 km
- ✓ a posição do corpo no instante t = 2 h é s = 3 km
- ✓ a posição do corpo na origem é s = 0

Deslocamento escalar e Caminho percorrido

Considerando um ônibus que sai do terminal ***A*** e passa pelas paradas ***B***, ***C***, ***D*** e ***E***, onde para, podemos dizer que seu deslocamento assumiu diferentes posições ao longo da trajetória. Para essa variação de posições denominamos deslocamento escalar (ΔS). O deslocamento de um corpo é obtido pela diferença entre a posição final e a posição inicial de um corpo após percorrer uma distância qualquer. Ou seja, matematicamente teremos que: $\Delta S = S - S_o$





Tipos de movimento

Devemos classificar um movimento conforme seu deslocamento ao longo da trajetória. Assim, são considerados **movimentos progressivos** aqueles em que o deslocamento se dá no sentido adotado como positivo na trajetória, sendo o deslocamento escalar de um corpo positivo. Já para os **movimentos retrógados,** o deslocamento deve acontecer no sentido inverso ao adotado como positivo na trajetória, ou seja, o deslocamento escalar de um corpo é negativo.

Velocidade escala média

É a razão entre o deslocamento escalar (ΔS) descrito por um corpo e o intervalo de tempo (Δt) gasto nesse deslocamento. Matematicamente temos: $\mathrm{Vm} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$

No S.I., a unidade de medida para velocidade é metro por segundo (m/s).

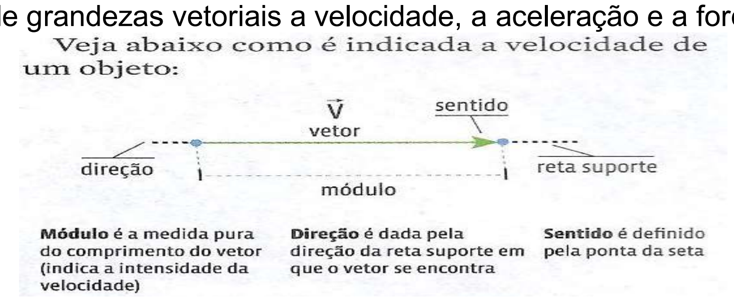
Aceleração escalar média

É a razão entre a medida da variação da velocidade do corpo em certo intervalo de tempo. Matematicamente temos: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

No S.I., a unidade de medida para aceleração é metro por segundo ao quadrado (m/s^2).

Grandezas escalares e vetoriais

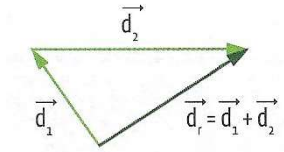
Escalares são aquelas grandezas que necessitam apenas de seu valor absoluto para serem caracterizadas. Apresentamos alguns exemplos dessas grandezas: tempo, volume e massa. As vetoriais são aquelas grandezas que exigem a definição de seu módulo e também da sua direção e do seu sentido. São exemplos de grandezas vetoriais a velocidade, a aceleração e a força.



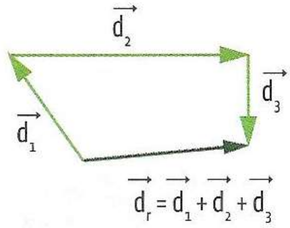
Soma de vetores

Podemos somar as grandezas escalares de forma algébrica. Por exemplo, quando fizemos um bolo, considerando dois dos ingredientes de sua receita: 1 kg de açúcar, 2 kg de farinha, dizemos que resultam em 3 kg de ingredientes. Já para a soma de vetorial é necessário considerar, além do módulo, a direção e o sentido dos vetores.

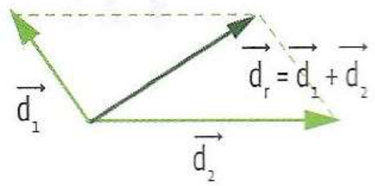
Geometricamente existem duas formas para adicionarmos vetores. A primeira forma é poligonal, onde a origem do segundo vetor coincide com a extremidade do primeiro vetor. O vetor resultante é o vetor que fecha o polígono, com origem no mesmo ponto de origem do primeiro vetor.



A mesma ideia pode ser usada para a soma de mais de dois vetores.



Quando somarmos vetores dois a dois, usamos a forma do paralelogramo, que consiste em construir um paralelogramo, traçando paralelas aos dois vetores originais. O vetor soma será a diagonal do paralelogramo, a qual tem origem no mesmo vértice dos dois vetores originais.



Movimento uniforme (MU)

Entendemos por movimento uniforme aquele em que um determinado corpo percorre distâncias iguais em intervalos de tempos iguais.

Por exemplo, se um carro percorre 80 km em 1 hora, em 2 horas percorrerá 160 km, em 3 horas 240 km e assim por diante.

O que acontece é que a velocidade escalar instantânea *v* é igual a velocidade escalar média v_m em qualquer intervalo de tempo que nos leva a concluir que a velocidade de um corpo é constante e diferente de zero no decorrer do tempo. Então:

Se o movimento é uniforme, temos $v = v_m = cte \neq 0$

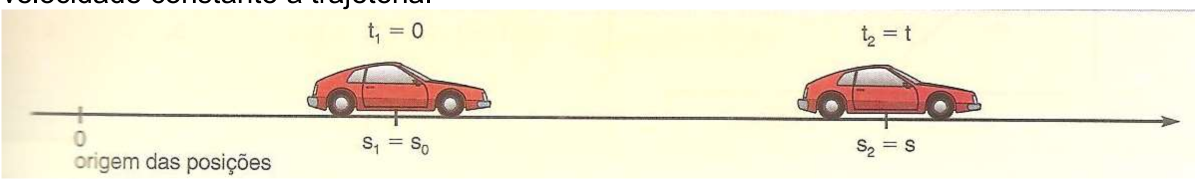
Se no movimento uniforme a trajetória for retilínea, ele é chamado *movimento retilíneo uniforme* (MRU).

Função Horária

Sabemos que um corpo está em movimento uniforme quando sua posição varia no decorrer do tempo em relação a um determinado referencial.

Decorrente disso, a função que relaciona a posição *s* com o tempo *t* é denominada função horária das posições do movimento sendo representada por:s = f(t)

Por meio da figura a seguir, vamos obter essa função considerando que um corpo percorre com velocidade constante a trajetória.



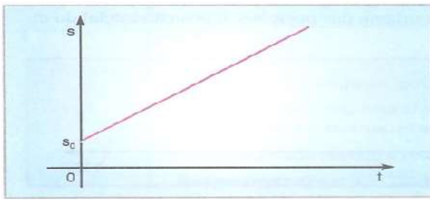
Fazendo a leitura e interpretação das informações contidas na figura:

$s_1 = s_0$ é a posição inicial do corpo;
$t_1 = t_0$ é o instante inicial ($t_0 = 0$) ;
$t_2 = t$ é o instante final;
$s_2 = s$ é a posição do corpo no instante final *t*;
E, usando a fórmula da velocidade média, teremos:

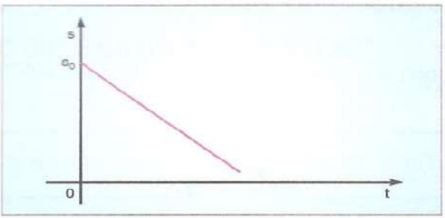
$$v_m = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} \rightarrow v = \frac{s - s_0}{t} \rightarrow s - s_0 = vt \rightarrow \boxed{s = s_0 + vt}$$

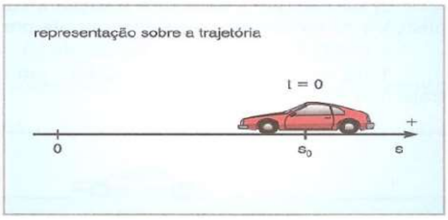
Por meio dessa fórmula matemática, podemos dizer que partindo da posição inicial do corpo, num certo referencial, e conhecendo sua velocidade, é possível determinar a sua futura posição em relação ao mesmo referencial. Por ser uma função do 1.º grau em relação ao tempo, o seu gráfico é representado por uma reta. Assim, em relação a velocidade teremos duas situações:

1.º Caso: velocidade positiva ($v > 0$)



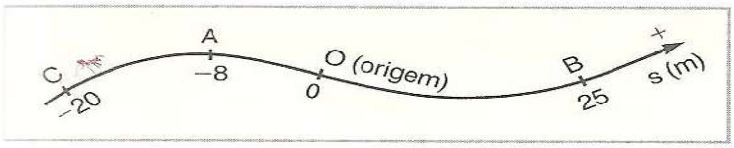
2.º Caso: velocidade negativa ($v < 0$)





Exemplos:

1. Uma formiga desloca-se sobre a trajetória mostrada na figura:



Ela parte do ponto *A*, dirige-se para o ponto *B* e depois para o ponto *C*.

a) Quais as posições inicial e final da formiga?

Posição inicial: $s_o = -8$ m

Posição final: $s = -20$ m

b) Qual o espaço percorrido e qual o deslocamento efetuado pela formiga?

Espaço percorrido: AB + BC = 33 + 45 = 78 m

Deslocamento: $\Delta s = s_C + s_A \rightarrow \Delta s = -20 - (-8) \rightarrow \Delta s = -12$ m

2. Transforme as unidades.

Transformando as unidades, temos:

$$\begin{cases} 1 \text{ km} = 1\,000 \text{ m} \\ 1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 60 \cdot 60 \text{ s} = 3\,600 \text{ s} \end{cases}$$

a) 45 km/h em m/s = $45 \div 3{,}6 = 12{,}5$ m/s

Transformando as unidades, temos:

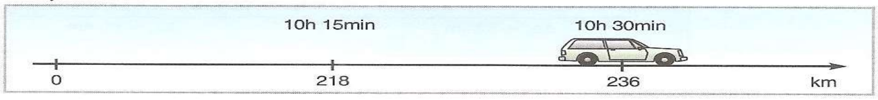
$$\begin{cases} 1 \text{ m} = \dfrac{1}{1\,000} \text{ km} \\ 1 \text{ s} = \dfrac{1}{3\,600} \text{ h} \end{cases}$$

b) 15 m/s em km/h = $15 \times 3{,}6 = 54$ km/h

3. Em uma estrada, um carro passa pelo marco quilométrico 218 às 10h e 15min e pelo marco 236 às 10h e 30min. Qual a velocidade escalar média do carro entre esses marcos?

Resolução:

Fazendo uma figura correspondente ao enunciado, temos:



Assim, obtemos:

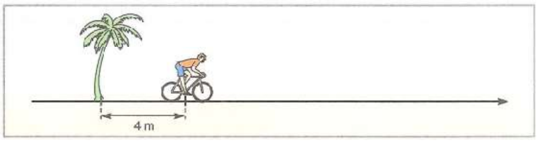
$$\begin{cases} t_1 = 10h\ 15min = 10\ h + \frac{1}{4}\ h = 10\ h + 0{,}25\ h = 10{,}25\ h \\ t_2 = 10h\ 30min = 10\ h + \frac{1}{2}\ h = 10\ h + 0{,}50\ h = 10{,}50\ h \\ s_1 = 218\ km \\ s_2 = 236\ km \end{cases}$$

Usando a fórmula da velocidade escalar média, temos:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \rightarrow v_m = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} \rightarrow v_m = \frac{236 - 218}{10{,}5 - 10{,}25} \rightarrow v_m = 72\ km/h$$

Resposta: 72 km/h

4. Um ciclista corre com velocidade constante de 12 m/s ao longo de uma pista retilínea. Ao passar pela posição mostrada na figura, é acionado um cronômetro que começa a contar o tempo a partir do zero.



a) Considerando a árvore como origem das posições, qual a função horária do movimento?
Adotando como positivo o sentido para a direita, a velocidade do ciclista é positiva v = 12m/s (movimento progressivo). Se a velocidade do ciclista é constante e a trajetória retilínea, o movimento do ciclista é retilíneo e uniforme (MRU). Portanto, a função horária das posições é:

$s = s_0 + v.t \rightarrow s = 4 + 12.t$

b) Em que posição estará o ciclista quando o cronometro marcar 6 s?

$s = 4 + 12.t \rightarrow s_6 = 4 + 12 \times 6 \rightarrow s_6 = 4 + 72 \rightarrow s_6 = 76$ m

c) Em que instante o ciclista passará pelo marco 184 m da pista?

$s = 4 + 12.t \rightarrow 184 = 4 + 12.t \rightarrow 184 - 4 = 12.t \rightarrow 180 \div 12 = t \rightarrow t = 15$ s

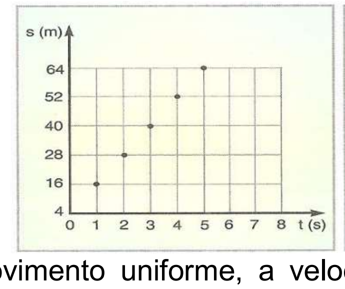
d) Que distância o ciclista percorrerá entre os instantes 5 s e 40 s?

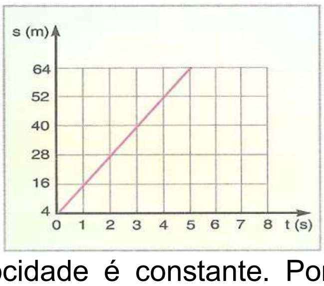
$s = 4 + 12.t \rightarrow s_5 = 4 + 12 \times 5 \rightarrow s_5 = 4 + 60 \rightarrow s_5 = 64$ m

$s = 4 + 12.t \rightarrow s_{40} = 4 + 12 \times 40 \rightarrow s_{40} = 4 + 480 \rightarrow s_{40} = 484$ m

e) Construa o gráfico da posição em função do tempo desse movimento.
De forma arbitrária, atribuímos valores a *t* na função s = 4 + 12.t, obtemos:

t	**s**	**s = 4 + 12 x t**
0	4	s = 4 + 12 x 0 → s = 4 + 0 → s = 0
1	16	s = 4 + 12 x 1 → s = 4 + 12 → s = 16
2	28	s = 4 + 12 x 2 → s = 4 + 24 → s = 28
3	40	s = 4 + 12 x 3 → s = 4 + 36 → s = 40
4	52	s = 4 + 12 x 4 → s = 4 + 48 → s = 52
5	64	s = 4 + 12 x 5 → s = 4 + 60 → s = 64

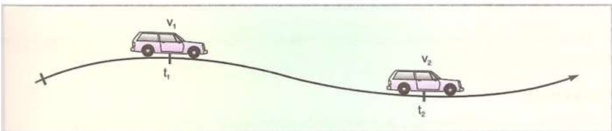




Importante: no movimento uniforme, a velocidade é constante. Por isso, a velocidade instantânea é sempre igual à velocidade média. A aceleração, nesse caso, é igual a zero.

Aceleração escalar média

A aceleração é responsável pela variação lenta ou rápida da velocidade e relaciona duas grandezas: variação de velocidade e tempo. A figura a seguir apresenta um móvel percorrendo uma trajetória.



Temos:

v_1 = velocidade no instante t_1 — $\Delta v = v_2 - v_1$ = variação de velocidade

v_2 = velocidade no instante t_2 — $\Delta t = t_1 - t_2$ = intervalo de tempo na variação Δv

Define-se aceleração média, entre os instantes t_1 e t_2, a grandeza a_m, dada por:

$$\boxed{a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}}$$

Lembramos que aceleração no Sistema Internacional (SI) tem como unidade o metro por segundo ao quadrado e se indica por m/s^2.

Destacamos que aceleração é a grandeza que relaciona a variação da velocidade com o tempo gasto nessa variação.

Aceleração escalar instantânea

É aquela que corresponde a um instante dado. Assim, devemos reduzir cada vez mais o intervalo de tempo, tornando-o próximo de zero. Matematicamente, temos:

$$\boxed{a = \lim_{\Delta t \to 0} a_m = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}} \qquad \Delta t \to 0 \text{ (lê-se: } \Delta t \text{ tende a zero)}$$

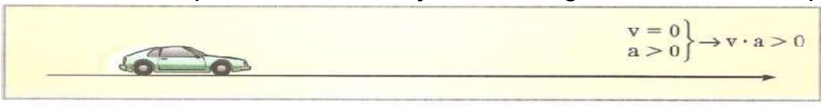
Onde **a** é a aceleração escalar instantânea.

Os sinais da velocidade e da aceleração determinam dois tipos de movimento: acelerado e retardado.

Movimento acelerado é aquele em que o módulo da velocidade aumenta no decorrer do tempo. Logo, velocidade e aceleração possuem o mesmo sinal.

$$\boxed{\text{movimento acelerado} \Leftrightarrow v \cdot a > 0}$$

Um móvel percorrendo a trajetória da figura e o motorista pisando no acelerador é um exemplo disso.

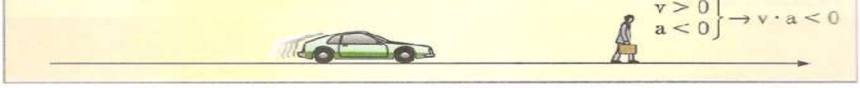


t (h)	0	1	2	3	4
v (km/h)	10	30	50	70	90

Já o movimento retardado é aquele em que o módulo da velocidade diminui no decorrer do tempo. Portanto, velocidade e aceleração possuem sinais contrários.

$$\boxed{\text{movimento retardado} \Leftrightarrow v \cdot a < 0}$$

Para exemplificar, a figura a seguir mostra um carro freando ao se aproximar de uma pessoa:



t (h)	0	0,5	1	1,5
v (km/h)	60	40	20	0

Diferença entre movimento variado e movimento uniformemente variado

Como sabemos, na maioria dos movimentos a velocidade varia no decorrer do tempo. Suponha então que, observando o velocímetro de um carro em movimento, em intervalos de tempo de 1 s, obtemos as seguintes informações:

TEMPO (em segundos)	VELOCIDADE (em km/h)
0	20
1	26
2	30
3	37
4	45

$\Delta v = 6$ km/h
$\Delta v = 4$ km/h
$\Delta v = 7$ km/h
$\Delta v = 8$ km/h

Observe que a variação da velocidade em cada 1 s não é a mesma, apontando que a aceleração não é constante.
Nesse caso, o movimento é VARIADO.

Pense agora que você está observando o velocímetro de outro carro em movimento, também em intervalos de tempo de 1s, e apontando as seguintes informações:

TEMPO (em segundos)	VELOCIDADE (em km/h)
0	8
1	18
2	28
3	38

$\Delta v = 10$ km/h
$\Delta v = 10$ km/h
$\Delta v = 10$ km/h

Percebendo que a variação da velocidade em cada 1 s é sempre a mesma, concluímos então que a aceleração é constante.
Agora o movimento é UNIFORMEMENTE VARIADO.

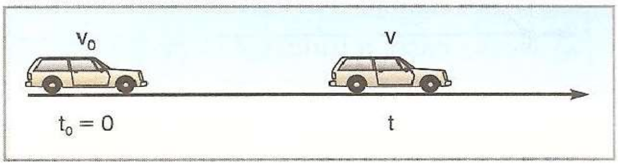
Para que isso ocorra em qualquer intervalo de tempo, a aceleração escalar média deve ser constante, diferente de zero e igual à aceleração escalar instantânea.

$$a_m = a = cte \neq 0$$

Então, podemos concluir que movimento uniformemente variado é aquele em que a velocidade escalar é variável e a aceleração escalar é constante e não-nula.
Sendo a trajetória retilínea, o movimento é denominado retilíneo uniformemente variado (MRUV).

Função horária da velocidade no MUV

Considere um ponto material que se move com movimento uniformemente variado. No instante zero, sua velocidade é $\mathbf{v_0}$ (velocidade inicial) e, no instante **t**, sua velocidade é **v**.



Sendo a_m sua aceleração, temos:

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

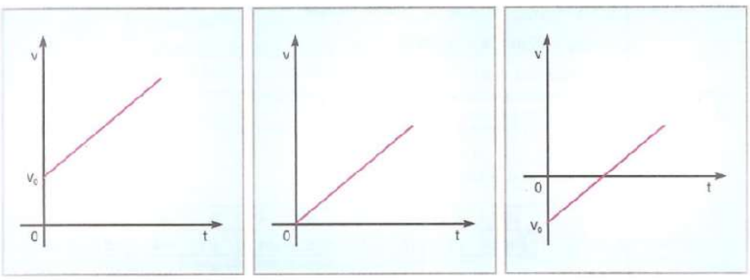
Logo: $v - v_0 = a_m \cdot t$

Então: $v = v_0 + a_m \cdot t$

A função horária da velocidade no movimento uniformemente variado é uma função do primeiro grau, cujo gráfico é representado por uma reta.

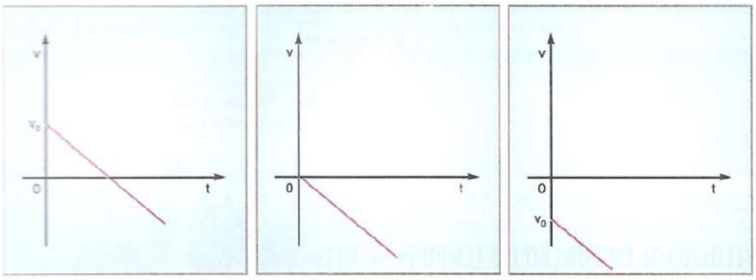
Podemos ter dois casos para representar a aceleração: positiva (a > 0) e negativa (a < 0).

• aceleração positiva (a > 0)



A função, nesse caso é CRESCENTE.

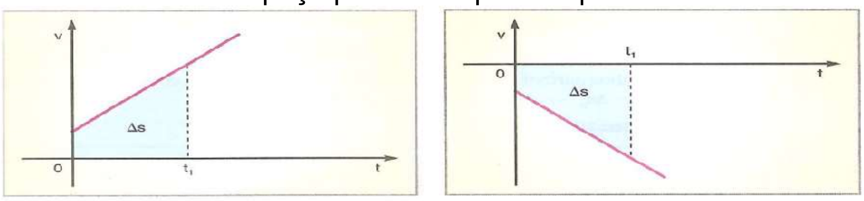
• aceleração negativa ($a < 0$)



A função, nesse caso, é DECRESCENTE.

Cálculo do espaço percorrido usando o gráfico v = f(t):

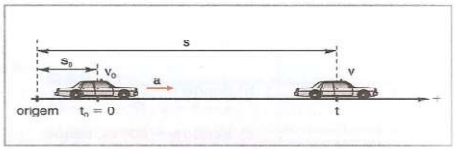
A área limitada pelo gráfico representativo e pelos eixos coordenados entre instantes 0 e t_1 é igual ao valor numérico do espaço percorrido pelo corpo entre esses instantes.



área do trapézio = $\Delta s > 0$ | área do trapézio = $\Delta s < 0$

O espaço percorrido pode ser positivo ou negativo, conforme essa área esteja acima ou abaixo do eixo dos tempos.

Posição em função do tempo [s = f(t)]:



Considere um ponto material que realiza movimento uniformemente variado. Aposição do ponto no instante **t** é dada pelo espaço **S**.

No instante zero, seu espaço é S_0 (espaço inicial) e sua velocidade é v_0 (velocidade inicial). A aceleração do ponto material é **a**.

Pode-se demonstrar que a função horária do espaço desse ponto material é uma função do segundo grau do tempo, com os seguintes parâmetros:

$$\boxed{s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2}$$

Essa função permite determinar a posição *s* num instante *t* qualquer, desde que se conheçam a posição inicial s_0, a velocidade inicial v_0 e a aceleração.

Aceleração em função do tempo [a = f(t)]:

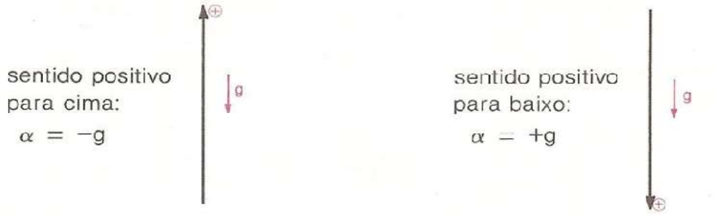
Um móvel que realiza um movimento uniformemente variado sofre acréscimos de velocidade iguais em intervalos de tempos iguais. Para que isso ocorra, a aceleração do corpo deve ser constante e diferente de zero.$a = cte \neq 0$

Movimento de queda livre

Quando um corpo é lançado nas proximidades do solo recebe influência da gravidade da Terra e da força de resistência do ar. Se a força de resistência do ar for eliminada (lançando-se o corpo no vácuo), o movimento ocorrerá sob influência exclusiva da gravidade. Quando um corpo é abandonado ($v_0 = 0$) a uma certa altura e cai sob a ação da gravidade, seu movimento é denominado queda livre.

Nos lançamentos verticais ou de queda livre, o movimento do corpo será sempre uniformemente variado, pois todos os corpos nessas condições têm mesma aceleração, chamada de aceleração da gravidade (g). Sabemos, também que a aceleração da gravidade no nível do mar é de 9,8 m/s^2.

Devemos ter cuidado quando utilizarmos a aceleração da gravidade na resolução de problemas de cinemática, pois a escolha da trajetória irá definir seu sinal: positivo ou negativo. Observe os vetores que demonstram as situações observadas:



Devemos adaptar as funções do movimento uniformemente variado para o movimento de queda livre. Tomando as funções do MUV:

$S = S_0 + V_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$

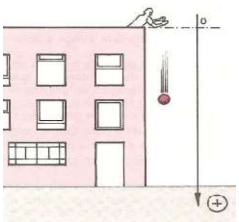
$v = v_0 + a_m \cdot t$

$v^2 = {v_0}^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta s$

Onde: deslocamento (**s**) = altura (**h**) e
a = g (aceleração gravitacional)

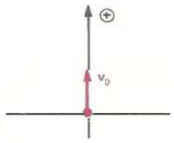
Exemplos:

1. Uma bola de aço, abandoada do topo de um prédio, chega ao chão 1,2s depois. Determine a velocidade da bola ao atingir o chão e a altura do prédio.



Adotando como origem dos espaços o topo do prédio e orientação positiva para baixo, temos:
$v_0 = 0$
$a = +g = +10\ m/s^2$
$s_0 = 0$
As funções horárias do MUV nos darão as soluções.
$v = v_0 + a \cdot t \rightarrow v = 0 + 10 \cdot 1{,}2$
$v = 12\ m/s$
$s = s_0 + v_0 \cdot t + a/2 \cdot t^2$
$s = 0 + 0 + 10/2 \cdot 1{,}2^2 \rightarrow s = 5 \cdot 1{,}44$
$s = 7{,}2\ m$

2. Um corpo lançado verticalmente para cima com velocidade de 30 m/s levará quanto tempo para atingir sua altura máxima e qual será essa altura máxima?

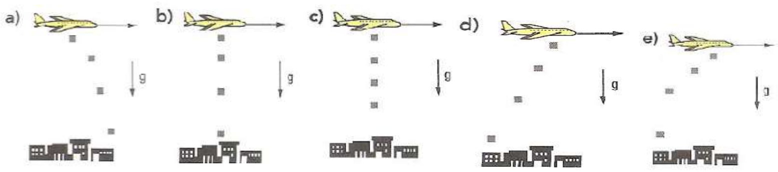


Adotando sentido positivo para cima e origem no solo, temos:
$v_0 = 30\ m/s$
$a = -g = -10\ m/s^2$
$s_o = 0$

No ponto de altura máxima, a velocidade é zero.
$v = v_0 + a \cdot t \rightarrow v = 30 - 10 \cdot t \rightarrow$
$0 = 30 - 10 \cdot t \rightarrow -30 = -10 \cdot t \rightarrow$
$t = -30/-10 \rightarrow t = +3\ s$

Sua função horária do espaço será:
$s = s_0 + v_0 \cdot t + a/2 \cdot t^2 \rightarrow$
$s = 0 + 30 \cdot t - 10/2 \cdot t^2 \rightarrow$
$s = 30 \cdot 3 - 5 \cdot 3^2 \rightarrow$
$s = 90 - 5 \cdot 9 \rightarrow s = 90 - 45 \rightarrow s = 45\ m$

3. (Fuvest–SP) Em decorrência de fortes chuvas, uma cidade do interior paulista ficou isolada. Um avião sobrevoou a cidade com velocidade horizontal constante, largando quatro pacotes de alimentos, em intervalos de tempo iguais. No caso ideal, em que a resistência do ar pode ser desprezada, a figura que melhor poderia representar as posições aproximadas do avião e dos pacotes em um mesmo instante é:



Resolução: Em relação ao solo, a velocidade inicial do pacote é igual à do avião, e, em consequência, na direção horizontal os movimentos do pacote e do avião são idênticos. Portanto, em relação ao avião o movimento do pacote é uma queda livre, que é um movimento retilíneo uniformemente acelerado.

Como a representação indica as posições dos pacotes em intervalos de tempos iguais, a distância entre dois pacotes consecutivos é crescente. Alternativa B.

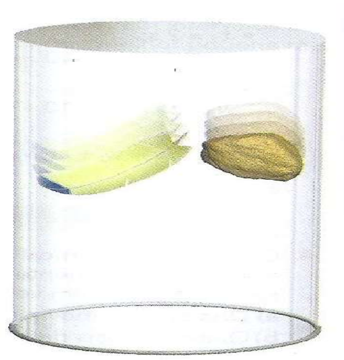
4. Leia o texto:

Aceleração da gravidade e campo gravitacional*

Na queda de corpos muito leves ou de baixa densidade, a influência do ar é tão importante a ponto de atrasá-los na queda. Por isso, alguns anos depois de Galileu, Newton imaginou um tubo de cujo interior o ar fosse retirado. Não havendo ar, podemos ver uma pena e uma pedrinha caírem juntas. Isso acontece também na Lua, onde não existe atmosfera.

A aceleração com que os corpos caem apenas sob a ação do peso caracteriza o campo gravitacional. Nos lugares em que os corpos caem com maior aceleração, dizemos que o campo gravitacional é mais intenso.

Como a resultante é o peso, independentemente da massa, em um mesmo local, os corpos caem com aceleração de mesmo valor do campo gravitacional nesse local.



A experiência de Newton mostrou que, sem a resistência do ar, dois corpos de massas diferentes, em queda livre a partir do repouso, chegam juntos. Essa situação caracteriza a denominada *imponderabilidade*.

* Adaptado de CANIATO, Rodolfo, *O céu*, São Paulo, Ática, 1990, p. 67.

Portanto, daí resulta a expressão comumente usada: ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE.

$$\boldsymbol{\gamma = g}$$

Pergunta-se:

a) Desprezando a resistência do ar, a aceleração de um corpo abandonado próximo da superfície da Terra depende de sua massa?

Não.

b) Por que se observa que os diferentes corpos “caem” sobre a superfície dos astros quando abandonados próximos a eles, e não se observa os astros “subirem” para os corpos, uma vez que, de acordo com o Princípio da Ação e Reação, os astros também são atraídos pelos corpos?

Porque, se consideramos que a massa do astro é muitas vezes maior que a do corpo, de acordo com o Princípio Fundamental, o que torna a aceleração do astro desprezível. Devemos considerar também que quem produz aceleração é a resultante sobre o astro. Assim, pode haver outras forças sobre o astro além da reação do corpo.

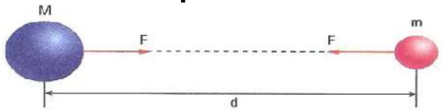
Baseado no exercício anterior, podemos questionar o que mantém os planetas ao redor do Sol?

Pelos estudos desenvolvidos por Galileu, com o passar do tempo foi se firmando a ideia de que leis universais governam o movimento dos corpos e podem ser aplicadas aos movimentos ocorridos no céu e na Terra.

Posteriormente, Newton em seus estudos relacionados ao movimento da Lua aplicou o Princípio da Inércia, o Princípio Fundamental e o Princípio da ação e Reação. Após, utilizando as leis de Kepler, Newton observou e estudou o movimento dos planetas, para somente depois retomar as pesquisas sobre o movimento da Lua. Decorre desse estudo a Lei da Gravidade Universal, assim expressada:

Matéria atrai matéria na razão direta do produto das massas e inversa ao quadrado da distância.

De forma esquemática, assim:



$$F = G \cdot \frac{Mm}{d^2}$$

Em que **G** é a constante de gravitação universal ou de proporcionalidade entre **F** e $\frac{\mathbf{Mm}}{\mathbf{d^2}}$, e vale, aproximadamente, $6{,}7 \cdot 10^{-11}$ N $\cdot$ m^2/kg^2.

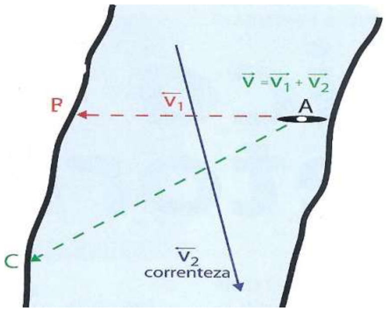
O valor da constante de gravitação universal é pequeno. Para que a intensidade da força gravitacional seja considerável, é preciso que uma das massas seja muito grande. Essa é a razão pela qual a força de atração que prevalece entre os corpos próximos à superfície da Terra é o peso aplicado pela Terra, pois a massa da Terra é sempre muito maior que a de qualquer corpo próximo a ela. Assim, **G** não depende do meio nem do tipo ou do movimento das partículas.

Observamos, ainda, que os dois corpos que se atraem são considerados pontos materiais e a distância **d** é entre os centros de cada corpo.

Movimento circular uniforme. Antes de estudarmos o MCU devemos retomar que a velocidade não é apenas uma grandeza escalar, pois ela tem intensidade, direção e sentido. Tais características são necessárias para quando a velocidade for abordada como sendo vetorial.

Nas curvas, principalmente em dias chuvosos, com pista molhada, os motoristas necessitam dobrar sua atenção para não deixar o carro escapar e sair da pista, pois todos os corpos em trajetórias curvas tendem a escapar pela tangente.

Um pescador, em uma canoa, vai de uma margem a outra de um determinado rio, com 40 metros de largura, largando uma rede. O pescador sai do ponto *A* e pretende ir a um ponto *B* na outra margem, porém, devido a correnteza, atingiu a outra margem a uma distância de 30 metros do lugar pretendido que seria o ponto *B*. (Devido à correnteza passou a ser o ponto *C*). Para melhor entendermos o que houve, devemos observar que o deslocamento que vemos da canoa não é resultado exclusivo do esforço desempenhado pelo pescador remando. Enquanto ele remava a uma velocidade $\overrightarrow{v_1}$para se locomover, perpendicularmente ao ponto *A*, em direção ao ponto *B*, a correnteza o empurrava rio abaixo, a uma velocidade $\overrightarrow{v_2}$. A velocidade resultante é a soma vetorial das duas velocidades $\vec{v}$.



A travessia demorou 2 minutos e 40 segundos. Com essa informação, podemos calcular v_1 e v_2, desmembrando o movimento dos dois.

1.º) Resultante da velocidade da canoa, isoladamente:

Dados: S = 40 m; t = 2 minutos e 40 segundos (160 segundos).
$S = v \cdot t \rightarrow 40\ m = v \cdot 160\ s \rightarrow v = 40\ m/160\ s \rightarrow v = 0{,}25\ m/s$

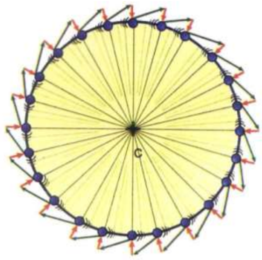
2.º) Resultante da correnteza:

Dados: S = 30 m; t = 2 minutos e 40 segundos (160 segundos).
$S = v \cdot t \rightarrow 30\ m = v \cdot 160\ s \rightarrow v = 30\ m/160\ s \rightarrow v = 0{,}1875\ m/s$

A distância *AC* é dada pelo Teorema de Pitágoras:

$(AC)^2 = (AB)^2 + (BC)^2 \rightarrow (AC)^2 = (40)^2 + (30)^2 \rightarrow (AC)^2 = 1.600 + 900 \rightarrow (AC)^2 = 2.500$
$AC = \sqrt{2.500} \rightarrow AC = 50\ m$

Movimento circular uniforme de um corpo é o resultado da composição de dois movimentos.



2.º) O corpo “cai” em linha reta, de forma contínua e acelerada, na direção de um ponto central

Essa aceleração em direção ao centro é a aceleração centrípeta.

$$a_{CP} = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$

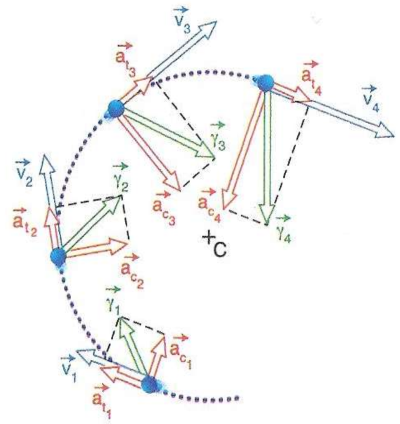
1.º) O corpo se desloca em linha reta, com velocidade constante;

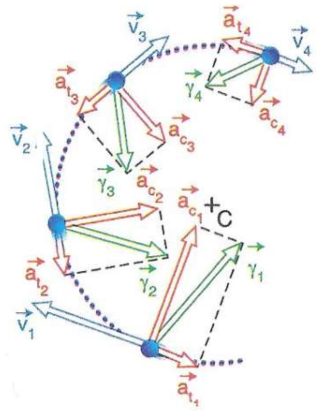
Para definirmos quando o movimento circular será acelerado ou retardado devemos atentar para que, além da aceleração centrípeta, existe uma aceleração que ocorre na mesma direção da velocidade, quando o movimento do corpo deixa de ser uniforme. Chamado de vetor aceleração tangencial, tem o mesmo sentido do vetor velocidade, dizemos então que o movimento é acelerado e o corpo se desloca cada vez mais depressa, completando a trajetória circular cada vez em menos tempo – o período está diminuindo e a frequência, aumentando. Se os sentidos são opostos, o movimento é retardado e o tempo de cada volta é cada vez maior – o período está aumentando e a frequência, diminuindo.

A intensidade do vetor aceleração tangencial coincide com a da aceleração escalar.

As acelerações centrípeta e tangencial podem ser representadas por um único vetor.

$$\vec{\gamma} = \vec{a}_c + \vec{a}_t$$





Período e frequência

Os movimentos que se repetem em intervalos iguais de tempo são considerados movimentos periódicos. Exemplos disso, podemos considerar o movimento de um ponteiro de relógio, a oscilação de um péndulo, o movimento das pás de um ventilador, o movimento de um disco.

O intervalo de tempo no qual o movimento se repete chama-se período (T).

O número de vezes que o movimento se repete em uma unidade de tempo chama-se frequência (f).

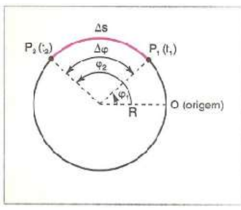
A frequência e o período se relacionam da seguinte forma:

$$\boxed{T = \frac{1}{f} \text{ ou } f = \frac{1}{T}}$$

Assim, frequência e período são grandezas inversamente proporcionais.

No Sistema Internacional de medidas, o período (T) é medido em segundos (s) e a frequência, é medido em hertz (Hz).

As relações matemáticas do MCU, devem ser consideradas a partir da figura, onde um móvel descreve um movimento circular uniforme no sentido anti-horário.



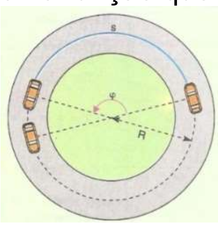
A leitura, na figura, permite observar que para uma volta completa, o espaço percorrido é o comprimento da circunferência ($\Delta s = 2\pi R$), o ângulo descrito é 360º ou 2π rad ($\Delta\varphi = 2\pi$) e o tempo gasto é o período *T*.

Assim: $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \rightarrow \omega = \frac{2\pi}{T}$ ou $\omega = 2\pi \cdot \frac{1}{T}$ ou $\boxed{\omega = 2\pi f}$

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \rightarrow v = \frac{2\pi R}{T} \rightarrow \boxed{v = \omega R}$$

Função horária angular

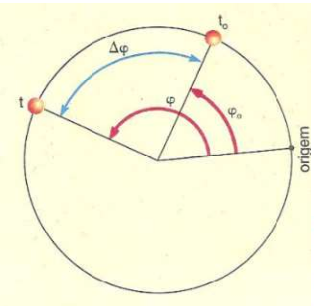
No MRU, a função horária é dada por: $\mathbf{s = s_0 + v \cdot t}$, nal qual a posição **s** é fornecida em cada instante de tempo sobre a trajetória. Já no MCU, para a localização de um ponto material é necessário uma função que descreva e forneça o ângulo descrito no decorrer do tempo.



O ponto material no MCU passa muitas vezes pela mesma posição sobre a circunferência, mas não podemos dizer o mesmo sobre o ângulo pelo qual percorre o ponto material durante o movimento. Os valores não se repetem, pois quando o ponto material passa pelo mesmo ponto o valor do ângulo é acrescido de 360º ou 2π rad.

Decorre então a relação matemática entre o ângulo φ e o instante *t* considerado.

Para isso consideremos a figura:



A velocidade angular é dada por $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ ①

Mas $\Delta\varphi = \varphi - \varphi_0$ ② e $\Delta t = t - t_0 = t - 0 = t$ ③

Substituindo ② e ③ em ①, vem:

$\omega = \frac{\varphi - \varphi_0}{t} \rightarrow \boxed{\varphi = \varphi_0 + \omega t}$, função horária sob a forma angular.

Sendo:
- ✓ φ o ângulo ou a fase no instante *t*
- ✓ φ_0 o ângulo inicial ou a fase inicial
- ✓ ω a velocidade angular
- ✓ *t* o tempo

Exemplos:

1. Um corpo em MCU efetua 480 voltas numa circunferência de raio 0,5 m em 2 minutos. Determine:

a) a frequência;

Dados: número de voltas = 480; tempo: 2 min (120 s)

480 voltas 120 s frequência 1 $120 \cdot f = 480 \rightarrow f = 480/120 \rightarrow f = 4$ Hz

b) o período;

Se $f = \frac{1}{T}$, logo $T = \frac{1}{f}$, então: $T = \frac{1}{4}$ s

c) a velocidade escalar do corpo $\omega = 2\pi R \rightarrow \omega = 2\pi \cdot 4 \rightarrow \omega = 8\pi$ rad/s;

$v = \omega R \rightarrow v = 8\pi \,.\, 0{,}5 \rightarrow v = 4\pi$ m/s

2. Um móvel percorre em MU uma circunferência de 3m de raio, efetuando meia volta por segundo. Sabendo que no início da contagem dos tempos ele se encontra na origem dos arcos, calcule:

a) a frequência;

b) o período;

c) a velocidade angular;

d) a velocidade escalar;
e) as funções horárias do movimento sob as formas linear e angular;
f) a aceleração centrípeta;
g) o tempo decorrido para descrever um ângulo de $\frac{3\pi}{2}$ rad.

a) O móvel efetua $\frac{1}{2}$ volta por segundo. Portanto:

$$f = \frac{1}{2}\ \text{Hz}$$

b) $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{\frac{1}{2}} = 2\ \text{s} \therefore T = 2\ \text{s}$

c) $\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot \frac{1}{2} = \pi\ \text{rad/s} \therefore \omega = \pi\ \text{rad/s}$

d) $v = \omega R$, onde $R = 3\ \text{m}$
Portanto, $v = \pi 3 = 3\pi\ \text{m/s} \rightarrow v = 3\pi\ \text{m/s}$

e) Forma linear:
$s = s_0 + vt$, com $\begin{cases} s_0 = 0 \text{ (o móvel parte da origem)} \\ v = 3\pi\ \text{m/s} \end{cases}$
Substituindo-se, vem:
$s = 0 + 3\pi t \rightarrow s = 3\pi t$
Forma angular:
$\varphi = 0 + \pi t$, com $\begin{cases} \varphi_0 = 0 \\ \omega = \pi\ \text{rad/s} \end{cases}$
Substituindo-se, vem:
$\varphi = 0 + \pi t \rightarrow \varphi = \pi t$

f) $a_{cp} = \frac{v^2}{R} = \frac{(3\pi)^2}{3} = \frac{9\pi^2}{3} = 3\pi^2\ \text{m/s}^2 \rightarrow a_{cp} = 3\pi^2\ \text{m/s}^2$

g) O tempo para descrever o ângulo $\varphi = \frac{3\pi}{2}$ rad será obtido pela função horária angular $\varphi = \pi t$.
$\frac{3\pi}{2} = \pi t \rightarrow t = 1{,}5\ \text{s}$

Noção de força

Quando assistimos a uma partida de futebol percebemos a influência que um jogador tem sobre o movimento da bola, podendo ajudá-lo, opô-lo ou até impedi-lo.

Quando um jogador chuta a bola que inicialmente encontra-se em repouso, sobre uma superfície horizontal, percebemos que o pé do jogador age sobre a bola (ambos considerados corpos). Enquanto o pé e a bola estão em contato, dizemos que houve troca de forças entre eles: o pé aplicou e a bola recebeu força. Caso a bola se afaste do pé, a força que este aplicou nela deixa de existir: a bola ganha velocidade. Portanto, nesse caso, podemos dizer que a força causou a mudança de velocidade da bola.

O arco-e-flecha é um dos poucos esportes em que deficientes físicos podem competir em pé de igualdade com outras pessoas. O que faz com que a flecha atinja altas velocidades é a ação da soma vetorial das duas forças, que é a resultante ($\vec{R}$).

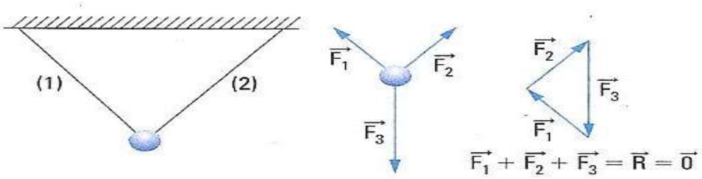
Conceituamos força como sendo o resultado da interação entre corpos. Ela pode produzir equilíbrio, variação de velocidade ou deformação do corpo sobre o qual é aplicada. No SI, a unidade de medida de força é expressa em newtons (N). O instrumento que recebe esta escala em newtons de forma graduada e, cuja utilização é a de medir a intensidade de uma força, é denominado dinamômetro. Esse instrumento é constituído de um ponteiro ligado a um corpo elástico (geralmente uma mola) preso por uma de suas extremidades a um suporte fixo.

A força aplicada no corpo elástico é medida pelo grau de deformação que o corpo sofre: quanto maior a intensidade de força aplicada, maior será a deformação registrada.

Dependendo da direção e do sentido em que uma força é aplicada, o efeito produzido será diferente. Portanto, força é uma grandeza vetorial.

Nas figuras $\overrightarrow{F_1}$, $\overrightarrow{F_2}$ e $\overrightarrow{F_3}$ representam forças aplicadas em um corpo. A soma vetorial da ação de várias forças produz o efeito de uma única, denominada resultante ($\overrightarrow{F_R}$).

Como, neste caso, o corpo se encontra em equilíbrio, podemos concluir que a resultante é nula.



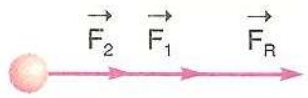
Podemos dizer que num sistema de forças que atuam sobre um determinado corpo estas forças podem ser substituídas por uma única força, capaz de produzir nesse corpo o mesmo efeito que todas as forças aplicadas, a qual denominamos força resultante.

Exemplos:

1. Duas forças concorrentes $\overrightarrow{F_1}$e $\overrightarrow{F_2}$, de intensidades 4 N e 3 N, atuam num mesmo ponto material, formando um ângulo α entre si. Determine a intensidade de força resultante para os seguintes valores de α:

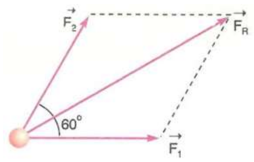
a) 0º

Sendo α = 0º, as forças têm a mesma direção e mesmo sentido:



A intensidade da força resultante será: $\overrightarrow{F_R} = \overrightarrow{F_1} + \overrightarrow{F_2} \rightarrow F_R = F_1 + F_2 \rightarrow F_R = 4 + 3 \rightarrow$
$F_R = 7$ N

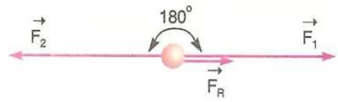
b) Para α = 60º



A intensidade da força resultante será: $\overrightarrow{F_R} = \overrightarrow{F_1} + \overrightarrow{F_2}$

$\rightarrow F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2.F_1.F_2.\cos 60^o} \rightarrow F_R = \sqrt{4^2 + 3^2 + 2\,.\,4\,.\,3\,.\frac{1}{2}} \rightarrow F_R =$
$\sqrt{16 + 9 + 12}$
$\rightarrow F_R = \sqrt{37} \rightarrow F_R \cong 6{,}1$ N

c) Sendo α = 180º, as forças têm a mesma direção e sentidos contrários:



A intensidade da força resultante será: $\overrightarrow{F_R} = \overrightarrow{F_1} + \overrightarrow{F_2}$
$F_R = F_1 - F_2 \rightarrow F_R = 4 - 3 \rightarrow F_R = 1$ N

Quanto ao equilíbrio, podemos dizer um corpo está em equilíbrio quando a resultante das forças que nele atuam é nula. Dois são os casos de equilíbrio:

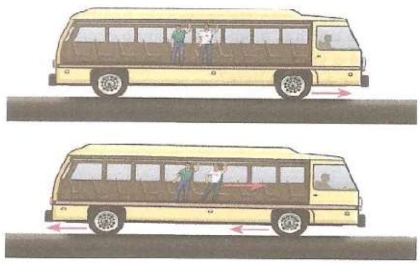
Estático: quando um ponto material se encontra em repouso, isto é, sua velocidade vetorial é nula no decorrer do tempo.

$$\left.\begin{array}{l}\vec{F}_R = 0\\ \vec{v} = 0\end{array}\right\}\text{repouso}$$

Dinâmico: quando um ponto material está em movimento retilíneo e uniforme, isto é, sua velocidade vetorial é constante e diferente de zero.

$$\left.\begin{array}{l}\vec{F}_R = 0\\ \vec{v} = \text{cte} \neq 0\end{array}\right\}\text{MRU}$$

Princípio da Inércia ou 1.ª Lei de Newton



Imaginemos uma pessoa em um ônibus não submetida à ação de nenhuma força. Dizemos então que nessas condições essa pessoa não sofre variação de velocidade. Ou seja, se ela está parada, permanece parada e, se está em movimento, permanece em movimento e sua velocidade se mantém constante.

Esse princípio formulado primeiro por Galileu foi mais tarde confirmado por Newton, passando a ser denominado como primeiro princípio da Dinâmica (1.ª Lei de Newton) ou princípio da inércia.

Podemos observar o princípio no movimento de um ônibus, por meio da figura:

Como podemos observar, quando o ônibus entra em movimento, a partir do repouso, os passageiros tendem a se deslocar para trás, resistindo ao movimento. O mesmo pode ser observado quando o motorista freia o ônibus que está em movimento, os passageiros deslocam-se para a frente, tendendo a continuar com a velocidade que possuíam.

A afirmação de que *um corpo parado permanece parado se não agir sobre ele alguma força* pode ser facilmente percebida e compreendida em nossa vida prática.

Porém, a afirmação de que um corpo em movimento mantém velocidade constante se não atuarem forças sobre ele é menos percebida. Assim, um corpo em movimento não permanece sempre em movimento, por exemplo, uma bolinha jogada sobre o plano horizontal para depois de percorrer poucos metros, mesmo que aparentemente não aja força alguma sobre ela.

O que existe de fato é uma força de freamento, conhecida por atrito; porém, no caso de essas forças freantes não existirem ou serem reduzidas ao mínimo, o princípio da inércia é verificado plenamente.

Uma nave no espaço, por exemplo, se move sem encontrar atrito, por isso não necessita de motores e, pelo princípio da inércia, continua a mover-se em linha reta com a velocidade com a qual foi lançada inicialmente.

São chamados referenciais inerciais, aqueles referenciais que são fixos em relação às estrelas e se movem com velocidade constante em relação a elas, isto é, possuem aceleração vetorial nula. A Terra, nessas condições, por seu movimento ser de curta duração – 24 horas – possibilita dizer que sua velocidade é constante durante seu movimento de translação, podendo então ser adotada como um referencial inercial.

Sabemos também que a massa de um corpo define a inércia, pois aquele que possui maior massa oferece maior resistência para sair do repouso, consequentemente, exige um maior esforço para que entre em movimento. Dizemos então que a massa de um corpo está associada a sua inércia, afirmando que a massa de um corpo é a medida numérica de sua inércia. No SI, a unidade de massa é o quilograma, seus múltiplos e submúltiplos.

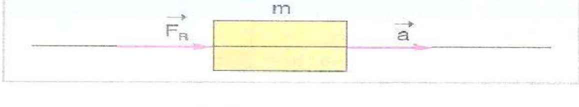
$$1\ \text{g} = \frac{1}{1000}\ \text{kg} = 10^{-3}\ \text{kg}$$

$$1\ \text{t} = 1000\ \text{kg} = 10^{3}\ \text{kg}$$

Princípio Fundamental da Dinâmica ou 2.ª Lei de Newton

Vimos no princípio da inércia que a força resultante que atua sobre um corpo é nula, possibilitando a esse corpo a tendência de permanecer em seu estado de repouso (equilíbrio estático) ou em movimento retilíneo uniforme (equilíbrio dinâmico). Porém, se uma força resultante que atua sobre um determinado corpo não for nula, podemos afirmar que a aceleração que esse corpo adquire é diretamente proporcional à resultante das forças que atuam sobre ele e tem a mesma direção e o mesmo sentido dessa resultante.

Experimentalmente podemos demonstrar que uma mesma força produzirá diferentes acelerações sobre corpos diferentes. Por exemplo, uma mesma força provocará acelerações diferentes quando aplicada sobre uma bola de futebol ou sobre um automóvel, isto decorre em virtude das massas apresentadas pela bola de tênis (menor) e do automóvel (maior), exigindo esse, em virtude de sua massa, mais força para produzir aceleração.



$$\boxed{\vec{F}_R = m\vec{a}}$$

Esse princípio estabelece que entre causa (força) e efeito (aceleração) exista uma proporcionalidade.

A figura a seguir permite verificar que quando um ponto material de massa *m* for submetido a uma força resultante $\overrightarrow{F_R}$ adquire uma aceleração $\vec{a}$ na mesma direção e sentido da força, o que nos permite concluir que:

A resultante das forças aplicada a um ponto material é igual ao produto de sua massa pela aceleração adquirida.

As unidades de medidas no SI para massa é o quilograma (kg) e para aceleração é metro por segundo ao quadrado (m/s^2).

A unidade resultante do princípio fundamental da dinâmica é força newton (N), onde um newton equivale a intensidade de força que aplicada à massa de 1 kg, produz na sua direção e no seu sentido um movimento de aceleração de 1 m/s^2.

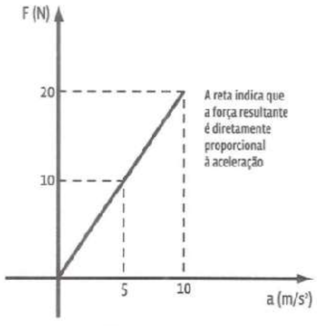
$$F_R = ma$$

$$\boxed{1\ N = kg \cdot \frac{m}{s^2}}$$

Também, graficamente podemos mostrar que força resultante e aceleração são duas grandezas intimamente associadas, pois a resultante das forças aplicadas sobre um corpo é igual ao produto de sua massa pela aceleração que o corpo adquire.

Ou seja, quanto maior for a intensidade da força resultante aplicada sobre um corpo, maior será a aceleração adquirida:

Sabemos que para produzir a mesma aceleração em uma bicicleta e em um carro são necessárias forças de intensidade bem diferentes, pois quanto maior for a massa de um corpo, maior será a força resultante necessária para produzir determinada aceleração.



Usando a fórmula $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$, é fácil calcular a massa do corpo: $10\ N = m \cdot 20\ m/s^2$. Então, m =2 kg

Força peso

Sabemos que em torno da Terra há uma região denominada campo gravitacional, na qual todos os corpos sofrem a sua influência, que se apresenta na forma de uma força. Assim, definimos força peso como sendo a força de atração que atua sobre todos os corpos que estão sobre a superfície terrestre ou próximo a ela, que aponta para o centro da Terra.

Quando desprezamos a resistência do ar, consideramos que todos os corpos abandonados próximos à superfície da Terra caem, em decorrência de seus pesos, com velocidades crescentes, sujeitos a uma mesma aceleração, esta denominada aceleração da gravidade. Assim, sendo *m* a massa de um corpo qualquer e $\vec{g}$ a aceleração da gravidade, podemos aplicar o princípio fundamental da Dinâmica e obter o peso $\vec{P}$do corpo.$\vec{P} = m \cdot \vec{g}$

No SI, a unidade de medida de peso é newton (N). Mas, também podemos usar o quilograma-força (kgf), que é a unidade de força com grande uso na indústria.

1 kgf é o peso de um corpo de 1 kg de massa num local em que a aceleração da gravidade é igual a 9,8 m/s^2.

Perceba que peso e massa são grandezas diferentes, pois a massa é propriedade exclusiva do corpo, não dependendo do local em que é medida, enquanto o peso do corpo depende do local no qual é medido.

Princípio da Ação e Reação ou 3.ª Lei de Newton

Uma bola de futebol ao ser chutada por um jogador faz surgir um par de forças. Uma delas é resultado do pé do jogador e atua sobre a bola – é uma força de ação. Ao mesmo tempo, a bola exerce outra força sobre o pé do jogador de igual intensidade, denominada força de reação.

Outro exemplo prático e diário, pode ser aquele em que uma pessoa caminhando é impulsionada para a frente, graças à força que os pés aplicam sobre o solo, "empurrando-o" para trás.

Assim, o princípio da ação e reação estabelece as seguintes propriedades das forças decorrentes de uma interação entre os corpos:

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

Exemplos:

1. Por que um cavaleiro é jogado para a frente quando o cavalo para bruscamente, recusando-se a pular um obstáculo?

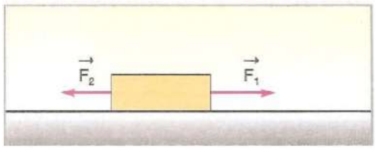
Devido à inércia, o corpo do cavaleiro tende a continuar em movimento com a mesma velocidade com que estava enquanto o cavalo se movimentava.

2. (UFPel/RS) Um passageiro, sentado num ônibus, observa os passageiros que estão de pé. Em alguns momentos, nota que eles se inclinam para a frente e, em outros momentos, observa que os passageiros inclinam-se para trás; na maior parte da viagem, eles permanecem na sua posição normal.

À luz das leis de Newton, analise os possíveis movimentos do ônibus e justifique sua resposta.

Em sua posição normal, os passageiros encontram-se em estado de inércia, possuindo velocidades iguais à do ônibus. Quando o ônibus é freado, devido ao estado de inércia, os passageiros tendem a continuar em movimento com a mesma velocidade inicial do ônibus, o que parece a um observador no ônibus que todos estão inclinando para a frente. Quando o ônibus é acelerado, devido ao mesmo estado de inércia, os passageiros parecem, a um observador no ônibus, se inclinar para trás.

3. Um corpo de massa 2 kg, em repouso, apoiado sobre um plano horizontal sob a ação das forças horizontais $\vec{F_1}$ e $\vec{F_2}$de intensidade 10 N e 4 N, respectivamente, conforme indica a figura.



Responda:

a) Qual a aceleração adquirida pelo corpo?

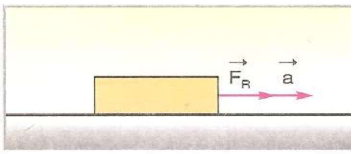
Cálculo da força resultante:

$F_R = F_1 - F_2 \rightarrow F_R = 10 - 4 \rightarrow F_R = 6$ N

Utilizando o princípio fundamental da Dinâmica, temos:

$F_R = m \cdot a \rightarrow 6 = 2 \cdot a \rightarrow a = 3$ m/s^2

Observe que a aceleração do corpo tem a mesma direção e sentido da força resultante.



b) Ache a velocidade e o espaço percorrido pelo corpo 10s após o início do movimento.

$v = v_0 + a \cdot t \rightarrow v = 0 + 3 \cdot 10 \rightarrow v = 30$ m/s

$s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2 \rightarrow \Delta s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2 \rightarrow \Delta s = 0 + \frac{1}{2} 3 \cdot 10^2 \rightarrow \Delta s = 150$ m

4. A aceleração da gravidade da Terra é, em média, 9,8 m/s^2 e na Lua, 1,6 m/s^2. Para um corpo de massa 5 kg, determine:

a) o peso desse corpo na Terra $\quad P_T = m_T g_T \rightarrow P_T = 5 \cdot 9{,}8 \rightarrow P_T = 49$ N

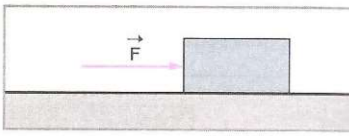
b) a massa e o peso desse corpo na Lua.

$m_T = m_L = 5$ kg

Portanto:

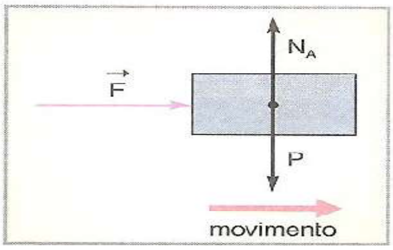
$P_L = m_L g_L \rightarrow P_L = 5 \cdot 1{,}6 \rightarrow P_L = 8$ N

5. Considerando um corpo de massa igual a 6 kg em repouso sobre um plano horizontal perfeitamente liso. Aplica-se uma força horizontal de F = 30 N sobre o corpo conforme a figura. Admitindo-se g = 10 m/s^2, determine:



a) a aceleração do corpo;

Isolando o corpo, temos:
P = força peso
N_A = reação normal do apoio



Dados: $\begin{cases} m - 6 \text{ kg} \\ F = 30 \text{ N} \end{cases}$

Pelo princípio fundamental da Dinâmica, temos:

- Na horizontal:
  $F = ma$ ①
- Na vertical:
  $N_A - P = 0$ ② (não há movimento na vertical)
  De ①:
  $F = ma \rightarrow 30 = 6a \rightarrow a = 5 \text{ m/s}^2$

b) a reação do plano de apoio.

De ②:
$$N_A = P \rightarrow N_A = mg \rightarrow N_A = 6 \cdot 10 \rightarrow N_A = 60 \text{ N}$$

Termologia

O Conceito de termologia deve ser entendido como a junção de *termo,* significando calor, e *logia,* como sendo seu estudo; portanto, termologia é a parte da Física que estuda o calor e seus efeitos sobre a matéria. Está diretamente relacionada à energia térmica, ao estudar sua transmissão e efeitos causados por ela quando fornecida ou retirada de um corpo.

Por exemplo, ao atritarmos uma broca sobre o metal, produzimos uma fonte de calor. Por muito tempo, pensou-se que esse calor fosse um fluido contido dentro do metal e que escapava conforme era fragmentado (limalha do ferro) pela broca. Mais tarde, concluiu-se que mesmo a broca perdendo o corte em virtude do atrito, continuava girando, o que permitiu definir calor como uma forma de energia, no século XIX.

Ao misturarmos serragem em um recipiente metálico com água e o levarmos ao fogo, iremos perceber que, na medida em que a água esquenta, o movimento das partículas de serragem aumenta. Essa observação permite concluir que:

- as noções de quente e frio estão relacionadas à agitação das partículas do corpo;
- o movimento das moléculas de um corpo é tanto maior quanto mais quente o corpo fica.

Essa agitação ou movimento das moléculas e dos átomos de um corpo é definida como agitação térmica.

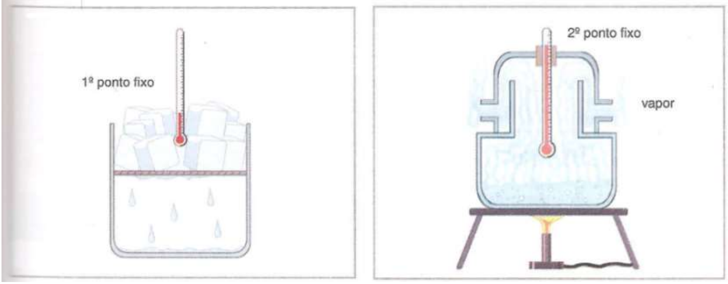
Ou seja, quando um corpo mais quente está em contato com um corpo mais frio, notamos que a temperatura do mais quente cai e a do mais frio sobe, ocorrendo transferência de energia térmica de um para o outro. A transferência de calor de um corpo para outro em contato cessa quando os dois corpos atingem a mesma temperatura, alcançando assim o equilíbrio térmico.

Portanto, baseado nos experimentos acima, podemos definir que ***calor*** é uma forma de energia em trânsito, entre dois corpos ou sistemas, decorrentes apenas da existência de uma diferença de temperatura entre eles e que ***temperatura*** é uma grandeza que permite avaliar o grau de agitação térmica das moléculas de um corpo.

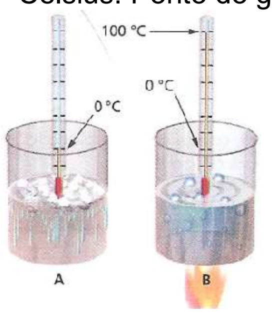
Escalas termométricas

As escalas mais comuns são a Celsius, a Fahrenheit e a Kelvin ou absoluta, que correspondem a um conjunto de valores numéricos, em que cada um desses valores está associado a uma temperatura.

Para definir essa graduação das escalas, foram escolhidos dois fenômenos que se reproduzem sempre nas mesmas condições, como pontos fixos. A fusão do gelo e a ebulição da água, ambos sob pressão normal.

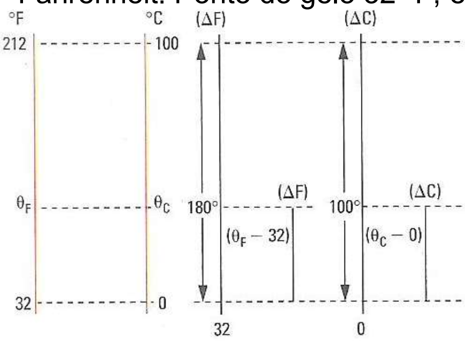


- Celsius. Ponto do gelo 0 °C; e ponto de ebulição 100 °C.



A: termômetro em contato com gelo fundente e água. **B**: termômetro em contato com água em ebulição. Nos dois casos, o nível de mercúrio cessa o movimento (de contração em **A**; de expansão em **B**) ao atingir o equilíbrio térmico com as respectivas misturas.

- Fahrenheit. Ponto do gelo 32 °F; e ponto de ebulição 212 °F;



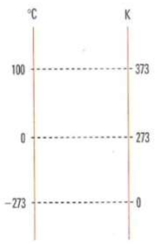
Assim, para um mesmo deslocamento da substância termométrica, temos:

$$\frac{\theta_F - 32}{180} = \frac{\theta_C - 0}{100} \Rightarrow \theta_C = \frac{5}{9}(\theta_F - 32)$$

Em que θ_F é a temperatura em graus Fahrenheit e θ_C é a temperatura em graus Celsius.

- Kelvin ou escala absoluta (sem valores negativos). Ponto do gelo 273,15 K; e ponto de ebulição 327,15 K.

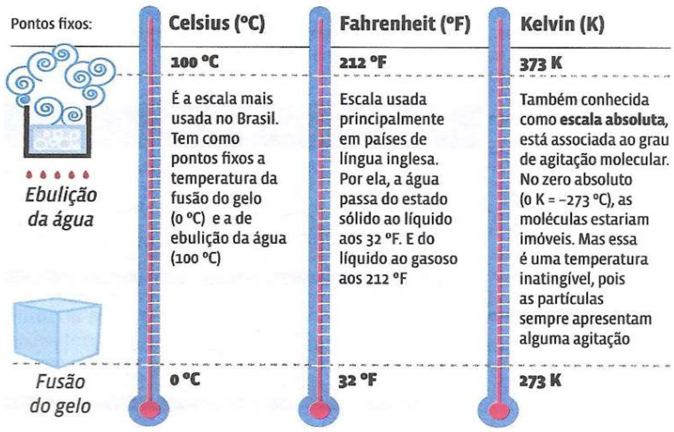
A relação entre a escala Celsius e a Kelvin é:



$$T_K = 273 + \theta_C$$

A escala Kelvin, também chamada de absoluta, não possui valores negativos. O zero dessa escala foi determinado para que correspondesse à menor temperatura possível, isto é, quando a agitação molecular cessa e a energia cinética média é igual a zero.

Existe uma relação entre as escalas, pois a temperatura de um corpo pode ser expressa por diferentes valores quando é medida em diferentes escalas. Apresentamos as réguas de temperatura, mostrando essa relação:



A relação matemática existente entre elas é dada por:

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

Onde:

- T_C é a temperatura de um dado corpo, medido na escala Celsius;
- T_F é a temperatura do corpo, agora medida na escala Fahrenheit;
- T_K representa a mesma temperatura, medida na escala Kelvin.

Para converter a temperatura de um corpo de uma escala para outra, devemos resolver a equação que corresponde às duas escalas.

Exemplos:

1. Beber água fresca significa beber água a uma temperatura menor que 10ºC. Expresse essa temperatura de 10º C em graus Fahrenheit. Dados: T_C = 10º C.

$\frac{\mathrm{TC}}{5} = \frac{\mathrm{TF} - 32}{9} \rightarrow \frac{10}{5} = \frac{\mathrm{TF} - 32}{9} \rightarrow 2 \cdot 9 = T_F - 32 \rightarrow 18 + 32 = T_F \rightarrow T_F = 50\ ^{\circ}\mathrm{F}$

2. A temperatura normal do corpo humano é de 36 °C. Qual é essa temperatura expressa nas escalas Fahrenheit e Kelvin?

$\frac{\mathrm{TC}}{5} = \frac{\mathrm{TF} - 32}{9} \rightarrow \frac{36}{5} = \frac{\mathrm{TF} - 32}{9} \rightarrow 7{,}2 \cdot 9 = T_F - 32 \rightarrow 64{,}8 + 32 = T_F \rightarrow T_F = 96{,}8\ ^{\circ}\mathrm{F}$

$\frac{\mathrm{TC}}{\cancel{5}} = \frac{\mathrm{TK}-}{\cancel{5}} \rightarrow 36 = T_K - 273 \rightarrow 36 + 273 = T_K \rightarrow T_K = 309\ \mathrm{K}$

3. Numa das regiões mais frias do mundo, o termômetro indica – 76°F. Qual será o valor dessa temperatura na escala Celsius e Kelvin?

$\frac{\mathrm{TC}}{5} = \frac{\mathrm{TF} - 32}{9} \rightarrow \frac{\mathrm{TC}}{5} = \frac{\mathrm{TF} - 32}{9} \rightarrow \frac{\mathrm{TC}}{5} = \frac{-76 - 32}{9} \rightarrow \frac{\mathrm{TC}}{5} = \frac{-108}{9} \rightarrow T_C = -12 \cdot 5 \rightarrow T_C = -60\ ^{\circ}\mathrm{C}$

$\frac{\mathrm{TF} - 32}{9} = \frac{\mathrm{TK} - 273}{5} \rightarrow \frac{-76 - 32}{9} = \frac{\mathrm{TK} - 273}{5} \rightarrow \frac{-108}{9} = \frac{\mathrm{TK} - 273}{5} = -12 \cdot 5 = T_K - 273 \rightarrow$

$-60 + 273 = T_K \rightarrow T_K = +213\ \mathrm{K}$

4. Ao medir a temperatura de um gás, verificou-se que a leitura era a mesma, tanto na escala Celsius como na Fahrenheit. Qual era essa temperatura?

$\frac{\mathrm{TC}}{5} = \frac{\mathrm{TF} - 32}{9} \rightarrow \frac{\mathrm{TC}}{5} = \frac{\mathrm{TC} - 32}{9} \rightarrow \frac{\mathrm{T}}{5} = \frac{\mathrm{T} - 32}{9} \rightarrow 9 \cdot T = (T - 32) \cdot 5 \rightarrow 9T = 5T - 160 \rightarrow$

$9T - 5T = -160 \rightarrow 4T = -160 - 160 \rightarrow T = \frac{-160}{4} \rightarrow T = -40\ ^{\circ}\mathrm{C}$

Calorimetria

Na Física, a área que estuda a energia térmica em transição (calor) é a calorimetria. Como já vimos, calor é uma forma de energia em trânsito, ou seja, é a energia transferida de um corpo com maior temperatura para um corpo com menor temperatura.

Diversas são as fontes de calor utilizadas pelo homem, podemos considerar como principais o Sol, a Terra, as reações químicas, o atrito e a energia nuclear. Portanto, o calor é a energia mais útil e indispensável.

A unidade de medida para quantidade de calor é a caloria (cal), sabendo que essa é a quantidade de calor necessária para aumentar a temperatura de 1 g de água de 14,5 °C a 15,5 °C, sob pressão normal.

No SI, a unidade de quantidade de calor é o joule (J). E a relação existente entre a caloria e o joule é:

$$1 \text{ cal} = 4{,}186 \text{ J}$$

Também, podemos utilizar o quilocaloria múltiplo de caloria que equivale a:

$$1 \text{ kcal} = 1.000 \text{ cal} = 10^{-3} \text{ kcal}$$

Capacidade térmica de um corpo: é o quociente entre a quantidade *Q* de calor recebida ou cedida por um corpo e a correspondente variação de temperatura Δt.

$$\mathbf{C} = \frac{Q}{\Delta t}$$

Sua unidade de medida no Si é dada por J/K ou cal/°C.

Calor sensível: é aquele que provoca apenas variação na temperatura do corpo, sem que aconteça mudança no seu estado de agregação, ou seja, se o corpo é sólido, continua sólido, e o mesmo acontece com os estados líquidos e gasosos.

Calor latente: essa forma de calor, diferente do calor sensível, quando fornecido energia térmica a uma substância, observamos que sua temperatura não varia, porém seu estado de agregação se modifica. É a grandeza física que informa a quantidade de energia térmica (calor) que uma unidade de massa de uma substância deve receber ou perder para que ela mude de estado físico.

Para calcularmos o calor latente (L) de uma substância, dividimos a quantidade de calor (Q) que essa substância deve perder ou receber pela massa (m) dessa mesma substância. Assim, temos:

$$L = \frac{Q}{m}$$

Dizemos que o calor latente de um corpo é positivo quando esse recebe calor é negativo quando está perdendo calor. Sua unidade de medida no sistema internacional (SI) é o joule por quilograma (J/kg), comumente utiliza-se a caloria por grama (cal/g).

Calor específico: o calor específico de um corpo depende de sua massa e da substância que o compõe. A relação entre a capacidade térmica de um corpo e sua massa é uma constante, denominada calor específico. No SI, o calor específico é dado por J/kg · K ou J/kg ·°C, isto é, é a quantidade de calor que 1 grama de uma substância cede ou recebe para que sua temperatura se altere de 1 °C.

A seguir, algumas substâncias e seus respectivos calores específicos:

Substância	**C (cal/g°C**
Alumínio	0,219
Água	1,000
Álcool	0,590
Cobre	0,093
Chumbo	0,031
Estanho	0,055
Ferro	0,119
Gelo	0,550
Mercúrio	0,330
Ouro	0,031
Prata	0,056
Vapor d’água	0,480
Zinco	0,093

Podemos dizer que o calor específico corresponde à capacidade térmica por unidade de massa:

$$c = \frac{C}{m}$$

Como C = $\frac{\Delta Q}{\Delta\theta}$, temos:c = $\frac{\Delta Q}{m\Delta\theta}$ $\rightarrow \Delta Q = mc\Delta\theta$

Princípio da igualdade das trocas de calor

A quantidade de calor (ΔQ) trocada entre os corpos é tal que a soma da quantidade de calor recebida com a quantidade de calor cedida é nula:$\Delta Q_{recebida} + \Delta Q_{cedida} = 0 \rightarrow \Delta Q_{recebida} = -\Delta Q_{cedida}$

Exemplos:

1. Sabendo que 1 cal = 4,18 J, transforme:

a) 20 kcal em joule: $20 \cdot 10^3 \cdot 4{,}18$ = 83 600 J;

b) 8 000 J em caloria: $\frac{8\,000}{4{,}18}$ = 1 913,9 cal.

2. Um bloco de cobre com 200 g sofre um aquecimento de 25 ℃ para 70 ℃. O calor específico do cobre é igual a 0,093 cal/g ·℃.

Dados: m = 200 g; t_1 = 25 ℃; t_2 = 70 ℃ ; c = 0,093 cal/g ·℃

a) Qual a quantidade de calor recebido pelo bloco?

$Q = mc\Delta\theta \rightarrow Q = 200 \cdot 0{,}093 \cdot 45 \rightarrow Q = 837$ cal

b) Determine a capacidade térmica do bloco.

$C = m \cdot c \rightarrow C = 200 \cdot 0{,}093 \rightarrow C = 18{,}6$ cal/℃

3. Sabendo que o calor específico do ferro é de aproximadamente 0,1 cal/g℃, calcule a quantidade de calor para elevar 15 ℃ a temperatura de um pedaço de 80 g desse material.

Dados: c = 0,1 cal/g℃; Δt = 15 ℃; m = 80 g

$Q = mc\Delta t \rightarrow Q = 80 \cdot 0{,}1 \cdot 15 \rightarrow Q = 120$ cal

4. (UFPel/RS) Um médico, após avaliação criteriosa, recomenda a um paciente uma dieta alimentar correspondente a 1 200 cal/dia, fornecendo-lhe uma lista de alimentos com as respectivas "calorias". (Espera o médico que, com esse regime, a pessoa, pelo menos, não engorde!!!)

Os médicos utilizam, na realidade a "grande caloria", que vale 1 000 cal utilizadas na Física, ou seja, esse regime é, na verdade, de 1 200 000 cal/dia.

Com base nesses dados e considerando g = 10 m/s^2; 1 cal = 4,2 J; $c_{água}$ = 1 cal/g℃, responda:

a) Qual a potência média mínima (em watts) que a pessoa mencionada deverá dissipar, ao longo de suas atividades diárias, para, pelo menos, não ganhar massa?

Q = 1 200 000 cal/dia

$\frac{1\text{ cal}}{1\,200\,000\text{ cal}}\frac{4{,}2\text{ J}}{x} \rightarrow 1\,200\,000 \,.\, 4{,}2 = x \rightarrow x = 5\,040\,000$ J

1 dia = 24 horas = $24 \cdot 3\,600$ s = 86 400 s

P = $\frac{\text{trabalho}}{\text{tempo}} \rightarrow$ P = $\frac{5\,040\,000}{86\,400} \rightarrow$ P = 58,3 W

b) Se essa energia pudesse ser empregada para aquecer a água de 10 ℃ a 60 ℃, que massa de água (em gramas) seria utilizada?

$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \rightarrow 1\,200\,000 = m \cdot 1 \cdot 50 \rightarrow \frac{1\,200\,000}{50} = m \rightarrow m = 24\,000$ g

5. (FMTM/MG) Uma barra de chocolate de 100 g pode fornecer ao nosso organismo cerca de 470 kcal.

Dados: m = 100 g; Q = 470 kcal = 470 000 cal; $c_{água}$ = 1 cal/g ·℃; g = 10 m/s^2

a) Se essa quantidade de calor fosse transferida à água a 0 ℃, na fase líquida, que massa de água poderia ser levada a 100 ℃?

$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \rightarrow 470\,000 = m \cdot 1 \cdot 100 \rightarrow \frac{470\,000}{100} = m \rightarrow m = 4\,700$ g

b) Se uma pessoa de massa 80 kg quisesse consumir essa energia subindo uma escadaria cujos degraus têm 25 cm de altura, quantos degraus ela deveria subir?

$\frac{1\ \text{cal}}{470\ 000\ \text{cal}}\ \frac{4{,}2\ \text{J}}{\text{x}} \rightarrow$ x = 470 000 · 4,2 → x = 1 974 000 J

$\tau = \text{mgh} \rightarrow$ 1 974 000 = 80 · 10 · h → $\frac{1\ 974\ 000}{800} \rightarrow$ h = 2 467,5 m

$\frac{1\ \text{degrau}}{\text{x}}\ \frac{0{,}25\ \text{m}}{2\ 467{,}5\ \text{m}} \rightarrow$ 2 467,5 = 0,25 · x → x = $\frac{2\ 467{,}5}{0{,}25} \rightarrow$ x = 9 870 degraus

6. Uma xícara de massa de 50 g está a 34 ℃. Colocam-se nela 250 g de água a 100 ℃. Verifica-se que no equilíbrio térmico a temperatura é 94 ℃. Admitindo que só haja troca de calor entre a xícara e a água, determine o calor específico do material de que a xícara é constituída, sabendo que o calor específico da água é 1 cal/g · ℃.

Os dados foram colocados em uma tabela:

	m	**c**	**t_f**	**t_i**
xícara	50	c	94	34
água	250	1	94	100

Ao utilizarmos o princípio da igualdade das trocas de calor, teremos:

$Q_{xícara} + Q_{água} = 0 \rightarrow mc\Delta t + mc\Delta t = 0$

50 · c · 60 + 250 · 1 · (– 6) = 0

3 000 · c – 1 500 = 0

3 000 · c = 1 500

c = $\frac{1\ 500}{3\ 000} \rightarrow$ c = 0,5 cal/g ·℃

Fases da matéria

A matéria pode se apresentar em três fases distintas: sólida, líquida e gasosa.
Supondo que a matéria seja constituída de moléculas, podemos explicar as fases pelo fato destas moléculas estarem ligadas entre si por forças de atração (elétricas) que atuam como mola, fazendo com que as moléculas vibrem em torno de uma posição de equilíbrio.

Assim, podemos perceber que no estado sólido as moléculas estão muito próximas, permitindo dizer que a força de atração existente é muito intensa. Por isso, as moléculas nos sólidos não podem se soltar, tendo somente movimento vibratório, o que faz com que os sólidos tenham formas e volumes definidos.
Já, no estado líquido, percebemos que as forças de atração diminuem permitindo uma maior distância entre as moléculas e, com isso, maior movimentação, ocasionando nessa fase que um corpo tenha volume próprio, embora não tenha forma própria.
Por fim, o estado gasoso permite um grande espaçamento entre as moléculas, pois as forças de atração têm intensidade muito pequena, permitindo dizer que os gases não possuem forma nem volume e que ocupam todos os espaços disponíveis.
A influência da temperatura nos estados físicos faz com que a agitação das moléculas aumente ou diminua, fazendo com que as forças de atração sejam vencidas e com isso haja mudanças de estado.
O esquema abaixo permite observar como acontecem as mudanças de estado:

A vaporização pode ocorrer por meio de dois processos: evaporação e ebulição. A evaporação é uma vaporização lenta, enquanto a ebulição só acontece a uma determinada temperatura para cada substância.
Mantendo-se constante a pressão, a fusão e a ebulição de uma substância pura ocorrem sempre nas mesmas temperaturas, denominadas ponto de fusão e ponto de ebulição. Além disso, durante a fusão ou a ebulição, a temperatura permanece constante.

Por meio da tabela abaixo, podemos observar os pontos de fusão (t_f) e de ebulição (t_e) e os calores latentes de fusão (L_F) e de vaporização (L_V) para algumas substâncias.

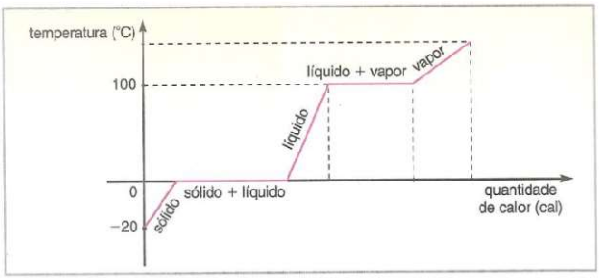
Podemos observar que a solidificação e a liquefação (condensação rápida) ocorrem nas mesmas temperaturas que a fusão e a ebulição. Se um corpo absorve calor ΔQ para fundir-se, ele cede o mesmo calor ΔQ para solidificar-se. Da mesma forma, o calor absorvido na vaporização é igual ao cedido na condensação.

Temperaturas de mudanças de estado e calores latentes

Substância	t_f (°C)	L_F (cal/g)	t_e (°C)	L_V (cal/g)
água	0	80	100	540
álcool etílico	−114	24,9	79	204
chumbo	327	5,86	1 744	222
mercúrio	−39	2,82	357	65
nitrogênio	−210	6,09	−196	48
oxigênio	−219	3,30	−183	51
platina	1 775	27,2	—	—
prata	961	21,1	2 212	552

Curvas de aquecimento e de resfriamento

Se considerarmos dentro de um recipiente um bloco de gelo a temperatura de – 20 ℃, sob pressão normal e a ele fornecemos calor, percebemos que a temperatura inicial do bloco muda e atinge o ponto de fusão (0 ℃), ainda por um determinado tempo a temperatura do bloco permanece constante, mesmo havendo fornecimento de calor, até que a passagem do estado sólido para líquido esteja completa, o que denominamos fusão. O fornecimento de calor faz aumentar a temperatura do corpo, até que atinja a temperatura de ebulição (100 ℃), iniciando-se a transformação do líquido em vapor, com temperatura constante até a total transformação do líquido em vapor. Com isso, o calor fornecido servirá para um maior aquecimento do vapor de água que existe no recipiente.



O gráfico a seguir serve para mostrar a situação descrita anteriormente, denominada curva de aquecimento. Se pensarmos no processo inverso, ou seja, com a retirada de calor, o gráfico demonstrará a curva de resfriamento.

Transmissão do calor

São três as formas de transmissão do calor em decorrência de o calor passar de um corpo para outro devido à diferença de temperatura existente entre eles.

Condução: a propagação do calor no interior de um corpo sólido, aquecido irregularmente, ou entre corpos sólidos distintos em contato direto. No vácuo, não há condução, porque não há matéria. A agitação térmica vai depender da constituição atômica da substância.

Convecção: este processo é característico dos fluidos, em que inicialmente a região próxima à fonte de calor se aquece, levando a diminuição da densidade do fluido nessa região. Por conta da formação de correntes de convecção, que os ares-condicionados serão instalados em pontos elevados do cômodo e as lareiras ficam próximas ao chão (o ar frio, mais denso, desce; o ar mais quente, menos denso, sobe).

Irradiação: é o processo de transmissão de energia entre dois corpos que não precisa de um meio material para se propagar. Então, por ser o calor uma energia em trânsito, denominada energia radiante, é transportada por meios de ondas eletromagnéticas na frequência do infravermelho (aquelas que se transformam mais facilmente em calor quando absorvidas pelo receptor).

Exemplo:
1. Considere as seguintes proposiições:
I. Quando o calor se transfere através de um corpo por condução, essa energia se propaga em virtude da agitação atômica no material, sem que ocorra transporte de matéria no processo.
II. A transferência do calor nos líquidos é feita sobretudo por meio de correntes de condução, que se formam em virtude da diferença entre as densidades das partes mais quentes e mais frias do líquido.
III. A transferência de calor por radiação é feita por meio de ondas eletromagnéticas, que se propagam no vácuo.
Quais delas são verdadeiras? I e III – Falsa II (correntes de convecção).

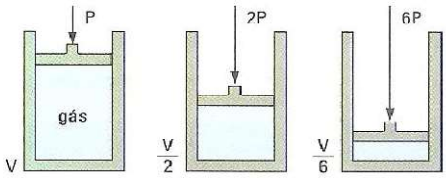
Gases
São fluidos no estado gasoso. O que os difere dos fluidos líquidos é que, quando colocados em um recipiente, estes têm a capacidade de ocupá-lo totalmente. A maior parte dos elementos químicos não-metálicos conhecidos são encontrados no seu estado gasoso, em temperatura ambiente. Suas moléculas se movimentam desordenadamente em todas as direções e sentidos, exercendo pressão sobre as paredes do recipiente, o que denominamos pressão do gás. Esta pressão tem relação com o volume e com a temperatura absoluta.

Modelo de gás ideal
O modelo de gás ideal está baseado nas seguintes hipóteses:
- gás é um conjunto de moléculas esféricas em movimento caótico, que se chocam elasticamente entre si e contra as paredes do recipiente que as contém;
- o volume total das moléculas é desprezível quando comparado com o volume ocupado pelo gás (e por isso o gás é altamente compressível);
- o número de moléculas, mesmo numa pequena porção de gás, é muito grande.

Portanto, estando o gás em equilíbrio, seu estado é caracterizado a partir das grandezas volume (V), pressão (P) e temperatura absoluta (T). Assim, no modelo de gás ideal temos:
- volume: o volume do gás é o volume do recipiente que o contém;
- pressão: devido a seu constante movimento caótico, as moléculas chocam-se continuamente contra as paredes do recipiente que as contém, disso resultando uma pressão sobre as paredes. O valor dessa pressão do gás é igual ao quociente entre a força média aplicada pelo gás às paredes e a área das paredes;
- temperatura: a temperatura absoluta do gás é diretamente proporcional à energia cinética média de suas moléculas.

Leis das transformações gasosas
Os gases reais apresentam um comportamento que se aproxima mais do gás perfeito quanto maior for sua temperatura e menor sua pressão.
- Lei de Boyle – Mariotte. Mantendo-se constate a temperatura (transformação isotérmica) de um gás, a pressão e o volume são inversamente proporcionais.

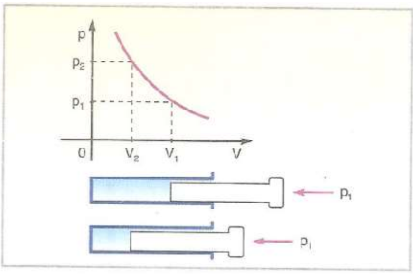
Observe o esquema da figura:



Portanto:
Em uma transformação isotérmica, a pressão de uma dada massa de gás é inversamente proporcional ao volume ocupado pelo gás.
p = $\alpha \cdot \frac{1}{V} \rightarrow pV = \alpha$ = constante

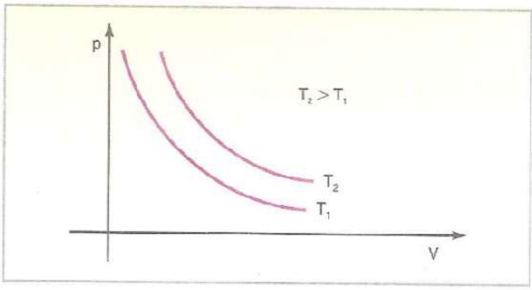
A constante α depende da massa e da natureza do gás, da pressão e das unidades usadas.

A representação gráfica da pressão em função do volume é uma hipérbole equilátera chamada isoterma.



$$\rightarrow \boxed{p_1V_1 = p_2V_2}$$

Sempre que aumentarmos a temperatura, verficaremos que o produto p · V torna-se maior e as isotermas se afastam da origem dos eixos (V, p).



Fundamentos da óptica geométrica: o ramo da Física que estuda a luz e os fenômenos luminosos é a óptica. Dentro da óptica geométrica é estudado o comportamento dos raios luminosos, sem que haja preocupação com a natureza da luz.

<u>Luz</u>: é um agente físico que gera em nossos olhos a sensação luminosa que nos permite ver os objetos.

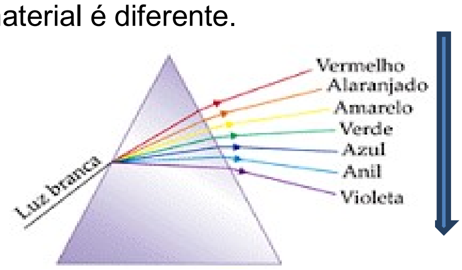
<u>Velocidade da luz</u>: o nosso cotidiano nos da a impressão de que a luz é instantânea, porém a luz se propaga com uma velocidade muito grande, no entanto finita. Sua velocidade está relacionada ao meio na qual ela se propaga.

No vácuo, sua velocidade é de $c = 3{,}0 \cdot 10^8$ m/s, 300 000 km/s.

A velocidade da luz num meio material depende do tipo de luz que se propaga, ou seja, em cada tipo de luz a velocidade de propagação num meio material é diferente.

Em ordem decrescente de velocidade, temos:

velocidade menor



<u>Cores</u>: na figura acima, percebemos a dispersão da luz branca num prisma de vidro e verificamos que a luz branca é o resultado da mistura de luzes de todas as cores. A luz, ao sofrer dispersão num prisma, é denominada policromática, pois contém todas as cores. Já a luz que não sofre dispersão é denominada monocromática.

<u>Fontes de luz</u>: há dois tipos de fontes de luz. Aquelas que emitem luz própria são consideradas fontes primárias, como o Sol, uma lâmpada acesa, uma chama. Aquelas que são visíveis, porque refletem a luz proveniente das fontes primárias, são denominadas fontes secundárias, ou seja, todos os corpos iluminados.

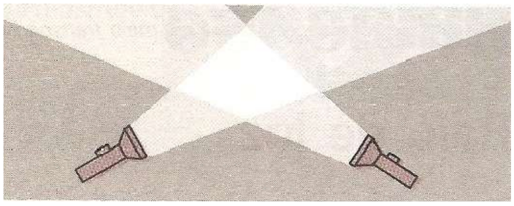
<u>Meios transparentes, translúcidos e opacos</u>: as substâncias ou meios encontrados na natureza se comportam de diferentes maneiras em relação à propagação da luz.

Meios transparentes são aqueles que permitem a propagação da luz através de si por distâncias consideráveis, de forma nítida. Exemplo: o ar, a água, o vidro etc.

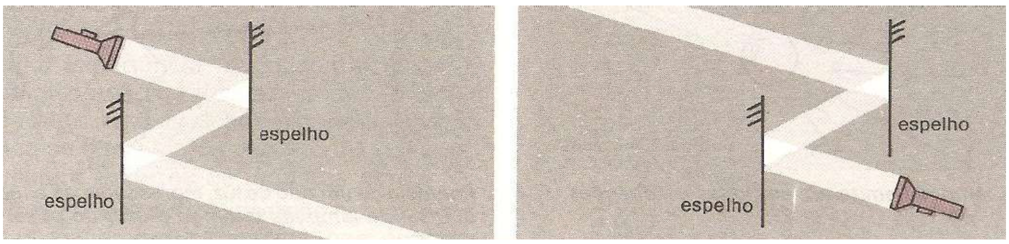
Meios translúcidos são aqueles que permitem a propagação da luz através de si, mas se espalha de modo que os corpos vistos através deles não possam ser identificados; não possuem nitidez. Exemplo: vidro fosco, papel de seda etc.
Meios opacos impedem a propagação da luz através de si, não permitindo a visualização dos objetos. Exemplo: madeira, concreto etc.
<u>Raio da luz</u>: representa a propagação da luz entre dois pontos.
Exemplo:
1. Sabendo que um ano-luz é a distância que a luz percorre no vácuo em um ano, calcule, em quilômetros, a distância percorrida pela luz em 2,5 anos. Suponha 1 ano = 365 dias.
1 ano = 365 dias = $365 \cdot 24$ horas = $365 \cdot 24 \cdot 60$ min = $365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60$ s →
1ano = 31 536 000 s
2,5 anos = $31\,536\,000 \cdot 2{,}5 = 78\,840\,000$ s
$\frac{1}{78\,840\,000}\frac{300\,000}{x} \rightarrow x = 78\,840\,000 \cdot 300\,000 \rightarrow x = 2{,}3652 \cdot 10^{13}$ km

2. A distância entre o Sol e a Terra é de 150 milhões de quilômetros. Calcule o tempo de percurso da luz do Sol à Terra.
Velocidade da luz no vácuo: $c = 3{,}0 \cdot 10^8$ m/s
Distância do Sol à Terra: $150 \cdot 10^6$ km, em metros $150 \cdot 10^9$ m
$c = \frac{d}{\Delta t} \rightarrow 3{,}0 \cdot 10^8 = \frac{150 \cdot 10^9}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = \frac{150 \cdot 10^9}{3{,}0 \cdot 10^8} \rightarrow \Delta t = 50 \cdot 10 \rightarrow \Delta t = 500$ s
<u>Princípios da óptica geométrica</u>: há três princípios.
- Da propagação retilínea da luz: nos meios homogêneos a luz se propaga em linha reta.

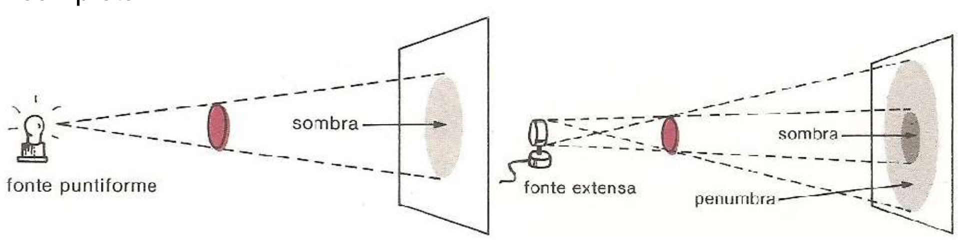
- Da independência dos raios de luz: um raio de luz não interfere na propagação de outro raio de luz.



- Da reversibilidade dos raios de luz: quando se inverte o sentido de propagação da luz, sua trajetória não muda.



Sombra e penumbra: quando um objeto está iluminado por uma pequena fonte de luz – definida como pontual ou puntiforme –, a sombra projetada por ele é nítida, definida. Já no caso de uma fonte extensa, há uma região de sombra e uma região de penumbra que acontecem ao redor da sombra mais clara e incompleta.

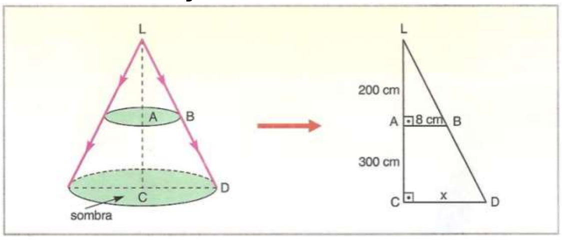


Exemplos:

1. Uma lâmpada cujas dimensões são despreziveis está localizada no teto de uma sala de 5 m de altura. Um corpo de forma circular, de raio 8 cm, é colocado a 2 m do teto e paralelamente a ele. O centro do corpo e a lâmpada estão na mesma vertical. Determine a área da sombra projetada no chão da sala.

Dados: h_S = 5 m (500 cm); r = 8 cm; h_C = 2 m (200 cm)

Por semelhança temos:



$\frac{x}{8} = \frac{500}{200} \rightarrow 200 \cdot x = 8 \cdot 500 \rightarrow$

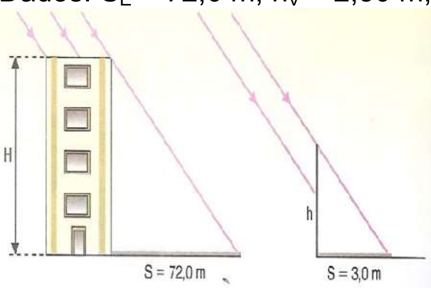
$x = \frac{4\,000}{200} \rightarrow x = 20$ cm

A área da sombra projetada é:

$S = \pi x^2 \rightarrow S = \pi \cdot 20^2 \rightarrow S = 400\pi\ cm^2$

2. Um edifíciio iluminado pelos raios solares projeta uma sombra de comprimento L = 72,0 m. Simultaneamente, uma vara vertical de 2,50 m de altura, colocada ao lado do edifíciio, projeta uma sombra de comprimento l = 3,00 m. Calcule a altura do edifício

Dados: S_E = 72,0 m; h_V = 2,50 m; S_V = 3,00 m



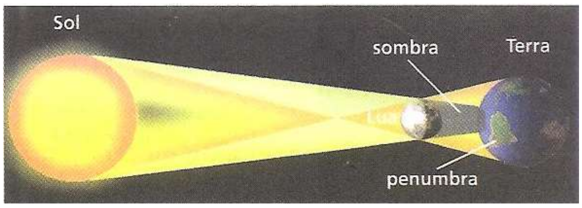
$\frac{H}{h} = \frac{S_E}{S_V} \rightarrow \frac{H}{2,5} = \frac{72,0}{3,0} \rightarrow$

$3,0 \cdot H = 2,5 \cdot 72,0 \rightarrow$

$H = \frac{180,0}{3,0} \rightarrow$

H = 60,0 m

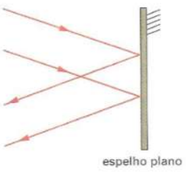
Eclipses do Sol e da Lua: são fenômenos de formação de sombra. Os solares acontecem quando a Lua se interpõe entre o Sol e a Terra, ficando esta na penumbra, pois em vez de luz, recebe o cone de sombra da Lua projetada pelo Sol.



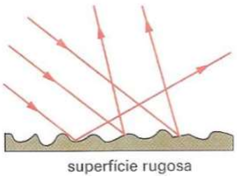
Já nos eclipses lunares, a Terra se coloca entre o Sole a Lua. Durante sua trajetória, a Lua fica em eclipse total enquanto percorre o cone da sombra que a Terra projeta.

Fenômenos ópticos na fronteira entre dois meios: a reflexão regular, a difusão ou reflexão difusa, a refração e a absorção da luz são considerados fenômenos ópticos.

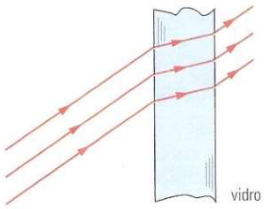
Reflexão: a luz incide na fronteira e retorna ao mesmo meio onde se propagava.



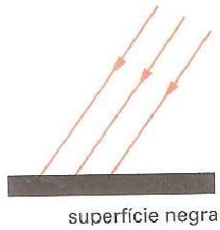
Difusão ou reflexão difusa: ao receberem um feixe cilíndrico de luz proveniente de uma fonte qualquer, determinadas superfícies espalham os raios de luz, difundindo-os.



Refração: a luz atravessa a fronteira e passa a se propagar em outro meio.

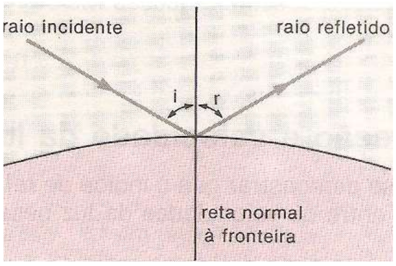


Absorção da luz: alguns corpos que rebecem luz, em vez de refletirem ou difundirem a luz, absorvem-na em grande parte.



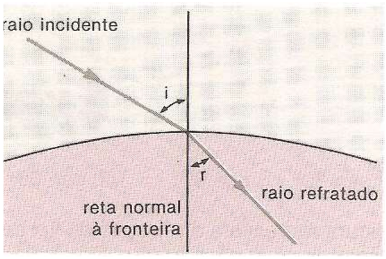
Leis da reflexão:
- O raio incidente, a reta normal e o raio refletido estão no mesmo plano.
- O ângulo de incidência **i** é igual ao ângulo de reflexão **r**.

i = r



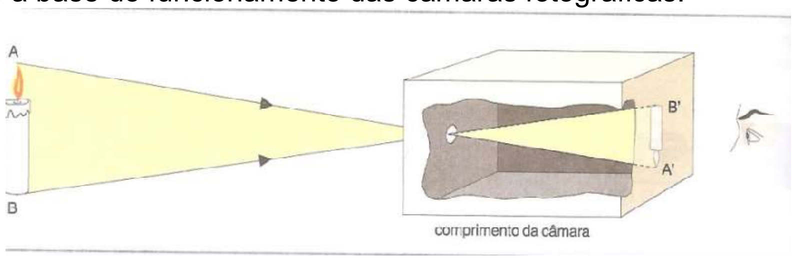
Leis da refração:
- O raio de incidência, a reta normal e o raio reflratado estão no mesmo plano.
- A razão entre os senos dos ânguos de incidência e de refração é constante (Lei de Snell-Descartes).

  $\frac{\text{sen i}}{\text{sen r}} = n_{2,\ 1}$ (a constante $n_{2,\ 1}$ depende dos meios 1 e 2 e é denominado índice de refração do meio 2 em relação ao meio 1).

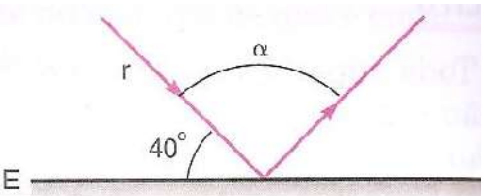


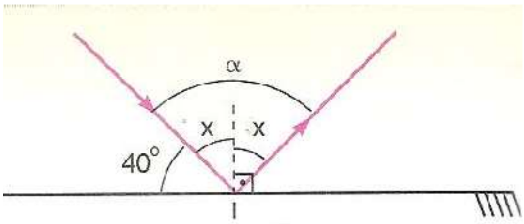
Índice de refração absoluto: o índice de refração absoluto de um meio é o índice de refração desse meio em relação ao vácuo. O índice de refração absoluto de qualquer meio material é maior que 1.

Câmara escura: ao colocarmos um corpo luminoso AB diante de um orifício *O* de uma das faces de uma caixa de paredes opacas, verificamos que sobre a face oposta à do orifício se forma a imagem A'B' invertida do corpo luminoso.
Este dispositivo denominado câmara escura de orifício mostra que a trajetória da luz é retilínea.
O fenômeno descrito é a base do funcionamento das câmaras fotográficas.



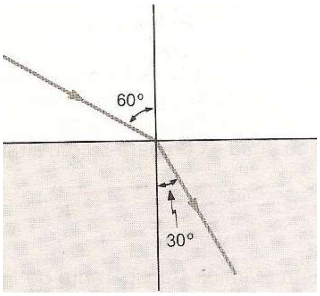
Exemplos:
1. O esquema representa um raio de luz *r* que incide num espelho plano *E* sendo refletido. Determine quantos graus mede o ângulo de incidência e qual o valor do ângulo α.





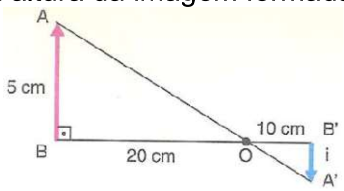
Da figura, temos: i = r e r = x
Logo: 40º + x = 90º → x = 90º – 40º → x = 50º
α = 2x → α = 2 · 50º → α = 100º

2. Um feixe de luz proveniente do vácuo, incide na superfície plana de um bloco de vidro, com ângulo de incidência de 60º. O ângulo da refração é de 30º. Determinie a velocidade da luz nesse vidro.
O índice de refração absoluto desse vidro é:



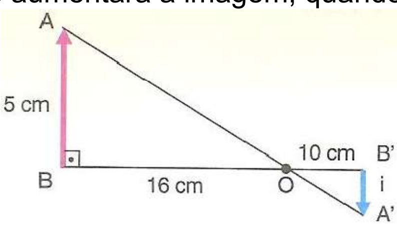
n = $\frac{\text{sen } 60^o}{\text{sen } 30^o}$ → n = $\frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{\frac{1}{2}}$ → n = $\frac{\sqrt{3}}{2}.\frac{2}{1}$ →
n = $\sqrt{3}$ → n ≅ 1,7
Sendo v a velocidade da luz nesse vidro, temos:
n = $\frac{c}{v}$ →1,7 = $\frac{3{,}0\,.\,10^8}{v}$ → v = $\frac{3{,}0\,.\,10^8}{1{,}7}$ →
v ≅ 1,7 · 10^8 m/s

3. Um objeto luminoso AB, de 5 cm de altura, está a 20 cm de distância de uma câmara escura de profundidade 10 cm.
a) Calcule a altura da imagem formada.



$\frac{5}{20}$ =$\frac{i}{10}$ → 5 · 10 = 20 · i → 50 = 20 · i →
i = $\frac{50}{20}$ → i = 2,5 cm

b) Quanto aumentará a imagem, quando o objeto se aproximar 4 cm da câmara?

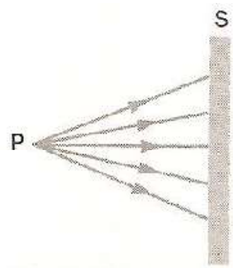


$\frac{5}{16}$ =$\frac{i}{10}$ → 5 · 10 = 16 · i → 50 = 16 · i →
i = $\frac{50}{16}$ → i = 3,125 cm
Logo, o aumento da imagem é de:
3,125 – 2,5 = 0,625 cm

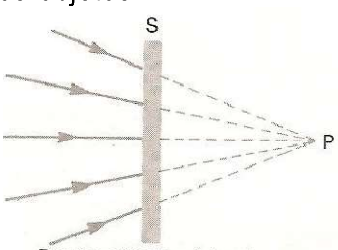
Sistemas ópticos → ponto-objeto e ponto-imagem:
Os sistemas físicos que alteram a direção dos raios de luz são denominados sistemas ópticos, que se definem em ponto-objeto, quando a intersecção dos raios de luz incidem no sistema, e ponto-imagem, quando o ponto de intersecção dos raios de luz emergem do sistema.

No sistema óptico S existem três tipos de pontos-objetos:
- quando os raios incidentes efetivamente passam pelo ponto P, este é chamado ponto-objeto real;

- quando somente os prolongamentos dos raios incidentes se cruzam no ponto P, este é um ponto-objeto virtual;

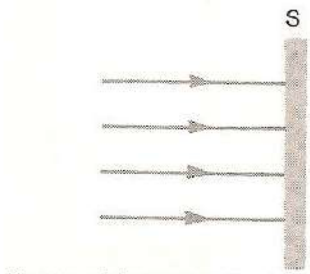


Ponto-objeto real.



Ponto-objeto virtual.

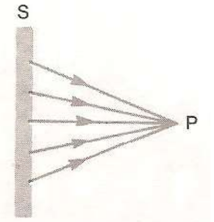
- quando os raios incidentes são paralelos, dizemos que o ponto-objeto está no infinito, também denominado ponto-objeto impróprio.



Ponto-objeto impróprio.

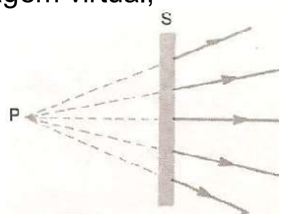
Também existem três pontos-imagens:

- quando os raios emergentes efetivaente passam pelo ponto P, este é denominado ponto-imagem real;



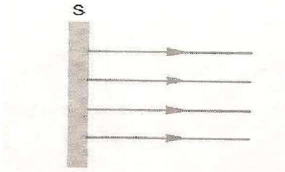
Ponto-imagem real.

- quando somente os prolongamentos dos raios emergentes se cruam no ponto P, este é o ponto-imagem virtual;



Ponto-imagem virtual.

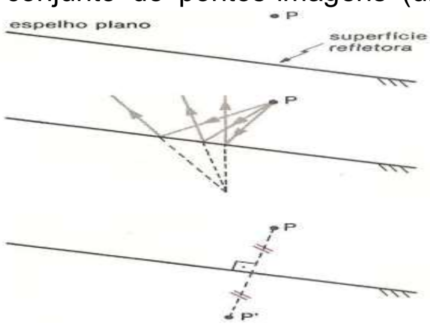
- quando os raios emergentes são paralelos, dizemos que o ponto-imagem está no infinito, denominado também ponto-imagem impróprio.



Ponto-imagem impróprio

Denomina-se sistema estigmático o sistema que a um único ponto-objeto conjuga um único ponto-imagem.

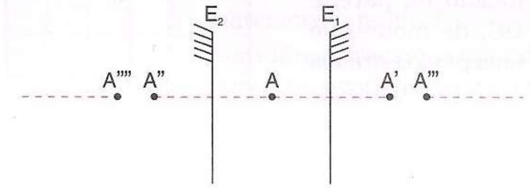
Se a partir de um único ponto-objeto obtivermos um conjunto de pontos-imagens (uma mancha luminosa), teremos um sistema astigmático.



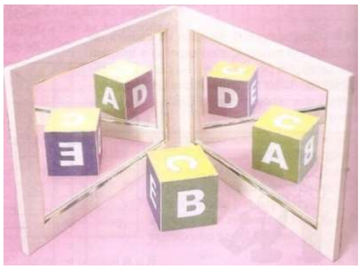
Espelho plano: para um ponto-objeto real, o espelho plano gera um ponto-imagem virtual, simétrico ao ponto-objeto em relação ao plano do espelho.

Associação de dois espelhos planos: quando a luz refletida por um espelho atinge outro, dizemos que estão associados. Há dois tipos de associação:

- em paralelo: cada imagem de um espelho faz papel de objeto para o outro espelho, com isso o número de imagens de um ponto *P* qualquer é infinito.

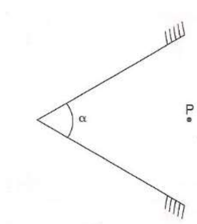


- em ângulo (angular): seja α o ângulo formado por dois espelhos planos com as superfícies refletoras se defrontando, dizemos que a quantidade de imagens *N* de um ponto objeto *P*colocado entre os dois espelhos pode ser definida por:



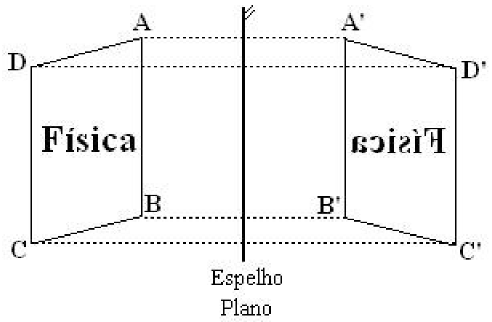
$$N = \frac{360^o}{\alpha} - 1$$

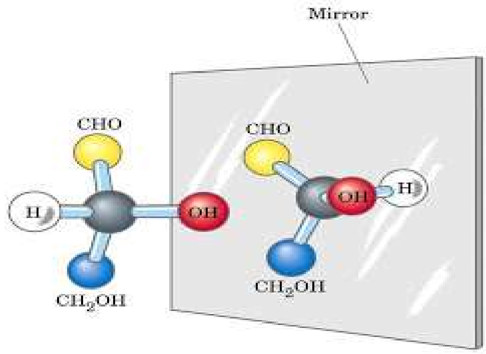
O ângulo α deve ser expresso em graus. A validade da expressão anterior é dada para os seguintes casos:



- $\frac{360^o}{\alpha}$quando for um número par: o ponto objeto P pode ficar em qualquer posição entre os dois espelhos.
- $\frac{360^o}{\alpha}$quando for um número ímpar: o ponto objeto P está no plano bissetor (Denomina-se plano bissetor dum ângulo diedro o plano que divide este diedro em dois iguais, nesse caso, o plano bissetor forma um ângulo de 45° com os planos vertical e horizontal de α.).

Quando estamos diante de um espelho plano, a imagem refletida parece ser igual a nós. Na verdade, num espelho plano, objeto e imagem não se sobrepõem, ou seja, o lado esquerdo do seu corpo corresponde ao lado direito da imagem e vice-versa. Esse fenômeno é denominado enantiomorfismo (imagens enantiomorfas).





Ball-and-stick models

Exemplos:
1. Calcule o número de imagens formadas de um objeto colocado no plano bissetor de dois espelhos planos angulares que formam entre si um ângulo de 45º.

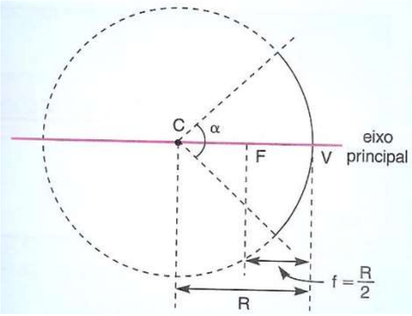
$N = \frac{360^o}{\alpha} - 1 \rightarrow N = \frac{360^o}{45^o} - 1 \rightarrow N = 8 - 1 \rightarrow N = 7$ imagens

2. Um diretor de cinema deseja obter uma cena com 15 bailarinas espanholas. Para tanto, ele dispõe de 3 bailarinas e dois espelhos planos. Para a obtenção de tal cena, os espelhos planos devem ser dispostos formando entre si um ângulo α. Determine α.

Dados: 15 – 3 = 12 imagens → 12 : 3 = 4 imagens cada bailarina.

$N = \frac{360^o}{\alpha} - 1 \rightarrow (4 + 1) \cdot \alpha = 360^o \rightarrow 5 \cdot \alpha = 360^o \rightarrow \alpha = \frac{360^o}{5} \rightarrow \alpha = 72^o$

Espelhos esféricos: denominamos espelhos esféricos uma calota espelhada em uma face.



F: foco principal
V: vértice
C: centro de curvatura
F: distância focal
R: raio de curvatur
θ: ângulo de abertura

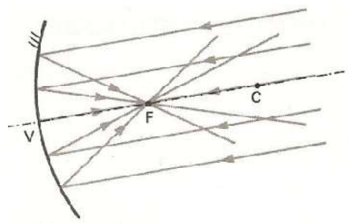
Condições de nitidez de Gauss: os espelhos esféricos podem fornecer imagens distorcidas, denominadas aberrações esféricas. Para que isso não aconteça, algumas condições são necessárias:
- o espelho deve ter pequeno ângulo de abertura (θ< 10º);
- os raios incidentes devem ser próximos ao eixo principal;
- os raios incidentes devem ser pouco inclinados em relaçã ao eixo principal.

Tipos de espelhos esféricos: se a superfície refletora for a face interna, temos um espelho esférico côncavo; se for a face externa, temos um espelho esférico convexo.

Espelho esférico côncavo (exemplo: espelho de aumento).
Espelho esférico convexo (exemplo: espelho retrovisor de motocicleta).

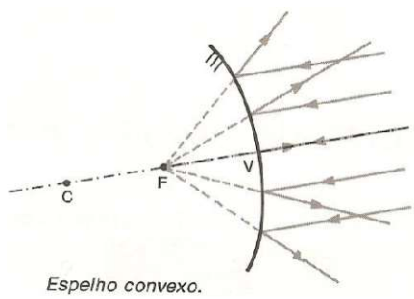
Foco de um espelho esférico: é o resultado da incidência de um conjunto de raios paralelos ao eixo principal.

Nos espelhos côncavos, todos os raios refletidos passam por um mesmo ponto. Esse ponto é o foco do espelho. O foco está localizado no ponto médio entre o vértice e o centro de curvatura.



Espelho côncavo.

Nos espelhos convexos, a luz refletida se dispersa de tal forma que os prolongamentos dos raios passam por um mesmo ponto. Esse ponto é o foco do espelho, que se localiza no ponto médio entre o vértice e o centro de curvatura.



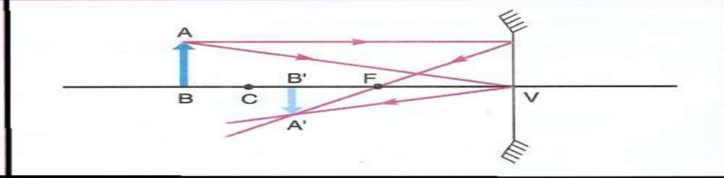
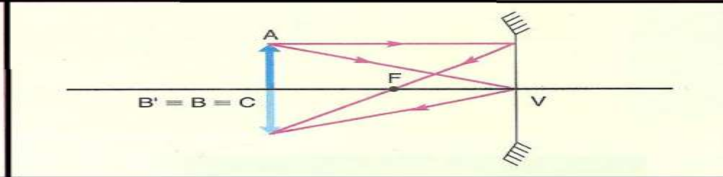
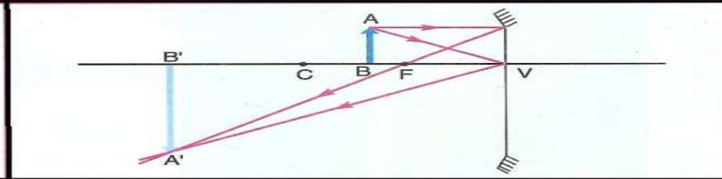
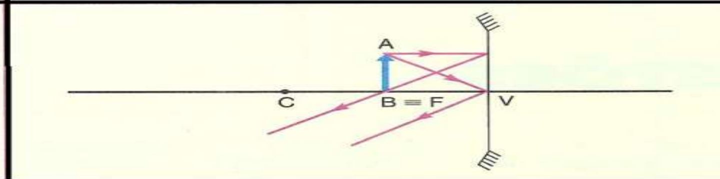
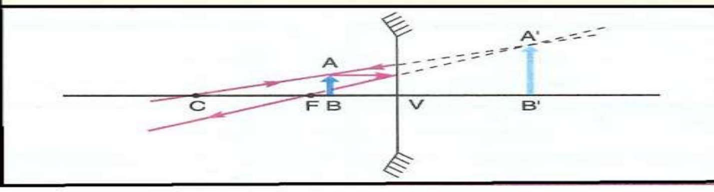
Espelho convexo.

Assim, o foco de um espelho côncavo é real, enquanto que o foco de um espelho convexo é virtual.

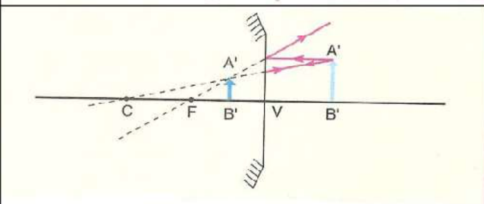
A distância focal de um espelho é a distância entre o vértice e o foco. Sendo R o raio de curvatura do espelho, a distância focal é $\frac{R}{2}$.

Construção geométrica das imagens

Espelho côncavo: temos cinco tipos de imagens:

POSIÇÃO DO OBJETO AB	ESPELHO CÔNCAVO	CARACTERÍSTICAS DA IMAGEM A'B'
Objeto extenso à esquerda do ponto C		Real Menor Invertida
Objeto extenso sobre C		Real Igual Invertida
Objeto extenso sobre C e F		Real Invertida Maior
Objeto extenso sobre F		A imagem é denominada imprópria, pois os raios refletidos são paralelos.
Objeto extenso sobre F e V		Virtual Direita Maior

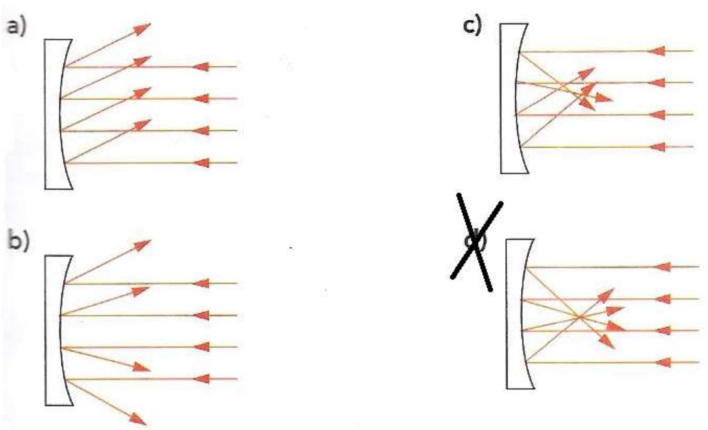
Espelho convexo: temos um único tipo de imagem.

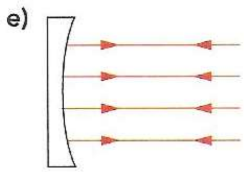
POSIÇÃO DO OBJETO AB	ESPELHO CONVEXO	CARACTERÍSTICAS DA IMAGEM A'B'
Objeto extenso localizado na frente do espelho.		Virtual Menor Direita

Exemplos:

1. Em lojas, supermercados, ônibus etc, em geral são colocados espelhos que permitem a visão de grande parte do ambiente. Espelhos dessa natureza costumam ser colocados também nos retrovisores de motos e carros, de modo a aumentar o campo de visão. Esses espelhos são côncavos ou convexos?
Resposta: **Espelhos Convexos**, pois permitem a visão de grande parte do ambiente e fornecem, de objetos reais, imagens virtuais, direitas e menores que o objeto.

2. "Issac Newton foi o criador do telescópio refletor. O mais caro desses instrumentos até hoje fabricados pelo homem, o telescópio espacial Hubble (1,6 bilhões de dólares), foi colocado em órbita terrestre em 1990, apresentou em seu espelho côncavo, dentre outros, um defeito de fabricação que impede a obtenção de imagens bem definidas das estrelas distantes." (*O Estado de S. Paulo, 1/8/1991, p.14.*)
Qual das figuras melhor representaria o funcionamento perfeito do espelho do telescópio?



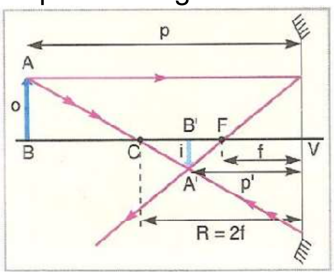


Como os astros estão bem distantes, o feixe de luz emitido por eles é praticamente paralelo. Portanto, ao incidirem no espelho, paralelamente ao eixo principal, sofrerão reflexão e cruzarão no foco do espelho.
Resposta: Letra d

3. Para fazer a barba de maneira mais eficiente, um jovem estudante resolve comprar um espelho esférico que aumenta duas vezes a imagem do seu rosto, quando ele se coloca a 50 cm dele. Que tipo de espelho ele deve usar?
Resposta: Deve usar **espelho côncavo**, porque somente imagens reais podem ser projetadas sobre uma parede.

Equação de Gauss e equação do aumento linear transversal

Observemos o espelho da figura:



Em que:
p = distância do objeto ao vértice (abscissa do objeto)
p' = distância da imagem ao vértice (abscissa da imagem)
o = altura do objeto
i = altura da imagem
f = distância focal
R = raio de curvatura (R = 2f)

Por semelhança de triângulos, podemos demonstrar que:

equação de Gauss $\boxed{\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}}$ e $\boxed{A = \frac{i}{o} = \frac{-p'}{p}}$ equação do aumento linear transversal (A)

Considerando sempre o objeto real (p > 0), nestas equações temos:

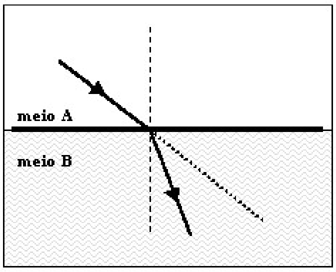
	imagem real $\rightarrow p' > 0$
espelho côncavo $\rightarrow f > 0$	imagem virtual $\rightarrow p' < 0$
espelho convexo $\rightarrow f < 0$	imagem direita $\rightarrow i > 0$
	imagem invertida $\rightarrow i < 0$

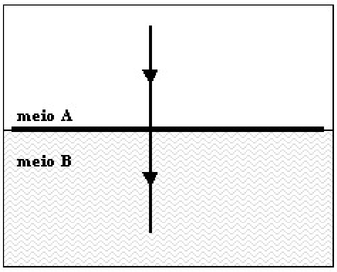
Exemplos:

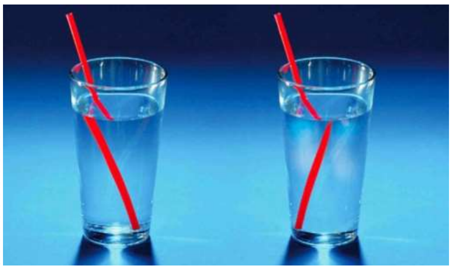
1. Um objeto de 6 cm de altura está localizado à distância de 30 cm de um espelho esférico convexo, de 40 cm de raio. Calcule:
Dados: o = 6 cm; p = 30 cm; R = – 40 cm → f = – 20 cm (convexo)
a) a posição da imagem;
$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \rightarrow -\frac{1}{20} = \frac{1}{30} + \frac{1}{p'} \rightarrow \frac{-3p'}{60\,p'} = \frac{2p'}{60\,p'} + \frac{60}{60\,p'} \rightarrow -3p' - 2p' = 60 \rightarrow p' = -\frac{60}{5} \rightarrow p' = -12$ cm
b) a altura da imagem;
$\frac{i}{o} = \frac{p'}{p} \rightarrow \frac{i}{6} = \frac{12}{30} \rightarrow 30 \cdot i = 6 \cdot 12 \rightarrow i = \frac{72}{30} \rightarrow i = 2{,}4$ cm

c) aumento linear transversal.
$A = \frac{i}{o} \rightarrow A = \frac{2{,}4}{6} \rightarrow A = 0{,}4$

Refração da luz: entendemos por refração da luz a passagem de um meio para outro. Quando a incidência for oblíqua, a refração é acompanhada de desvio de direção, o que não acontece com a incidência perpendicular. Um exemplo pode ser o de um canudinho dentro de um copo com água.







Índice de refração absoluto: chamamos índice de refração absoluto (n) de um meio para determinada luz monocromática a razão entre a velocidade da luz no vácuo (c) e a velocidade da luz no meio considerado (v):

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

Índice de refração relativo: a relação entre as diferentes velocidades da luz ao passar de um meio (1) para outro meio (2) pode ser expressa por um índice de refração relativo.

$$\frac{n_A}{n_B} = \frac{v_B}{v_A}$$

Exemplos:

1. A velocidade de propagação da luz num vidro é de $1{,}5 \cdot 10^8$ m/s. Calcule o índice de refração desse vidro. Dado: $v_L = 3 \cdot 10^8$ m/s

$n = \frac{c}{v} \rightarrow n = \frac{3\ .\ 10^8}{1{,}5\ .\ 10^8} \rightarrow n = 2$

2. Calcule a velocidade da luz no vidro, sabendo que a sua velocidade na água é $2{,}2 \cdot 10^8$ m/s e o índice de refração da água em relação ao vidro é 0,90. Dados: $v_{água} = 2{,}2 \cdot 10^8$ m/s; $\frac{n_{água}}{n_{vidro}} = 0{,}90$

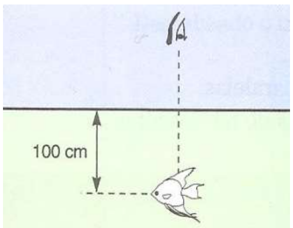
$\frac{n_A}{n_B} = \frac{v_B}{v_A} \rightarrow 0{,}90 = \frac{v_{vidro}}{2{,}2\ .10^8} \rightarrow 0{,}90 \cdot 2{,}2 \cdot 10^8 = v_{vidro} \rightarrow v_{vidro} = 1{,}98 \cdot 10^8$ m/s

Dioptroplano: é todo sistema formado por dois meios homogêneos e transparentes, separados por uma superfície plana. Para exemplificar, podemos citar o ar e a água de uma piscina.

Matematicamente, temos: $\frac{n_{observador}}{n_{\ objeto}} = \frac{p'}{p}$, onde **p** é a distância do objeto à superfície e **p'** é a distância da imagem à superfície.

Exemplo:

1. Um peixe encontra-se a 100 cm da superfície da água, na mesma vertical que passa pelo olho do observador, como é mostrado na figura. O índice de refração da água é $\frac{4}{3}$.



a) Calcule a posição da imagem do peixe conjugada pelo dioptroágua-ar.

$\frac{n_{observador}}{n_{\ objeto}} = \frac{p'}{p} \rightarrow \frac{1}{\frac{4}{3}} = \frac{p'}{100} \rightarrow$

$100 = \frac{4}{3} \cdot p' \rightarrow p' = \frac{3\ .\ 100}{4} \rightarrow p' = 75$ cm

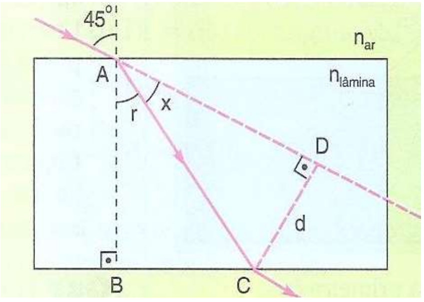
b) Determine a elevação aparente do peixe.

x= 100 – 75 → x = 25 cm

Lâminas de faces paralelas: é o meio transparente limitado por duas faces paralelas. Exemplo: o vidro.

Exemplo:

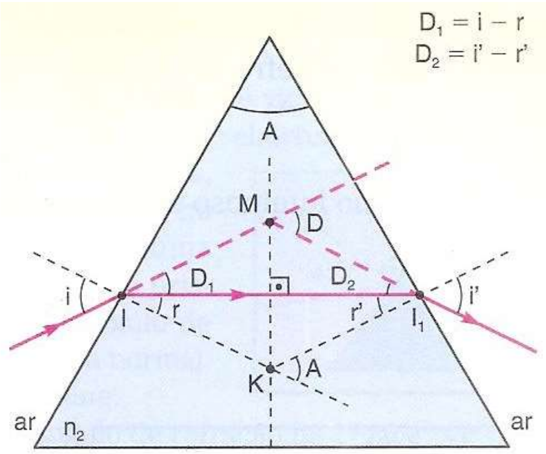
1. Uma lâmina de faces paralelas, de espessura 4 cm, é constituída de um material de índice de refração $\sqrt{2}$. O raio de luz, propagando-se no ar, incide na lâmina formando ângulo de 45º com a normal. Calcule o desvio lateral sofrido pelo raio de luz incidente. Use sen 15º = 0,26 e $\sqrt{3} = 1{,}7$.



Cálculo de r:
$n_{ar} \cdot sen\ i = n_{lâmina} \cdot sen\ r \rightarrow$
$1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \sqrt{2} \cdot sen\ r \rightarrow \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = sen\ r \rightarrow sen\ r = \frac{1}{2}$
Cálculo de d:
$x + r = 45^o \rightarrow x + 30^o = 45^o \rightarrow$
$x = 45^o - 30^o \rightarrow x = 15^o$
No ΔABC, temos:
$\cos 30^o = \frac{\overline{AB}}{\overline{AC}} \rightarrow \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{4}{\overline{AC}} \rightarrow \overline{AC} \cdot \sqrt{3} = 2 \cdot 8 \quad \overline{AC} = \frac{8}{\sqrt{3}}$
$\rightarrow \overline{AC} = \frac{8\sqrt{3}}{3} \rightarrow \overline{AC} = 4{,}53$ cm
No ΔADC, temos:
$sen\ x = \frac{\overline{CD}}{\overline{AC}} \rightarrow sen\ 15^o = \frac{d}{\frac{8\sqrt{3}}{3}} \rightarrow$
$0{,}26 = \frac{d}{\frac{8\sqrt{3}}{3}} \rightarrow 0{,}26 = \frac{d}{4{,}53} \rightarrow$
$0{,}26 \cdot 4{,}53 = d \rightarrow d \cong 1{,}18$ cm

<u>Prisma óptico</u>: é todo meio homogêneo e transparente limitado por duas faces planas não-paralelas.

O caminho do raio deluz ao atravessar o prisma é indicado na figura a seguir:



i = ângulo de incidência na 1ª face
r = ângulo de refração na 1ª face
r' = ângulo de incidência na 2ª face
i' = ângulo de refração na 2ª face ou ângulo de emergência
D_1 = desvio angular na 1ª face
D_2 = desvio angular na 2ª face
D = desvio angular total
A = ângulo de abertura ou ângulo de refringência

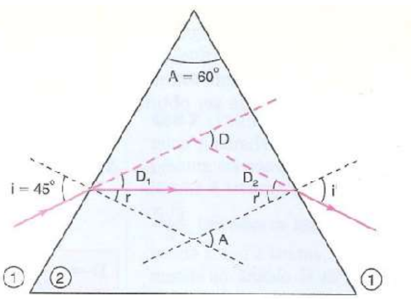
Como em um triângulo o ângulo externo é igual à soma dos ângulos internos não-adjacentes, o desvio angular total pode ser obtido pela igualdade:

$\Delta II_1K \rightarrow \mathbf{A = r + r'}$

$\Delta II_1M \rightarrow D = D_1 + D_2 \rightarrow D = (i - r) + (i' - r') \rightarrow D = i + i' - (r + r') \rightarrow$

$\mathbf{D = i + i' - A}$

Exemplo:
1. Um raio de luz incide num prisma imerso no ar sob um ângulo de incidência de 45º. O prisma tem ângulo de abertura 60º e índice de refração absoluto $\sqrt{2}$.
a) Calcule o ângulo de refração na 1ª face.
- Cálculo de r:
$n_1 \cdot sen\ 45^o = n_2 \cdot sen\ r \rightarrow$
$1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \sqrt{2} \cdot sen\ r \rightarrow$
$\frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{\sqrt{2}} = sen\ r \rightarrow$
$sen\ r = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \rightarrow$
$sen\ r = \frac{1}{2}$



b) Calcule o ângulo de refração na 2ª face (cálculo de r' e i').
$A = r + r' \rightarrow 60^o = 30^o + r' \rightarrow$
$60^o - 30^o = r' \rightarrow r' = 30^o$
$n_2 \cdot sen\ r' = n_1 \cdot sen\ i' \rightarrow$
$\sqrt{2} \cdot \frac{1}{2} = 1 \cdot sen\ i' \rightarrow \frac{\sqrt{2}}{2} = sen\ i' \rightarrow$
$sen\ i' = 45^o$

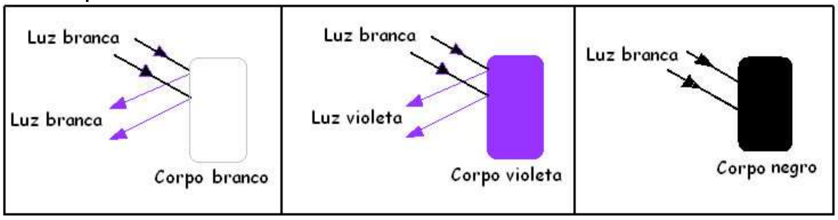
c) Determine o desvio angular total sofrido pelo raio luminoso ao atravessar o prisma.
$D_1 = i - r \rightarrow D_1 = 45º - 30º = 15º$
$D_2 = i' - r' \rightarrow D_2 = 45º - 30º = 15º$

$D = D_1 + D_2 \rightarrow D = 15º + 15º \rightarrow D = 30º$ ou
$D = i + i' - A \rightarrow D = 45º + 45º - 60º \rightarrow$
$D = 30º$

A cor de um corpo: a luz solar é chamada de luz branca (policromática), que, na realidade, é formada por várias cores (monocromáticas). Assim, a cor de um corpo é composta pela reflexão determinada pelo tipo de luz que esse corpo reflete. Portanto, para que um corpo tenha uma determinada cor vai depender da luz que o ilumina, em decorrência de a cor não ser considerada uma característica do corpo. O branco é a combinação entre a reflexão de todas as cores. Vamos destacar as principais, consideradas as sete cores básicas:

Como já vimos anteriormente, essas cores têm velocidade, que decrescem do vermelho (maior velocidade) para o violeta (menor velocidade).

A cor que um corpo iluminado apresenta é determinada pela constituição da luz que ele reflete de maneira difusa. Assim, um corpo iluminado com luz branca que reflete a luz amarela, por exemplo, significa dizer que ele absorveu todas as demais, se iluminado com luz branca, essa será absorvida totalmente e teremos a cor preta.



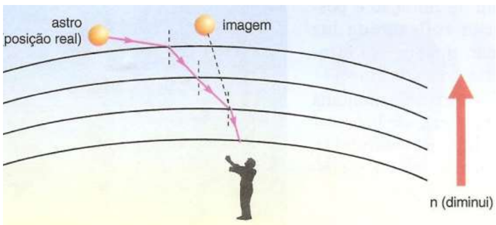
De todas as cores componentes que constituem a luz solar, a luz azul é a que sofre maior difusão ao atravessar a atmosfera da Terra, o que explica por que o céu é azul.

Exemplos:
1. (UFU-MG) Um objeto que se apresenta amarelo quando exposto à luz solar é colocado num quarto escuro. Qual será a cor desse objeto, se acendermos no quarto uma luz monocromática azul? **Preta.**

2. (UFGO) Suponha que a bandeira do Brasil seja colocada num quarto escuro e iluminada com luz monocromática amarela. Diga com que cores se apresentarão as seguintes partes da bandeira:
a) o círculo central – **preto** (por ser azul, aparecerá negro, pois não reflete a luz amarela);
b) o losango – **amarelo** (sendo amarelo reflete a luz amarelo);
c) a faixa do círculo central e as estrelas – **amarela** (por serem brancas refletem a luz amarela);
d) o restante da bandeira – **preta** (como o restante da bandeira é verde, parecerá negro, pois não reflete a luz amarela).

Fenômenos que ocorrem com a refração da luz

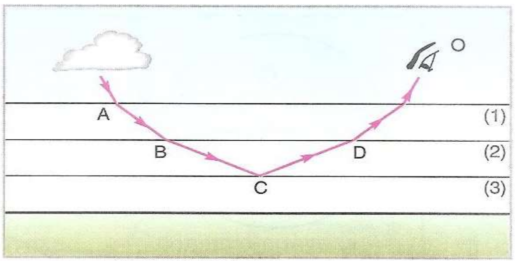
Altura aparente dos astros: por ser a atmosfera formada por camadas de ar de densidades diferentes, seu índice de refração diminui com o aumento da altitude. Portanto, um raio de luz proveniente de um astro sofre diversas refrações nas camadas de ar aproximando-se da normal e sua imagem se apresenta numa posição mais elevada.



Miragem: a miragem se forma a partir de um fenômeno físico denominado refração, associado aos desvios dos raios de luz. Podemos perceber em dias de calor intenso a formação de uma camada de ar mais quente junto ao solo. Esse ar é menos denso que o ar da camada que está logo acima dele, portanto mais frio. Assim como os raios de luz se propagam mais rápido no ar quente, eles se curvam para cima. A forma como nosso cérebro intercepta os raios solares acontece como se os mesmos percorressem uma trajetória retilínea, quando isso ocorre enxergamos o objeto refletido e invertido, dando a impressão que o asfalto, por exemplo, está molhado, onde a água é ilusão, mas a imagem é real.

Arco-íris: o arco-íris provém de refração e posterior reflexão da luz solar, quando ela atravessa gotas de chuva.
Ao penetrar numa gota, o raio de luz solar é refratado, ocorrendo a dispersão da luz e posterior reflexão.

Exemplos:
1. Um raio luminoso proveniente de uma nuvem atinge a vista do observador *O*, seguindo a trajetória indicada.



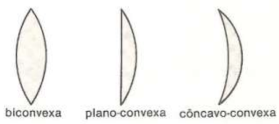
Análise as afirmações:

I. O índice de refração do ar é crescente da região atmosférica (1) para a região atmosférica (2).
II. No ponto *B,* o raio luminoso sofre uma reflexão luminosa.
III. No ponto *C,* o raio luminoso sofre uma reflexão total.
IV. No ponto *D,* o raio luminoso sofre uma refração.

Erradas: I (o índice de refração do ar vai diminuindo da região atmosférica (1) para (3)), e II (no ponto B, o raio luminoso sofre uma refração quando passa para um meio mais refringente).
Quais estão corretas? **III** (em *C* a incidência alcança o ângulo limite) e **IV** (o raio luminoso sofre refração ao passar para um meio menos refringente).

2. Com respeito ao fenômeno do arco-íris, pode-se afirmar que:
I. Se uma pessoa observa um arco-íris à sua frente, então o Sol está necessariamente a oeste.
II. O Sol sempre está à direita ao à esquerda do observador.
III. O arco-íris se forma devido ao fenômeno de dispersão da luz nas gotas de água.
Erradas: I (se o arco-íris está a leste, o Sol está a oeste) e II (o Sol está sempre atrás do observador)
Das afirmativas mencionadas, quais estão corretas? **III** (há o fenômeno de dispersão de luz seguido de reflexão dentro das gotas).

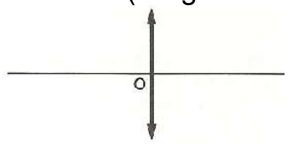
<u>Lentes esféricas</u>: são porções de material transparente limitadas por duas fronteiras esféricas (ou uma plana e uma esférica). São usadas em óculos, lupas, lunetas, binóculos, máquinas fotográficas, projetor de *slides*, etc.
Nas figuras, podemos observar os perfis das lentes esféricas:
- Lentes de bordos estreitos.



- Lentes de bordos espessos.

Os principais elementos geométricos das lentes esféricas são:

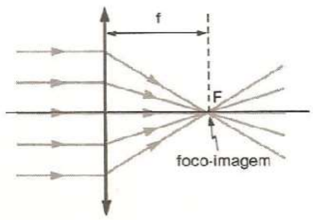
C_1 e C_2: centros de curvatura das faces
R_1 e R_2: raios de curvatura das faces
Lentes delgadas: são aquelas cuja espessura é muito menor que os raios de curvatura das faces. Somete elas produzem imagens nítidas (estigmáticas).



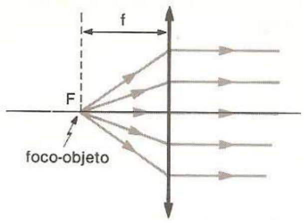
convergente *Lente de bordos estreitos.* divergente *Lente de bordos espessos.*

O ponto *O* de intersecção da lente com o eixo principal é chamado centro óptico da lente.

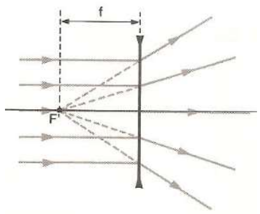
Focos de uma lente: qualquer lente possui dois focos principais, o foco objeto (F_o) e o foco imagem (F_i), localizados sobre o eixo principal, pois a luz pode incidir em ambos os lados da lente.
Lentes Convergentes: fazendo incidir um feixe paralelo, a luz se concentra em um ponto. Esse ponto é o foco-imagem da lente. A distância entre o foco e a lente é a distância focal da lente (f).



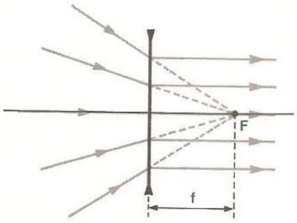
Sobre o eixo principal, coloca-se uma fonte de luz puntiforme. Quando a distância entre a fonte e a lente for igual à distância focal, a luz emerge num feixe paralelo. Esse ponto é o ponto-objeto da lente.



Lentes Divergentes: fazendo incidir um feixe paralelo, a luz se dispersa de forma que os prolongamentos dos raios se cruzam em um ponto. Esse ponto é o ponto-imagem.

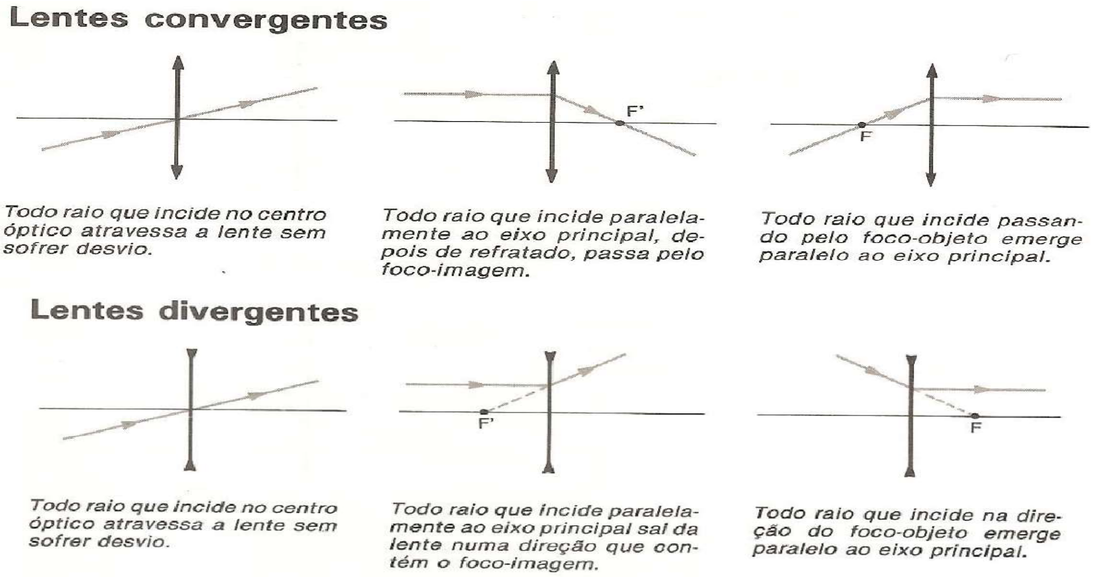


Já o foco-objeto é um ponto localizado do outro lado da lente, à mesma distância que o foco-imagem. Fazendo incidir um feixe convergente, cujo vértice esteja no foco-objeto, o feixe emergente será paralelo.



Nos focos de uma lente convergente ocorre cruzamento efetivo de raios luminosos. No caso das lentes divergentes, temos de prolongar os raios para chegar ao foco. Portanto, podemos dizer que uma lente convergente tem focos reais e uma lente divergente tem focos virtuais.

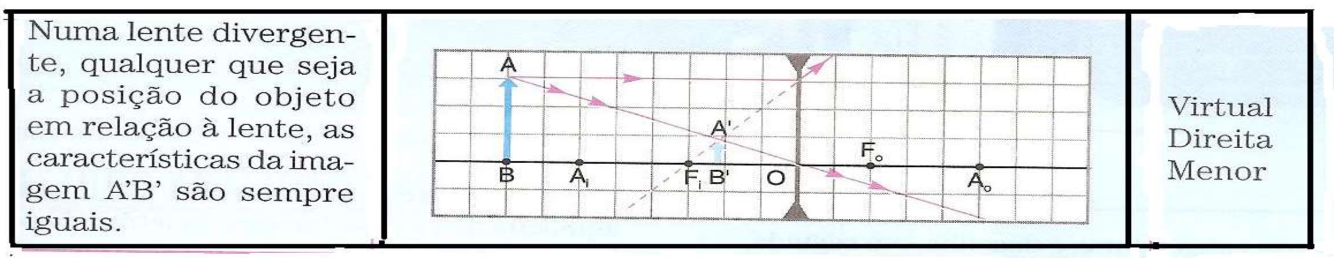
<u>Raios particulares</u>: para determinar o ponto-imagem associado a um ponto-objeto numa lente, devemos traçar dois raios de luz que saem do objeto e atingem a lente. O ponto de cruzamento desses raios será o ponto-imagem.



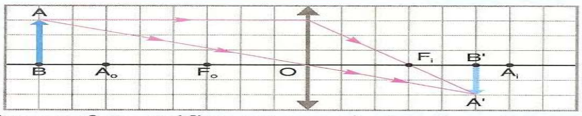
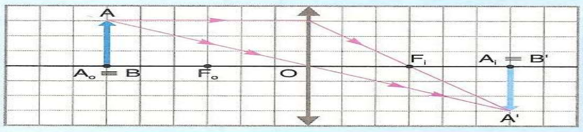
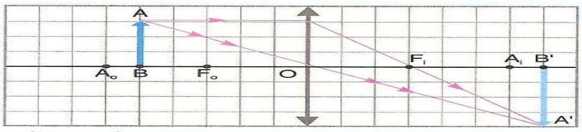
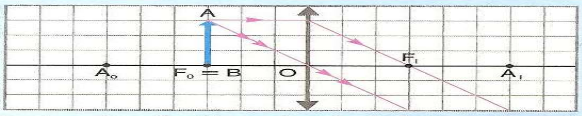
- Se um raio de luz incidir paralelamente ao eixo principal, emerge passando por F_i.
- Se um raio de luz incidir passando por *O*, emerge sem sofrer desvio.
- Se um raio de luz incidir passando por F_o, emerge paralelamente ao eixo principal.

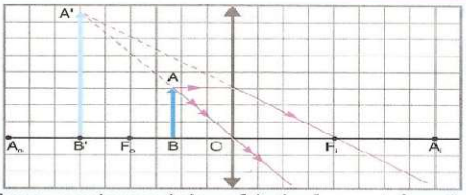
<u>Construção gráfica de imagens</u>: para construir a imagem de um objeto extenso AB, utilizaremos dois dos raios particulares.

Lentes divergentes: um único tipo de imagem.



Lentes convergentes: três imagens reais, uma imprópria e uma virtual, totalizando 5 tipos de imagens.

LENTE CONVERGENTE	FIGURA	CARACTERÍSTICAS DE A'B'
Objeto além de A_O	 A câmara fotográfica que conjuga a imagem sobre o filme e o cristalino dos olhos que conjuga a imagem sobre a retina, são aplicações desse caso.	Real Invertida Menor
Objeto sobre A_O		Real Invertida Igual
Objeto entre A_O e F_O	 O projetor de *slides* e o projetor de cinema são aplicações de lentes usadas dessa maneira para projetar imagens sobre um anteparo (tela).	Real Invertida Maior
Objeto sobre F_O	 As lentes dos faróis e dos holofotes são aplicações deste caso.	Imprópria

LENTE CONVERGENTE	FIGURA	CARACTERÍSTICAS DE A'B'
Objeto entre F_O e *O*	 A lupa, o microscópio, o binóculo e o telescópio são aplicações deste caso.	Virtual Direita Maior

<u>Instrumentos ópticos</u>: apresentamos a seguir alguns instrumentos ópticos citados acima na apresentação dos tipos de imagens formadas por lentes divergentes e convergentes.

- Máquina fotográfica: câmara escura, objetiva, diafragma e obturador são os principais componentes da máquina fotográfica. Sua imagem é sempre menor, real e invertida.

- lupa: é uma lente biconvexa de pequena distância focal (5 cm a 10 cm), que produz uma imagem virtual, direita e aumentada do objeto.

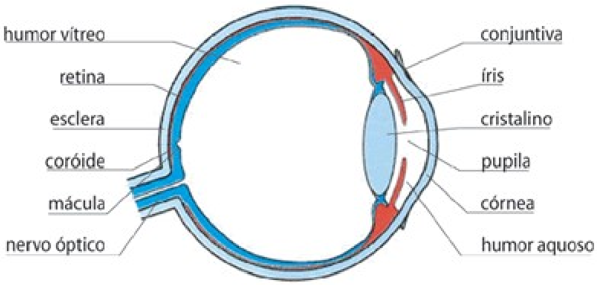
- Projetor de *slides* ou filmes: seus componentes são fonte de luz, condensador, plano objeto e lente de projeção. Sua imagem maior, invertida e real. Porém, normalmente os filmes ou slides são colocados na posição invertida, projetando assim imagens de forma direita.

Microscópio composto: é um instrumento óptico composto por um tubo delimitado nas suas extremidades por lentes esféricas convergentes, formando uma associação de lentes separadas. Seu funcionamento é simples, pois a lente objetiva fornece uma imagem real, invertida e maior que o objeto. Por sua vez, essa imagem funciona como objeto para a lente ocular que como uma lupa fornece uma imagem virtual, direita e menor.

Luneta: são instrumentos de observação a grandes distâncias, servindo para observação dos astros como também observações da superfície terrestre. Sua montagem e funcionamento são semelhantes ao microscópio composto.

O olho humano: o olho humano é uma estrutura magnífica, sendo considerado o mais perfeito dentre os instrumentos ópticos. Os raios luminosos percorrem sua esfera ao longo de um caminho completamente transparente. Seu funcionamento é semelhante ao de máquina fotográfica.

Denominamos globo ocular todo o conjunto que compõe a visão humana.

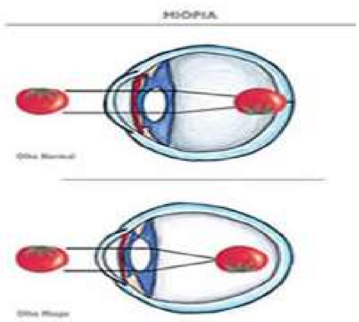


Os raios luminosos incidem na córnea convergindo até a retina e assim formando as imagens.

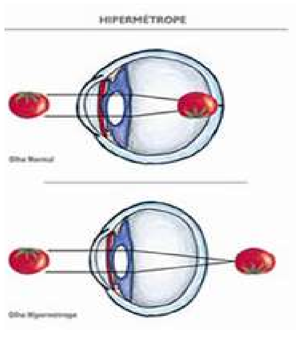
Porém, de fato, quem enxerga é o cérebro, embora não saibamos exatamente como ele interpreta as imagens invertidas que se formam na retina, mas é ele que recoloca a imagem na posição do objeto. Sabe-se também que o cristalino funciona como uma lente biconvexa (convergente), sendo uma estrutura elástica e transparente, encurva-se em função das distâncias, reproduzindo imagens nítidas, denominado poder de acomodação.

Defeitos da visão: os defeitos mais comuns apresentados pelo olho humano são a miopia, a hipermetropia, o astigmatismo e a presbiopia.

A miopia é uma anomalia da visão na qual o comprimento do globo ocular é maior que a distância focal máxima do cristalino. Decorre então que as imagens dos objetos distantes se formam antes da retina, tornando-a não nítida. Sua correção é feita com o uso de lentes divergentes. A imagem é menor, direita e virtual (a imagem fornece um objeto impróprio, uma imagem virtual no ponto remoto do olho).



A hipermetropia: é um defeito oposto à miopia, visto que o comprimento do globo ocular é pequeno em relação ao cristalino. O portador enxerga mal os objetos próximos. Portanto, a imagem de objetos é formada além da retina, sem nitidez. A correção da hipermetropia é possível com o uso de lentes do tipo convergente, que possibilita o fornecimento da imagem de um objeto real localizado em um ponto próximo do olho que se comporte como um objeto real dando nitidez à imagem.

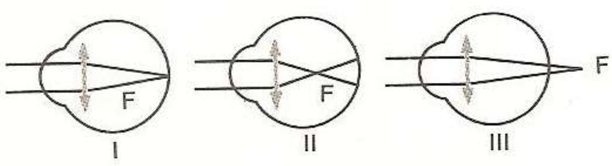


Astigmatismo: as superfícies que compõem o globo ocular apresentam diferentes raios de curvatura, o que ocasiona uma falta de simetria de revolução em torno do eixo óptico. A compensação das diferenças entre os raios de curvatura é feita com o uso de lentes cilíndricas.

Presbiopia: com o envelhecimento surge a presbiopia, na qual os músculos ciliares não conseguem comprimir suficientemente o cristalino na acomodação, impossibilitando a formação de imagens nítidas para objetos próximos, tal como acontece com hipermetropia. Por outro lado, se a acomodação muscular for muito grande, o portador de presbiopia também terá problemas de visão à longa distância, uma vez que com a aproximação do ponto remoto, o problema passa a ser semelhante à miopia. Sua correção, nesse caso, é feita com a utilização de lentes bifocais (convergentes e divergentes)

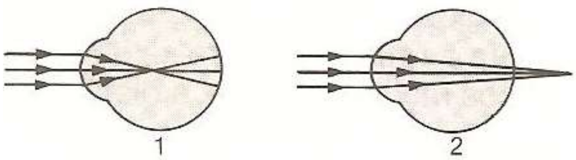
Exemplos:

1. (PUCSP) Os esquemas I, II e III representam posições do foco de um olho sem acomodação. Pode-se afirmar que:



a) as três representam olhos normais;
b) I e II representam olhos normais e III hipermetrope;
c) I e III representam olhos normais e II míope;
~~d)~~ somente I é normal;
e) nenhum deles é normal.

2. (PUCSP) Os esquemas correspondem a um olho míope (1) e a um olho hipermetrope (2). As lentes corretivas devem ser respectivamente, para 1 e 2:

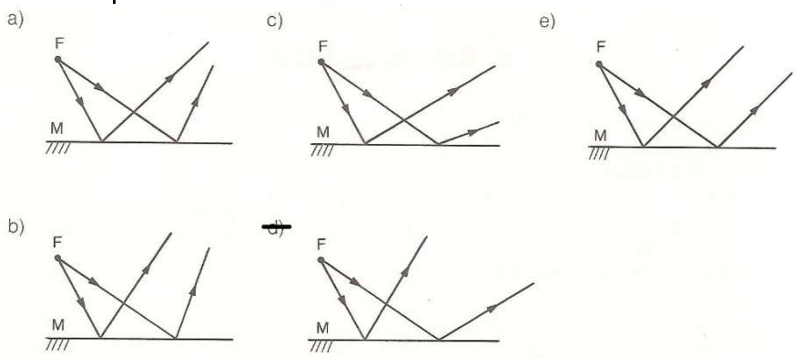


~~a)~~ divergente – convergente
b) divergente – divergente
c) bicôncava e biconvexa
d) convergente e divergente
e) convergente e convergente

3. (FUVEST-SP) Através do espelho (plano) retrovisor, um motorista vê um caminhão que viaja atrás de seu carro. Observando certa inscrição pintada no para-choque do caminhão, o motorista vê a seguinte imagem: SORRIA

Pode-se concluir que a inscrição pintada naquele para-choque é:

4. (CESGRANRIO-RJ) Destas figuras, qual melhor representa a reflexão, num espelho plano M, do feixe luminoso proveniente da fonte pontual F?



5. Uma lente convergente de distância focal *d* é colocada entre um objeto e uma parede. Para que a imagem do objeto seja projetada na parede com uma ampliação de 20 vezes, a distância entre a lente e a parede deve ser igual a:

A) 20/d
B) 20d
C) 19d
D) 21d
E) 21/d

A imagem é projetada, portanto é invertida.

$A = -20 = -\frac{p'}{p} \rightarrow p' = 20p \rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{20p} \rightarrow$

$\frac{1}{d} = \frac{20+1}{20p} \rightarrow 20p = 21d$

Resposta: letra d

Ondulatória: é a parte da física que estuda as ondas.

Ondas: denominamos ondas o movimento causado por uma perturbação que se propaga no espaço ou em meios materiais, transportando energia sem transportar matéria. De acordo com sua natureza, podem ser classificadas em dois tipos: mecânicas e eletromagnéticas, que podem ser classificadas de três modos.

- Quanto à natureza:

Ondas mecânicas: são aquelas que precisam de um meio material para se propagar (não se propagam no vácuo). Exemplo: som.

Ondas eletromagnéticas: são perturbações que se propagam em campos elétricos e magnéticos, ou seja, não necessitam de um meio material, podendo inclusive se propagar no vácuo. Exemplo: luz.

- Quanto à direção de propagação:

Unidimensionais: são aquelas que se propagam numa só direção. Exemplo: ondas em cordas.

Bidimensionais: são aquelas que se propagam num plano. Exemplo: ondas na superfície de um lago.

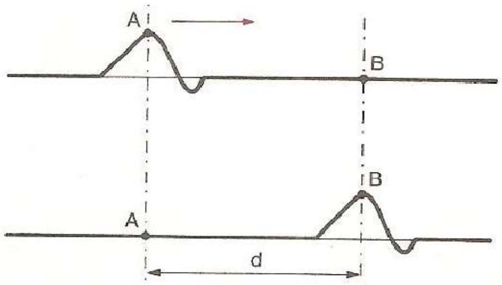
Tridimensionais: são aquelas que se propagam em todas as direções. Exemplo: ondas sonoras no ar atmosférico ou em metais.

- Quanto à direção de vibração:

Transversais: são aquelas cujas vibrações são perpendiculares à direção de propagação. Exemplo: ondas em cordas.

Longitudinais: são aquelas cujas vibrações coincidem com a direção de propagação. Exemplo: ondas sonoras.

Velocidade de propagação: considere uma onda que se desloca para a direita, numa corda. O movimento do ponto *A* se repete no ponto *B* depois de um intervalo de tempo Δt.



A distância **d** entre *A* e *B* representa o deslocamento da onda no intervalo de tempo Δt. Assim, a velocidade de propagação da onda é:

$$\mathbf{v} = \frac{\mathbf{d}}{\Delta \mathbf{t}}$$

Devemos considerar também a que a velocidade de propagação da onda depende da densidade linear da corda e da intensidade da força de tração $\vec{F}$, e é dada por:

$\mathbf{v} = \sqrt{\frac{\mathbf{F}}{\boldsymbol{\mu}}}$, onde: F = força de tração da corda e $\mu = m/\ell$ a densidade linear da corda.

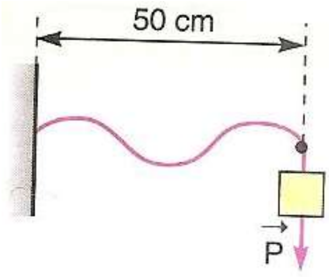
Exemplo:

1. Uma corda de comprimento 3 m e massa 60 g é mantida tensa sob ação de uma força de intensidade 800 N. Determine a velocidade de propagação de um pulso nessa corda.

Dados: ℓ = 3 m; m = 60 g = 0,06 kg; T = 800 N

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \rightarrow v = \sqrt{\frac{T}{\frac{m}{\ell}}} \rightarrow v = \sqrt{\frac{800}{\frac{0{,}06}{3}}} \rightarrow v = \sqrt{\frac{800}{0{,}02}} \rightarrow v = \sqrt{40\,000} \rightarrow v = 200 \text{ m/s}$$

2. (UFMS) Uma corda de comprimento ℓ = 50 cm e massa m = 50 g está tensionada por um peso $|\vec{F}|$ = 52,9 N. Observe a figura:



Calcule a velocidade de propagação da onda nessa corda (dê a resposta em m/s).

Dados: ℓ = 50 cm = 0,50 m; m = 50 g = 0,05 kg; $|\vec{F}|$ = 52,9 N

$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \rightarrow v = \sqrt{\frac{F}{\frac{m}{\ell}}} \rightarrow v = \sqrt{\frac{F \cdot \ell}{m}} \rightarrow$

$v = \sqrt{\frac{52{,}9 \cdot 0{,}5}{0{,}05}} \rightarrow v = \sqrt{52{,}9 \cdot 10} \rightarrow$

$v = \sqrt{529} \rightarrow v = 23$ m/s

3. Uma corda de 2 m de comprimento e massa igual a $2 \cdot 10^{-2}$ kg é percorrida por um pulso com velocidade de 100 m/s. Determine a intensidade da força que traciona a corda.

Dados: ℓ = 2 m; m = $2 \cdot 10^{-2}$ kg; v = 100 m/s

$\mu = \frac{m}{\ell} \rightarrow \mu = \frac{2 \cdot 10^{-2}}{2} \rightarrow \mu = 10^{-2}$ kg/m

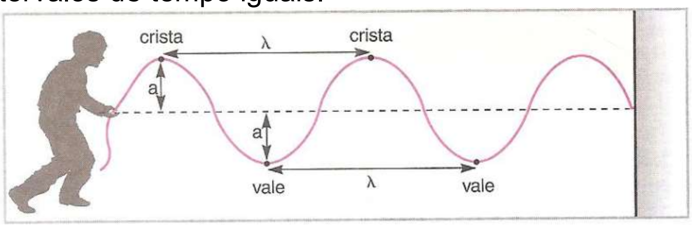
$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \rightarrow 100 = \sqrt{\frac{T}{10^{-2}}} \rightarrow$

$(100)^2 = \left(\sqrt{\frac{T}{10^{-2}}}\right)^2 \rightarrow 10\,000 = \frac{T}{\frac{1}{100}} \rightarrow$

$10\,000 \cdot \frac{1}{100} = T \rightarrow$

T = 100 N

<u>Ondas periódicas</u>: são caracterizadas por uma sucessão regular de ondas. O formato das ondas individuais se repete em intervalos de tempo iguais.



Esses impulsos causarão pulsos que se propagarão ao longo da corda em espaços iguais, pois os impulsos são periódicos.

A parte elevada denomina-se crista da onda e a cavidade entre duas cristas chama-se vale.

Denomina-se período (T) o tempo necessário para que duas cristas consecutivas passem pelo mesmo ponto.

Denomina-se frequência (*f*) o número de cristas consecutivas que passam por um mesmo ponto, em cada unidade de tempo. Como já vimos anteriormente, a relação entre período e frequência é dada por:

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

A distância entre duas cristas ou dois vales consecutivos é chamada de comprimento de onda (**λ**) e ***a*** é a amplitude da onda.

Fazendo s = λ, temos t = T. Então:

$S = v \cdot t \rightarrow \lambda = v \cdot T \rightarrow \lambda = v \cdot \frac{1}{f} \rightarrow v = \lambda \cdot f$

Exemplos:

1. Determine o comprimento da onda eletromagnética de 1 000 kHz transmitida por uma estação de rádio.

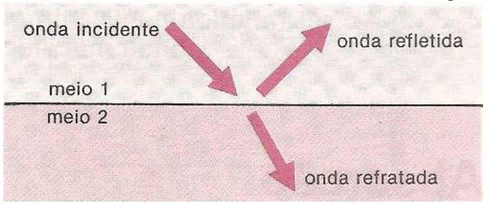
Dados: λ = 1 000 kHz = $1\,000 \cdot 10^3 = 1 \cdot 10^6$; $v_V = 3{,}0 \cdot 10^8$ m/s

$v = \lambda \cdot f \rightarrow 3{,}0 \cdot 10^8 = \lambda \cdot 1 \cdot 10^6 \rightarrow \frac{3 \cdot 10^8}{1 \cdot 10^6} = \lambda \rightarrow \lambda = 3 \cdot 10^2$ m

2. Determine o comprimento de onda da nota *lá natural* (440 Hz) no ar e na água.
Dados: $f_{LÁ}$ = 440 Hz; v_{SAR} = 340 m/s; $v_{SÁGUA}$ = 1 450 m/s

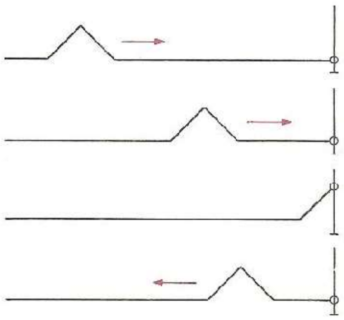
No ar: $v = \lambda \cdot f \rightarrow 340 = \lambda \cdot 440 \rightarrow \frac{340}{440} = \lambda \rightarrow \lambda = 0{,}77$ m
Na água: $v = \lambda \cdot f \rightarrow 1\,450 = \lambda \cdot 440 \rightarrow \frac{1\,450}{440} = \lambda \rightarrow \lambda = 3{,}3$ m

<u>Reflexão e refração de uma onda</u>: quando uma onda incide na fronteira entre dois meios, uma parte da energia incidente retorna ao meio onde a onda se propagava e a outra parte passa a se propagar no novo meio. Esses dois fenômenos são denominados reflexão e refração.

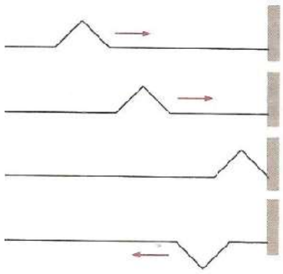


Podemos estabelecer as seguintes propriedades para a reflexão de ondas mecânicas:

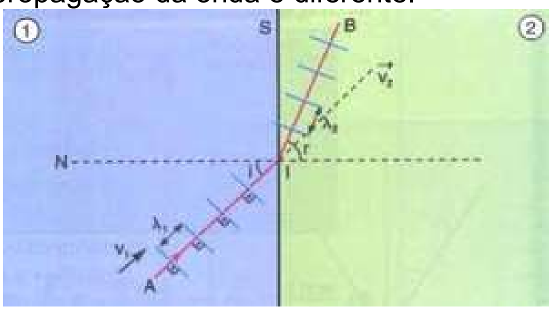
- Ao atingir uma fronteira com um meio menos rígido, uma onda mecânica é refletida sem inversão.



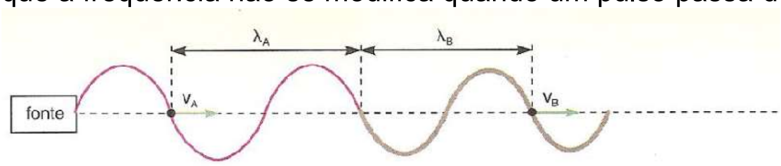
- Ao ser refletida numa fronteira com um meio mais rígido, uma onda mecânica sofre inversão.



Já o fenômeno da refração de uma onda ocorre sempre que essa atravessa a superfície que separa dois meios em que a velocidade de propagação da onda é diferente.



A figura abaixo mostra que a frequência não se modifica quando um pulso passa de um meio para outro.



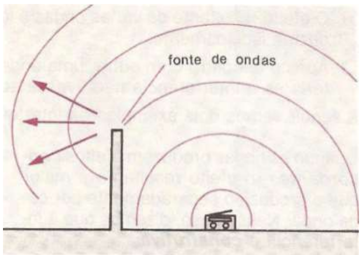
Então:

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

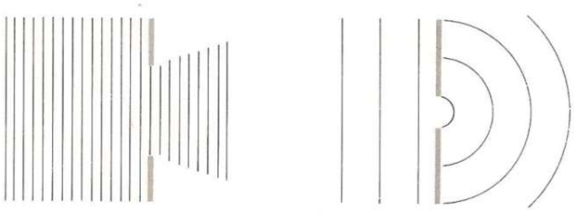
Podemos observar que o comprimento de onda e a velocidade de propagação variam com a mudança do meio de propagação.

<u>Absorção</u>: todos os meios materiais, quando atravessados por uma onda (mecânica ou eletromagnética), absorvem uma parcela de sua energia, que é transformada em calor. Dependendo do meio, isso ocorre em maior ou menor grau. Os corpos opacos, por exemplo, absorvem fortemente a luz, ao contrário dos corpos transparentes, que absorvem pouco. Outro exemplo de absorção é o enfraquecimento verificado numa onda que percorre uma corda esticada. O vácuo é o único meio onde não ocorre absorção.

<u>Difração</u>: o desvio sofrido por ondas ao passarem por um obstáculo, tal como as bordas de uma fenda em um anteparo. O princípio de Huygens explica o fenômeno da difração: todos os pontos de uma frente de onda podem ser considerados novas fontes de ondas.

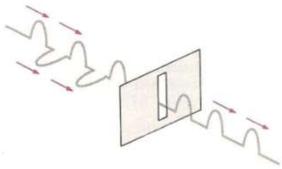


O caso mais importante de difração é o de uma onda numa fenda, que resulta no espalhamento da onda depois de atravessá-la. Podemos observar que, quando a fenda é muito maior que o comprimento da onda, a difração é pouco acentuada. Porém, quando a fenda tem a mesma ordem de grandeza que o comprimento de onda ou é menor que ele, a difração é muito acentuada.



Difração numa fenda.

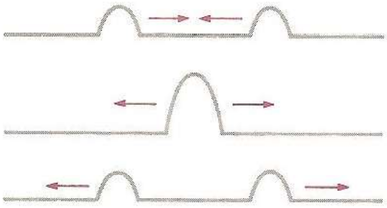
<u>Polarização</u>: o exemplo mostra uma corda, percorrida por ondas transversais contidas em dois planos. Podemos observar que, ao passar pela fenda, apenas as ondas contidas num dos planos prosseguem na corda. Dizemos então que com essa alteração a onda foi polarizada. A polarização é uma propriedade exclusiva das ondas transversais.



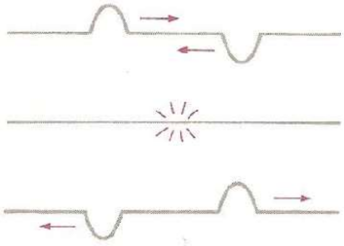
<u>Interferência</u>: a sobreposição dos efeitos de várias ondas é denominado interferência. Duas são as propriedades que descrevem a interferência:
- O efeito resultante de várias ondas é igual à soma dos efeitos de cada uma produzida isoladamente.
- Após o encontro com outra, uma onda mantém exatamente a mesma forma que teria se a interferência não tivesse acontecido.

Exemplos de interferência:

- Quando as ondas produzem efeitos concordantes, o efeito restante é maior que o produzido separadamente por cada onda. Temos a interferência construtiva.



- Quando as ondas produzem efeitos opostos, o efeito resultante é menor que o produzido isoladamente por cada onda. Temos a interferência destrutiva.

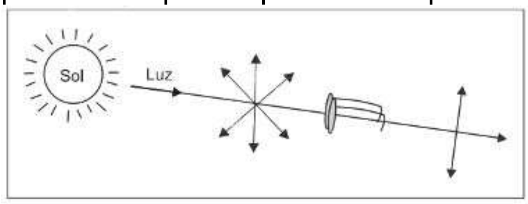


Exemplos:

1. Thomas Young (1773 – 1829) fez a luz de uma fonte passar por duas fendas paralelas antes de atingir um obstáculo e observou no anteparo o surgimento de regiões claras e escuras. Marque a alternativa verdadeira a respeito desse fenômeno:

A) trata-se do fenômeno de refração, em que a luz tem condição de passar por obstáculos;
B) trata-se do fenômeno da difração, que ocorre somente com ondas mecânicas;
~~C~~) trata-se do fenômeno da difração, em que, após a passagem por pequenos obstáculos, as ondas tendem a contorná-lo;
D) trata-se do fenômeno de polarização, em que, após a passagem por pequenos obstáculos, as ondas tendem a contorná-lo;
E) trata-se do fenômeno da difração, em que, após a passagem por pequenos obstáculos, as ondas mecânicas tendem a contorná-lo.

2. Os óculos de sol são usados para diminuir a intensidade da luz solar que chega aos olhos. Para tanto, as lentes de alguns óculos possuem filtros que impedem a propagação de parte da luz incidente, permitindo apenas que os raios que vibram em determinada direção os atravessem.



O fenômeno citado no texto e mostrado na figura, exclusivo de ondas transversais, é denominado de:
A) dispersão
B) difração
C) refração
D) reflexão
~~E)~~ polarização

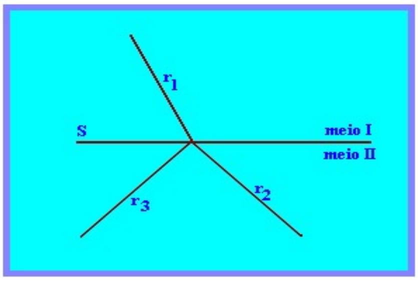
3. Na refração de um raio luminoso monocromático, os ângulos de refração e de incidência valem, respectivamente, 45° e 30°. Determine o índice de refração relativo do meio que contém o raio refratado em relação ao meio que contém o raio incidente.

Dados: sen 30º = $\frac{1}{2}$ e sen 45º = $\frac{\sqrt{2}}{2}$

n’ ·senθ = n’’ ·senθ'' → n’ ·sen 45º = n’’ ·sen 30º → n’ ·$\frac{\sqrt{2}}{2}$= n” ·$\frac{1}{2}$ → $\frac{n'}{n''}$ =$\frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{\frac{1}{2}}$ → $\frac{n'}{n''}$ = $\sqrt{2}$

4. Quando um raio de luz monocromática sofre uma refração, altera-se:
A) a sua cor
B) o seu período
C) a sua frequência
~~D)~~ a sua velocidade de propagação
E) nenhuma dessas grandezas sofre alteração com a refração do raio de luz.

5. (UNIFOR) Para responder à questão que segue, utilize o esquema e as informações abaixo.



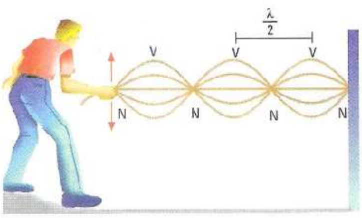
S – representa a superfície de separação entre os meios transparentes e homogêneos I, II. r_1, r_2 e r_3 representam raios luminosos.
Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas da seguinte frase.
Se r_1, r_2 e r_3 forem, respectivamente raios_____, ______ e ________, o meio I é mais ________ que o meio II.

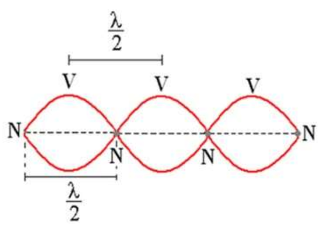
A) incidente - refletido - refratado - refletor
~~B)~~ refratado - incidente - refletido - refringente
C) incidente - refletido - refratado - refringente
D) refletido - refratado - incidente - refringente
E) refletido - refratado - incidente - refletor

6. A polarização da luz demonstra que:
A) a luz não se propaga no vácuo
B) a luz é sempre monocromática
C) a luz tem caráter corpuscular
D) as ondas luminosas são longitudinais
~~E)~~ as ondas luminosas são transversais

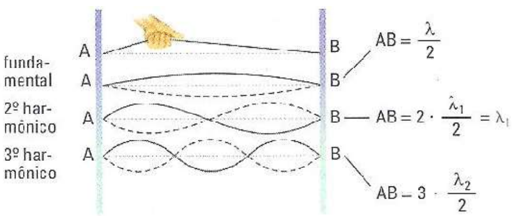
7. Quando duas ondas interferem, a onda resultante apresenta sempre pelo menos uma mudança em relação às ondas componentes. Tal mudança se verifica em relação à(ao):
A) comprimento de onda
B) período
~~C)~~ amplitude
D) fase
E) frequência

<u>Ondas estacionárias</u>: ondas estacionárias são ondas que permanecem em uma posição constante em um intervalo de tempo arbitrário. Quando essas ondas se superpõem, há a formação de interferência. Podemos observar na figura abaixo que os nós e os ventres mantêm sempre a mesma posição ao longo da corda. Por estarem sempre imóveis, os nós impedem que a energia mecânica passe através deles.





Já no esquema a seguir, podemos observar que as frequências naturais de oscilação da corda. A frequência fundamental corresponde à menor frequência, que é dada pelo maior comprimento de onda, pois a velocidade é constante.



As demais frequências são denominadas harmônicos de frequência fundamental (*f*). As frequências dos harmônicos são múltiplas de *f*, ou seja, 2*f*, 3*f*, 4*f*, etc.

A vibração entre os nós e com a mesma frequência, porém as amplitudes serão diferentes.
A distância entre dois nós consecutivos vale $\frac{\lambda}{2}$.
A distância entre dois ventres consecutivos vale $\frac{\lambda}{2}$.
A distância entre um nó e um ventre consecutivo vale $\frac{\lambda}{4}$.

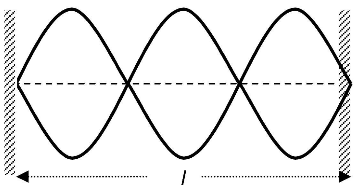
Exemplos:
1. (FMJ SP)O telefone de latinha é uma brincadeiramuito antiga. Consiste de duas latas comum furo no fundo de cada uma e umbarbante longo com as extremidadespresas nesses furos. Com o barbanteesticado, se uma pessoa falar com a bocapróxima a uma das latas, outra pessoapode escutar colocando o ouvidopróximo da outra lata.

(www.eidh.pt/apeeidh/Comunicacao.htm)

A respeito do observado nessa brincadeira, são feitas as seguintes afirmações:
I. o som pode se propagar pelo barbante, porque se trata de uma onda mecânica;
II. o som propaga-se apenas pelo barbante e não pelo ar;
III. quanto mais tenso o barbante estiver, mais rápido o som propaga-se por ele;
IV. mesmo variando a tensão no barbante, não variará a frequência da onda sonora que se propaga por ele.

Está correto apenas o contido em
A) I, II e III
~~B)~~ I, III e IV
C) II, III e IV
D) I e II
E) II e III

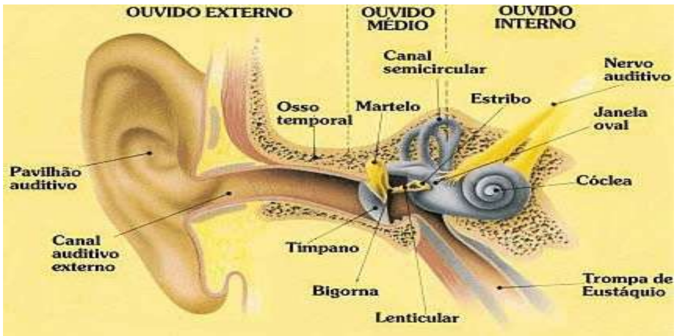
2. (UFAM) Uma corda de um instrumento de comprimento ℓ com suas extremidades fixas vibra como mostra a figura. O comprimento de onda correspondente a esse modo de vibração é:



$3 \cdot \frac{\lambda}{2} = \overline{AB} \rightarrow 3 \cdot \frac{\lambda}{2} = \ell \rightarrow 3 \cdot \lambda = 2 \cdot \ell \rightarrow \lambda = \frac{2\ell}{3}$

~~A)~~ $\frac{2\,\ell}{3}$ B) $\frac{\ell}{3}$ C) $\frac{3\,\ell}{2}$ D) $\frac{\ell}{2}$ E) $2\,\ell$

Acústica: é a parte da Física que estuda o som. Nosso ouvido é exemplo de fonte sonora, que produz vibrações, que são transmitidas às moléculas do meio, resultando em uma onda de pressão, que se propaga pelo ouvido até atingir o tímpano. O estudo destas sensações sonoras produzidas pelas ondas mecânicas é denominado acústica.



Ao receber um som de determinada frequência, seu ouvido externo capta suas vibrações que passam pelo canal auditivo e, ao chegar ao tímpano, são transmitidas aos três ossinhos (o martelo, a bigorna e o estribo), que funcionam como amplificadores, aumentando a pressão das ondas sonoras. Já no interior da cóclea, sua agitação possibilita às células ciliadas do ouvido interno a identificação das frequências que compõem um determinado som. Quando essa informação chega ao cérebro, este o decodifica, o que nos possibilita ouvir o som emitido.

Velocidade de propagação do som: já vimos anteriormente que a velocidade de propagação do som depende do meio de propagação, com influência direta da temperatura que esse meio apresenta. Portanto, quanto maior a temperatura mais rápida será a propagação.

A velocidade do som no ar, a uma temperatura de 0 ℃, é de 330 m/s, já a uma temperatura de 15 ℃, é de 340 m/s. Essa mudança de temperatura provoca alteração na velocidade, podendo provocar desvios na direção da propagação das ondas sonoras.

A não propagação do som no vácuo decorre da inexistência de um meio para sua propagação. De maneira geral, a melhor propagação do som acontece nos sólidos, seguido dos líquidos e posteriormente dos gases.

Exemplo:

1. Determine o intervalo de comprimento das ondas sonoras sabendo que elas se propagam no ar, geralmente à velocidade de mais ou menos 330 m/s, e que os sons audíveis têm uma frequência entre 20 Hz e 20 000 Hz.

Dados: v_S = 330 m/s; f = 20 Hz e 20 000 Hz

$v = \lambda \cdot f \rightarrow \lambda = \frac{v}{f} \rightarrow \lambda_{max} = \frac{330}{20} \rightarrow \lambda_{max} = 16,5\ m \rightarrow \lambda_{min} = \frac{330}{20\ 000} \rightarrow \lambda_{min} = 0,0165\ m$

O intervalo de comprimento da onda varia de 0,0165 m (1,65 cm) a 16,5 m.

2. (UFRGS) O ouvido humano é capaz de ouvir sons entre 20 Hz e 20 000 Hz, aproximadamente. A velocidade do som no ar é aproximadamente 340 m/s. O som mais grave que o ouvido humano é capaz de ouvir tem comprimento de ondas:

Dados: v_S = 340 m/s; f = 20 Hz e 20 000 Hz

$v = \lambda \cdot f \rightarrow \lambda = \frac{v}{f} \rightarrow \lambda_{max} = \frac{340}{20} \rightarrow \lambda_{max} = 17\ m$

A) 1,7 cm
B) 59,8 mm
~~C~~) 17 m
D) 6 800 m
E) 6 800 km

Qualidades do som: o ouvido humano tem a capacidade de distinguir as três qualidades do som – altura, intensidade e timbre.

- Altura: qualidade que nos permite diferenciar e classificar os sons em **graves**e**agudos,** a partir da frequência do som, ou seja, quanto maior for a frequência de uma onda sonora, mais agudo será o som.

- Intensidade: esta qualidade fisiológica está relacionada com a quantidade de energia transportada pelo som e que permite classificar os sons em fraco ou forte. A intensidade sonora é provocada pela pressão que a onda de som causa sobre o ouvido.

- Timbre: a possibilidade do ouvido humano diferenciar dois sons diferentes que possuem a mesma altura e a mesma intensidade, embora emitidos por instrumentos de som diferentes, é denominada timbre.

Exemplos:
1. Um estudante, fazendo um experimento no laboratório de sua escola, acoplou um gerador de audiofrequência a um alto-falante. Aumentando, então, a frequência do aparelho de 200 Hz para 2800 Hz, ele notou que o som produzido pelo sistema ficou:
A) menos intenso ou mais fraco
~~B~~) mais alto ou agudo
C) mais baixo ou grave
D) mais rico em harmônicos
E) mais dissonantes

2. A propriedade que nos permite distinguir a nota **dó** emitida por um piano e a nota **dó** emitida por um violão, sendo ambas de mesma frequência, é:
A) a altura
B) o volume
~~C~~) o timbre
D) a intensidade
E) a amplitude

3. (UFRGS) Quais as características das ondas sonoras que determinam a altura e a intensidade do som?
A) comprimento de onda e frequência
B) amplitude e comprimento de onda
C) amplitude e frequência
D) frequência e comprimento de onda
~~E~~) frequência e amplitude

4. No interior de um consultório dentário, os motores funcionam de modo inadequado e o nível sonoro é de 100 dB. Considerando que a intensidade sonora mínima audível é $I_0 = 10^{-2}$ W/m^2, determine, pelo SI, a intensidade sonora.
Dados: β = 100 dB; $I_0 = 10^{-2}$ W/m^2

$\beta = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$ e $I_0 = 10^{-2}$ W/m^2

$100 = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{10^{-12}}\right) \rightarrow 10^{10} = \frac{I}{10^{-12}} \rightarrow 10^{10} \cdot 10^{-12} = I \rightarrow I = 10^{-2}$ W/m^2

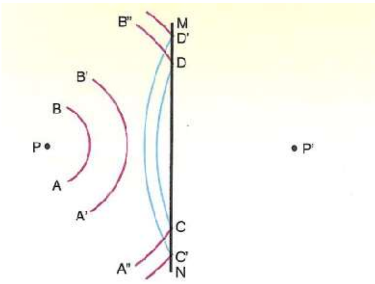
5. A intensidade sonora de um *show* de *rock* é de cerca de 1 W/m^2. Qual o valor do nível de intensidade sonora correspondente em decibel?
Dados: I = 1 W/m^2; $I_0 = 10^{-2}$ W/m^2

$$\beta = \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \rightarrow \beta = \log\left(\frac{I}{10^{-12}}\right) \rightarrow \beta = \log(10^{12}) \rightarrow \beta = 12 \cdot \log 10 \rightarrow \beta = 12\ B$$

Como a intensidade deve ser em decibel (dB), devemos multiplicar o resultado por 10. Assim: $\beta = 120$ dB

<u>Fenômenos sonoros</u>: o som por ser um tipo de onda mecânica apresenta propriedades características, que são: reflexão, refração, difração, interferência e ressonância.

- Reflexão: quando ondas sonoras AB, A'B', A"B" provenientes de um ponto P encontram um obstáculo plano, rígido, MN, produz reflexão das ondas sobre o obstáculo.
Na volta, produz uma série de ondas refletidas CD, C'D', que se propagam em sentido inverso ao das ondas incidentes e se comportam como se emanassem de uma fonte P', simétrica da fonte P em relação ao ponto refletor.



A reflexão pode ocasionar os fenômenos eco e reverberação.

1. Eco: é o som refletido por um obstáculo, que se distingue do som direto. A distância mínima para que o eco aconteça é de 17 metros, condição necessária para que o ouvido humano possa distinguir dois sons com intervalo de tempo de 0,1 s.

2. Reverberação: em grandes ambientes fechados, o encontro do som com as paredes produz reflexões múltiplas que, além de reforçar o som, prolongam-no durante algum tempo depois de cessada a emissão. Esse prolongamento é o que constitui a reverberação.

- Refração: ocorre quando as ondas sonoras passam de um meio para outro, mudando sua velocidade de propagação e comprimento de onda, porém mantenho sua frequência constante.

- Difração: é a capacidade que as ondas sonoras têm de transpor obstáculos.

- Interferência: é o recebimento de duas ou mais ondas sonoras de fontes diferentes. Num determinado ponto do espaço, teremos a capacidade de ouvir um som forte e em outros, um som fraco ou até ausência de som.

- Ressonância: quando um corpo começa a vibrar em decorrência de outro, na mesma frequência, denominamos ressonância. Exemplificando a situação:

"FAB esclarece ocorrência durante sobrevoo de caças em Brasília

O Centro de Comunicação Social da Aeronáutica informa que hoje (01/07), por volta de 10h20min, durante a solenidade de troca da Bandeira Nacional, na Praça do Três Poderes, em Brasília, duas aeronaves Mirage 2000 executaram sobrevoo do local. No momento da passagem, uma onda de choque causou danos às vidraças de alguns órgãos públicos.

O Comando da Aeronáutica já iniciou a apuração das circunstâncias do fato e irá ressarcir os prejuízos decorrentes.

Brasília-DF, 1º de julho de 2012.

As vidraças quebraram ao entrarem em ressonância com as ondas sonoras produzidas pelo avião a jato.

Exemplos:
1. (UFPE) Diante de uma grande parede vertical, um garoto bate palmas e recebe o eco um segundo depois. Se a velocidade do som no ar é 340 m/s, o garoto pode concluir que a parede está situada a uma distância aproximada de:
Dados: v_S = 340 m/s; t = 1 s (ida 0,5 s)

$v = \frac{d}{t} \rightarrow 340 = \frac{d}{0,5} \rightarrow 340 \cdot 0,5 = d \rightarrow d = 170$ m

A) 17 m
B) 34 m
C) 68 m
~~D~~) 170 m
E) 340 m

<u>Efeito Doppler</u>: é um evento físico constatado nas ondas quando liberadas ou reproduzidas por meio de um instrumento que está em deslocamento em relação ao observador. Ou seja, quando uma pessoa se aproxima de uma fonte sonora fixa, a frequência do som ouvido é maior do que aquela de quando a pessoa se afasta da fonte.

Este efeito é percebido, por exemplo, ao se escutar o som de uma sirene emitido por uma ambulância que passa em alta velocidade. O observador percebe que o som, em relação ao emitido, fica mais agudo enquanto ela se aproxima, idêntico no momento da passagem e mais grave quando a ambulância começa a se afastar.

Outro exemplo importante do uso do efeito Doppler está na medicina. Um eco cardiograma usa esse fenômeno para mensurar o sentido e a velocidade do tecido cardíaco ou do curso sanguíneo. O ultrassom com Doppler é uma maneira particular de ultrassom, benéfico na análise do curso sanguíneo dos vasos fetais e útero. Pode ser apresentado de diversas maneiras: com aparição de cores no interior do vaso, com som perceptível ou no formato de gráficos, que possibilita a medição da velocidade sanguínea nos tecidos naturais.
Também, devemos destacar a importância do efeito Doppler em transmissões por meio de elementos com deslocamento rápido, como o que acontece com os satélites.
Denominamos *f'* a frequência recebida pelo observador e *f* a frequência emitida pela fonte, temos:

Na aproximação: $f' > f$

No afastamento: $f' < f$

A relação dessas grandezas é dada pela expressão matemática:

$$f' = f \cdot \left(\frac{v \pm v_O}{v \pm v_F}\right), \text{ onde:}$$

v = velocidade da onda
v_F = velocidade da fonte
v_O = velocidade do observador
f = frequência real emitida pelo observador
f' = frequência aparente recebida pelo observador

A trajetória será positiva no sentido de O para F. Assim:

$$v_F \begin{cases} \rightarrow & + \text{ fonte se afasta do observador} \\ \leftarrow & - \text{ fonte se aproxima do observador} \end{cases} \qquad v_O \begin{cases} \rightarrow & + \text{ observador se aproxima da fonte} \\ \leftarrow & - \text{ observador se afasta da fonte} \end{cases}$$

$v_O = 0$, o observador está parado
$v_F = 0$, a fonte está parada

Exemplo:
1. Um automóvel, movendo-se a 20 m/s, passa próximo a uma pessoa parada junto ao meio-fio. A buzina do carro está emitindo uma nota de frequência 2,0 kHz. O ar está parado e a velocidade do som em relação a ele é de 340 m/s. Que frequência o observador ouvirá:

a) quando o carro estiver se aproximando?
Dados: f = 2 kHz; v_F= 20 m/s; v = 340 m/s; v_O = 0

$f' = f \cdot \left(\frac{v \pm v_O}{v \pm v_F}\right) \rightarrow f' = 2 \cdot \left(\frac{340 + 0}{340 - 20}\right) \rightarrow f' = 2 \cdot \left(\frac{340}{320}\right) \rightarrow f' = 2 \cdot 1,0625 \rightarrow f' = 2,125$ kHz

b) quando o carro estiver se afastando do observador?

Dados: f = 2 kHz; v_F= 20 m/s; v = 340 m/s

$f' = f \cdot \left(\frac{v \pm v_O}{v \pm v_F}\right) \rightarrow f' = 2 \cdot \left(\frac{340 + 0}{340 + 20}\right) \rightarrow f' = 2 \cdot \left(\frac{340}{360}\right) \rightarrow f' = 2 \cdot 0,9444 \rightarrow f' = 1,889$ kHz

2. Uma fonte sonora que emite um som de frequência 500 Hz se aproxima de um observador em repouso, com a velocidade de 72 km/h. Sendo a velocidade do som 340 m/s, calcule a frequência recebida pelo observador.
Dados: f = 500 Hz; v_F = 72 km/h = 20 m/s; v = 340 m/s; v_O = 0 m/s

$f' = f \cdot \left(\frac{v \pm v_O}{v \pm v_F}\right) \rightarrow f' = 500 \cdot \left(\frac{340 + 0}{340 - 20}\right) \rightarrow f' = 500 \cdot \left(\frac{340}{320}\right) \rightarrow f' = 500 \cdot 1,0625 \rightarrow$

f' = 531,25 Hz

3. Determine a velocidade com que um observador deve aproximar-se de uma fonte sonora (em repouso), cuja frequência é de 16 000 Hz, para deixar de ouvi-la, sabendo que a velocidade de propagação do som no ar é de 340 m/s e a máxima frequência audível, 20 000 Hz.
Dados: f = 16 000 Hz; v = 340 m/s; f' = 20 000 Hz; v_F = 0 m/s

$f' = f \cdot \left(\frac{v \pm v_O}{v \pm v_F}\right) \rightarrow 20\,000 = 16\,000 \cdot \left(\frac{340 + v_O}{340 + 0}\right) \rightarrow \frac{20\,000}{16\,000} = \left(\frac{340\ v + v_O}{340}\right) \rightarrow$

$1,25 \cdot 340 = 340 + v_O \rightarrow v_O = 425 - 340 \rightarrow v_O = 85$ m/s = 306 km/h

4. (UFU) O efeito Doppler-Fizeau está relacionado com a sensação de:
~~A~~) variação de altura do som
B) variação do timbre do som
C) aumento de intensidade do som
D) diminuição de intensidade do som
E) constância da altura do som

Eletrostática: é a parte da Física que estuda as cargas elétricas em repouso.

Graças a estudos desenvolvidos ao longo do tempo podemos usufruir das facilidades que a eletricidade vem nos proporcionando ao longo do tempo. Ainda na Grécia antiga (600 a. C.), Thales de Mileto, ao estudar o âmbar, espécie de resina fóssil, percebeu que passava a atrair pequenos pedaços de palha ao ser atritado com pele animal. *élektron* é o nome dessa resina em grego da qual derivam as palavras eletricidade, eletrização.

Mais tarde, por volta de 1600, Willian Gilbert (1544-1603), médico inglês, ao publicar o livro ***Sobre os Ímãs, sobre os Corpos Magnéticos e sobre o Grande Ímã, a Terra***, propôs a comparação da Terra a um grande ímã, onde nos polos geográficos da Terra, estariam localizados os polos magnéticos. É dele a invenção do pêndulo elétrico, que possibilitou a observação de uma série de eventos que se transformariam nos fundamentos da eletricidade. Também, em seus estudos observou que muitos outros corpos ao serem atritados comportavam-se como o âmbar, adquirindo carga elétrica, eletrizando-se e passando a exercer força sobre outros corpos.

Já, com Otto Von Guericke (1602-1686) os estudos evoluíram ao observar a existência de repulsão entre as cargas elétricas, inventando a primeira máquina eletrostática em 1672.

Outro que, por volta de 1729, descobriu que alguns corpos tinham as propriedades condutoras de eletricidade foi Stephen Gray. Posteriormente, Charles Du Fay (1698 – 1739), francês, demonstrou e afirmou que a força elétrica podia ser atrativa ou repulsiva, permitindo mais tarde que Benjamin Franklin (1706-1790), estadista e cientista americano, convencionasse os sinais + e – para as cargas elétricas. Estabeleceu que a transferência de eletricidade de um corpo para outro, quando atritados, determinavam os estados elétricos, imaginando a eletricidade como um fluido que em excesso ou carência.

Por volta de 1777, Charles Augustin de Coulomb (1736-1806), usando uma balança de torção, conseguiu mediar a intensidade das forças de atração ou de repulsão existente entre as cargas elétricas, determinante para o enunciado da Lei de Coulomb.

Também, nesse período (1763), Robert Simmer observou a existência de dois tipos de fluídos, um com carga elétrica positiva e outro com carga elétrica negativa, possibilitando assim a condição de conservação da carga.

Em 1800, Alexandre Volta (1745-1826) inventou a pilha e, graças ao desenvolvimento da eletricidade dinâmica, demonstrou a corrente elétrica e a resistência elétrica. Para essas grandezas, desenvolveram-se instrumentos de medidas como o voltímetro e o amperímetro.

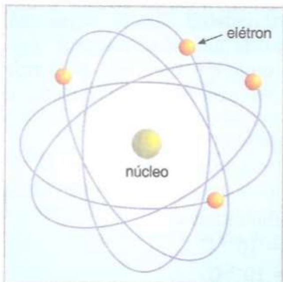
Mais tarde, o conhecimento da corrente elétrica possibilitou a retomada dos conhecimentos há muito conhecidos sobre fenômenos magnéticos e, em 1820, o físico Hans Christian Oersted (1777-1851) demonstrou que uma bússola magnética sofria deflexão ao ser colocada em contato com um fio conduzindo corrente elétrica. Esse estudo possibilitou a existência de interligação entre eletricidade e magnetismo.

Tais descobertas possibilitaram grande revolução econômica e industrial, proporcionando através de motores elétricos, telefone, rádios, televisores, etc grande salto de qualidade para a vida das pessoas.

Carga elétrica. Podemos, por meio de experimentos, demonstrar a existência de uma força com propriedades parecidas com as da força da gravitacional, embora aconteçam em situações diferentes. Denomina-se essa força de força elétrica. Assim, os corpos que trocam forças elétricas possuem uma propriedade denominada carga elétrica.

No SI, a unidade de medida para carga elétrica é o coulomb (C).

Estrutura da matéria. Por meio dela podemos explicar a eletrização dos corpos, pois é formada de pequenas partículas, os átomos, que são constituídos principalmente de prótons, elétrons e nêutrons. Os prótons e nêutrons estão situados no núcleo onde se concentra a maior parte da massa. Os elétrons, com massa menor, circulam em torno do núcleo, na região chamada eletrosfera.



Representação esquemática do átomo.

Como a presença de carga elétrica no próton e no elétron é exatamente igual, mas de sinais contrários, enquanto a do próton é positiva a do elétron é negativa, os nêutrons são desprovidos de carga elétrica. Assim, por serem exatamente iguais as cargas do próton e do elétron num átomo, dizemos que esse sistema esta eletricamente neutro. Mas ao perder ou ao ganhar elétrons esse fica eletrizado, positivamente ou negativamente.

<u>Carga elementar (e).</u> São os valores absolutos assumidos tanto por prótons quanto por elétrons e até hoje considerada a menor carga elétrica encontrada na natureza. Sua intensidade é de $1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

Como a menor carga é a do elétron, podemos afirmar que a carga (q) de qualquer corpo eletrizado é um número múltiplo (n) da carga elementar (e).
Assim, matematicamente temos:

$$\mathbf{q = n \cdot e}$$

O Coulomb por ser uma unidade muito grande, se comparada a carga elementar, costuma-se usar os submúltiplos **microcoulomb** ($1\ \mu C = 10^{-6}$ C) e o **nanocoulomb**($1\ nC = 10^{-9}$ C)

Exemplos:
1. Um corpo possui $5 \cdot 10^{19}$ prótons e $4 \cdot 10^{19}$ elétrons. Quanto à sua carga, determine:
a) o sinal;
Como o número de prótons é maior que o de elétrons, o corpo possui carga elétrica positiva.
b) a intensidade;
Como $5 \cdot 10^{19} - 4 \cdot 10^{19} = 1 \cdot 10^{19}$ prótons em excesso.
$q = n\ .\ e \rightarrow q = 1 \cdot 10^{19} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \rightarrow q = 1,6$ C

2. Um corpo tem $2 \cdot 10^{18}$ elétrons e $4 \cdot 10^{18}$ prótons. Como a carga elétrica de um elétron (ou de um próton) vale, em módulo, $1,6 \cdot 10^{-19}$ C, podemos afirmar que o corpo está carregado com uma carga elétrica de:
Dados: $2 \cdot 10^{18}$ elétrons e $4 \cdot 10^{18}$ prótons (intensidade: $2 \cdot 10^{18}$ prótons em excesso);
$e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C

A) – 0,32 C
B) 0,32 C
C) 0,64 C
D) – 0,64 C
E) – 0,16 C

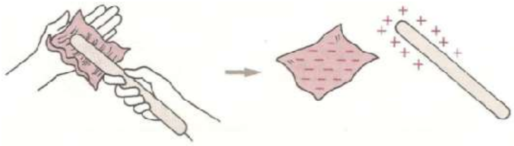
$q = n\ .\ e \rightarrow q = 2 \cdot 10^{19} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \rightarrow$
$q = 3,2$ C (+)

Resposta: letra B

3. Determine o número de elétrons existentes em uma carga de 1,0 C.
Dados: 1,0 C; $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C
$q = n \cdot e \rightarrow 1,0 = n \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \rightarrow \frac{1,0}{1,6\ .\ 10^{-19}} = n \rightarrow n = 6,25 \cdot 10^{18}$ elétrons

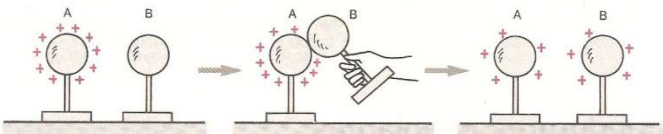
<u>Condutores e isolantes</u>. Os materiais em que as cargas elétricas podem se movimentar são denominados condutores. Isolantes são aqueles em que as cargas não se movem. O que faz com que um material seja condutor é a existência de cargas elétricas livres em sua estrutura. A seguir, exemplos de materiais e sua condutividade:

Processos de eletrização. Vamos estudar três processos de eletrização. Por atrito, por contato e por indução.
Por atrito: na eletrização por atrito, os dois corpos ficam eletrizados carregados com cargas iguais, porém de sinais diferentes. Exemplo: bastão de vidro e lã.

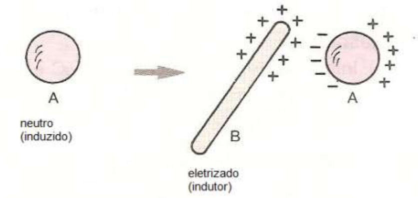


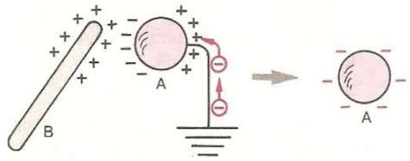
Por contato: na eletrização por contato, os corpos ficam eletrizados com cargas de mesmo sinal. Exemplo: uma caneta de plástico, cabelo e pequenos pedaços de papel (O pedaço de papel tocado pela caneta eletrizada – eletrizada pelo atrito com o cabelo – se eletriza por contato, adquirindo carga elétrica do mesmo tipo da caneta).

Um condutor em contato com um corpo eletrizado também fica eletrizado.
Considere os corpos A e B: inicialmente, o corpo A está eletrizado e o corpo B, neutro.
Colocam-se em contato os dois corpos.
Após o contato, B fica carregado com carga de mesmo sinal que A.



Por indução: na indução eletrostática ocorre apenas uma separação entre algumas cargas positivas e negativas do corpo. O corpo induzido se eletrizará sempre com cargas de sinal contrario às do indutor.





Lei de Coulomb. A lei de Coulomb descreve a força de interação (atração e repulsão) entre duas cargas elétricas puntiformes, isto é, cargas contidas em corpos de dimensões desprezíveis em relação à distância entre eles.

Sendo Q_1 e Q_2 as cargas, e *d* a distância entre elas, a força de interação é dada por:
$F = K \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{d^2}$ onde a constante K é função do meio em que as cargas estão. No vácuo, temos $K = 9{,}0 \cdot 10^9\ N \cdot m^2/c^2$.

Exemplo:
1. Duas cargas elétricas distam 1 cm entre si e a força de repulsão entre elas é de $1{,}0 \cdot 10^{-2}$ N. Qual será a força de repulsão quando a distância entre elas for de 0,5 cm?
Dados: $d_1 = 1$ cm; $d_2 = 0{,}5$ cm; $F_1 = 1{,}0 \cdot 10^{-2}$ N; $K = 9{,}0 \cdot 10^9\ N \cdot m^2/c^2$
$F_1 = K \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{d^2}$ e $F_2 = K \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{d^2} \rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \left(\frac{d_2^2}{d_1^2}\right) \rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \left(\frac{0{,}25}{1{,}0}\right) \rightarrow \frac{F_1}{F_2} = 0{,}25 \rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{1}{4} \rightarrow F_1 \cdot 4 = F_2 \rightarrow$
$F_2 = 4 \cdot 1{,}0 \cdot 10^{-2}\ N \rightarrow F_2 = 4{,}0 \cdot 10^{-2}\ N$

Campo elétrico. Existe uma região de influência da carga *Q* onde qualquer carga de prova *q*, nela colocada, estará sob a ação de uma força de origem elétrica. A essa região chamamos campo elétrico.

Vetor campo elétrico. Considerando uma carga *Q* criando em torno de si um campo elétrico. Colocando-se num ponto *P* dessa região uma carga de prova *q*, esta fica sujeita a uma força elétrica $\vec{F}$.

O vetor campo elétrico $\vec{E}$ é definido nesse ponto pela relação: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$

As características do vetor são:

- intensidade: $E = \frac{F}{|q|}$. A unidade de medida de campo elétrico no SI é N/C.
- direção: o vetor $\vec{E}$ tem a mesma direção da força $\vec{F}$.
- sentido: duas situações decorrem da analise da expressão $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$:

1) se q > 0, $\vec{E}$ e $\vec{F}$ têm mesmo sentido.
2) se q < 0, $\vec{E}$ e $\vec{F}$ têm sentidos contrários.

Exemplo:
1. Um campo elétrico apresenta em um ponto P de uma região a intensidade de $6 \cdot 10^5$ N/C, direção horizontal e sentido da esquerda para a direita. Determine a intensidade, a direção e o sentido da força elétrica que atua sobre uma carga puntiforme q, colocada no ponto P, nos casos:

a) q = 2μC (dados: $E = 6 \cdot 10^5$ N/C; q = 2μC = $2 \cdot 10^{-6}$ C)
Intensidade: $F = q \cdot E \rightarrow F = 2 \cdot 10^{-6}\cancel{C} \cdot 6 \cdot 10^5 N/\cancel{C} \rightarrow F = 12 \cdot 10^{-1} \rightarrow F = 1{,}2$ N
Direção: horizontal
Sentido: como q > 0, $\vec{F}$ tem o mesmo sentido de $\vec{E}$.

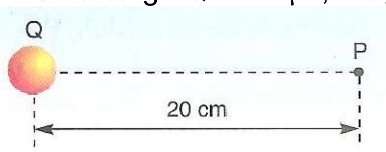
b) q = – 3 μC (dados: $E = 6 \cdot 10^5$ N/C; q = – 3 μC = $3 \cdot 10^{-6}$ C)
Intensidade: $F = |q| \cdot E \rightarrow F = 3 \cdot 10^{-6}\cancel{C} \cdot 6 \cdot 10^5 N/\cancel{C} \rightarrow F = 1{,}8$ N
Direção: horizontal
Sentido: como q < 0, $\vec{F}$ tem o sentido contrário de $\vec{E}$.

<u>Campo elétrico de uma carga puntiforme fixa</u>: é dada por $E = k_0 \cdot \frac{|Q|}{d^2}$

As características desse vetor são:

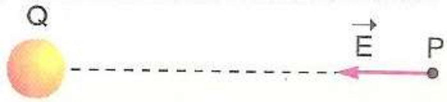
- Intensidade: é dada por $E = k_0 \cdot \frac{|Q|}{d^2}$.
- Direção: é a mesma da reta que une o ponto *P* à carga *Q*.
- Sentido: o sentido do vetor campo elétrico depende do sinal da carga que origina o campo.

Exemplo:
1. Uma carga Q = – 4 μC, fixa, encontra-se no vácuo, conforme ilustra a figura.



Determine:

a) a intensidade, a direção e o sentido do capo elétrico num ponto *P* situado a 20 cm da carga.
Intensidade: $E = k_0 \cdot \frac{|Q|}{d^2} \rightarrow E = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4 \cdot 10^{-6}}{(0{,}2)^2} \rightarrow E = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4 \cdot 10^{-6}}{0{,}04} \rightarrow E = \frac{36 \cdot 10^3}{4 \cdot 10^{-2}} \rightarrow E = 4 \cdot 10^5$ N/C
Direção: da reta que passa por *Q* e *P*

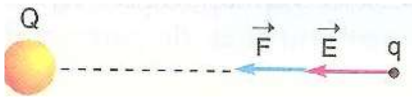


Sentido: o campo é de aproximação, isto é, para a esquerda.

b) a intensidade, a direção e o sentido da força elétrica que atua numa carga q = 5 μC, colocada num ponto *P*.

Intensidade: $F = |q| \cdot E \rightarrow$

$F = 5 \cdot 10^{-6}\,\cancel{C} \cdot 9 \cdot 10^{5}\ N/\cancel{C} \rightarrow F = 4{,}5\ N$



Direção: a mesma de $\vec{E}$.

Sentido: o mesmo de $\vec{E}$.

Trabalho da força elétrica. Uma carga fixa *Q* cria um campo elétrico e uma carga *q,* que devido à ação da força elétrica, se desloca de um ponto *A* para um ponto *B*.

Sendo a força elétrica $\vec{F}$ constante, o trabalho realizado será obtido pela expressão geral do trabalho:

$$\tau = F \cdot d_{AB}$$

Porém, como a força elétrica é variável com relação à distância, temos que:

$$\tau_{AB} = q \cdot k \cdot Q \cdot \left(\frac{1}{d_A} - \frac{1}{d_B}\right)$$

Energia potencial elétrica: é a energia armazenada por um corpo que tem a característica de realizar trabalho, sendo também característica de campos de forças conservativas, onde o trabalho destas forças independem da trajetória.

$$\tau_{AB} = q \cdot k \cdot Q \cdot \left(\frac{1}{d_A} - \frac{1}{d_B}\right) \rightarrow \tau_{A\infty} = q \cdot k_0 \cdot \frac{Q}{d_A}$$

Sendo o campo elétrico conservativo, o trabalho realizado pela força elétrica será maior sobre uma carga *q* colocada num ponto *A*.

$$\tau_{AB} = E_{PA} - E_{PB}$$

A Terra, no estudo da energia potencial gravitacional, é considerada como referencial $E_P = 0$, já, no estudo da energia potencial elétrica, o referencial considerado é o infinito, no qual a E_P elétrica é igual a zero.

$$E_{PA} = \tau_{A\infty} \rightarrow E_{PA} = q \cdot k_0 \cdot \frac{Q}{d_A}$$

Potencial elétrico. Um corpo carregado tem a capacidade de atrai ou repelir cargas eletricas através do trabalho. A capacidade de realizar trabalho nesse campo elétrico independe do valor da carga **q** colocada num ponto desse campo.

$$V_A = k_0 \cdot \frac{Q}{d_A}$$

No SI, a unidade do potencial é o volt (V). 1 volt = $\frac{1\ \text{joule}}{1\ \text{coulomb}}$, portanto, 1 volt é o potencial de um ponto que fornece a uma carga de 1 coulomb, nele colocada uma energia de 1 joule.

Exemplo:

1. Num campo elétrico, uma carga de 2 C é levada de um ponto *A* até um ponto *B* muito afastado, tendo as forças elétricas realizado um trabalho de 100 J. Determine:

a) a energia potencial elétrica da carga no ponto *A*. Dados: q = 2 C; τ_{AB}= 100 J

O trabalho é motor, pois $\tau_{AB} > 0$. Portanto, o deslocamento é no sentido da força.

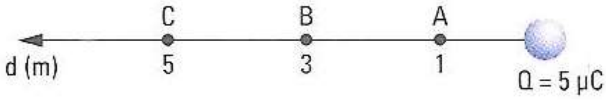
$\tau_{AB} = q \cdot k \cdot Q \cdot \left(\frac{1}{d_A} - \frac{1}{d_B}\right)$ $\qquad d_B \rightarrow \infty \rightarrow \frac{1}{d_B} = 0$

$\tau_{AB} = q \cdot k_0 \cdot Q \cdot \frac{Q}{d_A} \rightarrow \tau_{AB} = q \cdot k_0 \cdot \frac{Q}{d_A} \rightarrow \tau_{AB} = E_{PA} \rightarrow E_{PA} = 100\ J$

b) o potencial elétrico no ponto *A* é:

$V_A = \frac{E_{PA}}{q} \rightarrow V_A = \frac{100}{2} \rightarrow V_A = 50\ V$

2. A figura representa o campo elétrico gerado por uma partícula eletrizada com carga Q = 5 μC no vácuo e três pontos distintos desse campo (no vácuo, $k = 9 \cdot 10^9$ N · m²/C²). Calcule os potenciais elétricos u_1, u_2 e u_3 nos pontos **A**, **B** e **C**, respectivamente.



Dados: Q = 5 $\mu C = 5 \cdot 10^{-6}$ C; $k = 9 \cdot 10^9$ N · m²/C²; $U_A = k_0 \cdot \frac{Q}{d_A}$

$u_1 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{5 \, . \, 10^{-6}}{1} \rightarrow u_1 = 45 \cdot 10^3 \rightarrow u_1 = 4{,}5 \cdot 10^4$ V

$u_2 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{5 \, . \, 10^{-6}}{3} \rightarrow u_2 = \frac{45 \, . \, 10^3}{3} \rightarrow u_2 = 15 \cdot 10^3 \rightarrow u_2 = 1{,}5 \cdot 10^4$ V

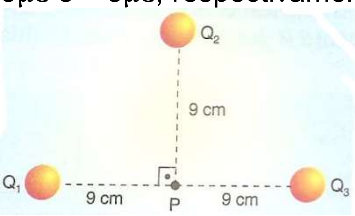
$u_3 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{5 \, . \, 10^{-6}}{5} \rightarrow u_3 = \frac{45 \, . \, 10^3}{5} \rightarrow u_3 = 9 \cdot 10^3$ V

<u>Potencial de várias cargas</u>. O número de campos elétricos que atuam numa determinada região irá definir o potencial elétrico num determinado ponto *P*, através da soma dos potenciais elétricos originados de cada um neste ponto.

$$V_P = V_1 + V_2 + V_3 + \ldots \quad \text{ou} \quad U_P = U_1 + U_2 + U_3 + \ldots$$

Exemplo:

1. Determine o potencial no ponto *P*, devido às cargas puntiformes Q_1, Q_2 e Q_3, cujos valores são 2 μC, 5μC e – 8μC, respectivamente. O meio é o vácuo.



Dados: 2 μC, 5μC e – 8μC → 1 $\mu C = 1 \cdot 10^{-6}$ C; $k = 9 \cdot 10^9$ N · m²/C²; $d_1 = d_2 = d_3$ = 9 cm = 0,09 m;

$U_A = k_0 \cdot \frac{Q}{d_A}$

$V_P = V_1 + V_2 + V_3 \rightarrow V_P = k_0 \cdot \frac{Q}{d_1} + k_0 \cdot \frac{Q}{d_2} + k_0 \cdot \frac{Q}{d_3} \rightarrow V_P = k_0 \cdot (\frac{Q}{d_1} + \frac{Q}{d_2} + \frac{Q}{d_3}) \rightarrow$

$V_P = 9 \cdot 10^9 \cdot (\frac{2 \, . \, 10^{-6}}{0{,}09} + \frac{5 \, . \, 10^{-6}}{0{,}09} + \frac{-8 \, . \, 10^{-6}}{0{,}09}) \rightarrow V_P = 9 \cdot 10^9 \cdot (-\frac{8 \, . \, 10^{-6}}{0{,}09}) \rightarrow$

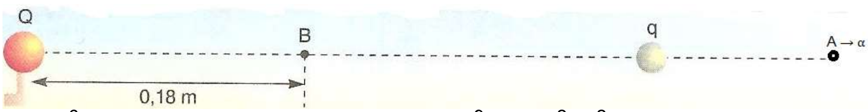
$V_P = 9 \cdot 10^9 \cdot (-\frac{8 \, . \, 10^{-6}}{9 . 10^{-2}}) \rightarrow V_P = \cancel{9} \cdot 10^9 \cdot (-\frac{1 \, . \, 10^{-6}}{\cancel{9} . 10^{-2}}) \rightarrow V_P = -1 \cdot 10^5$ V

<u>Diferença de potencial (ddp).</u> A ddp, $V_A - V_B$ ($U_A - U_B$), entre dois pontos, *A* e *B*, de um campo elétrico é obtida dividindo-se o trabalho pela carga que recebe esse trabalho. Exemplos: os polos de uma pilha, os terminais de uma bateria, etc. Então, representamos ddp, através de:

$$U = \frac{\tau_{AB}}{q}$$

Exemplo:

1. Sobre um suporte isolante encontra-se uma carga Q. Um operador transporta do ponto *A*, muito distante do ponto *B*, 0,18 m de *Q*, uma carga q = 2 μC, realizando um trabalho contra a força de campo de 80 J.



Dados: q = 2 $\mu C = 2 \cdot 10^{-6}$ C; A → ∞ ∴ $d_A = 0$; $k_0 = 9 \cdot 10^9$ N · m²/C²; dB = – 0,18 m;

τ = – 80 J, negativo porque o trabalho realizado foi contra a força de campo.

Determine:

a) a energia potencial da carga *q* em *A* e em *B;*

$\tau_{AB} = E_A - E_B$; como A → α → $E_A = 0$

$-80 = 0 - E_B \rightarrow E_B = +80$ J

b) o potencial eletrico em *B;*

$\tau_{AB} = q(V_A - V_B) \rightarrow -80 = 2 \cdot 10^{-6} \,.\, (0 - V_B) \rightarrow \frac{8\,.\,10^{1}}{2\,.\,10^{-6}} = V_B \rightarrow V_B = 4 \cdot 10^{7}$ V

c) o valor da carga *q;*

$V_B = k_0 \cdot \frac{Q}{d_B} \rightarrow 4 \cdot 10^{7} = 9 \cdot 10^{9} \cdot \frac{Q}{0{,}18} \rightarrow 4 \cdot 10^{7} = 9 \cdot 10^{9} \cdot \frac{Q}{18\,.\,10^{-2}} \rightarrow 4 \cdot 10^{7} = 0{,}5 \cdot 10^{11} \cdot Q \rightarrow$

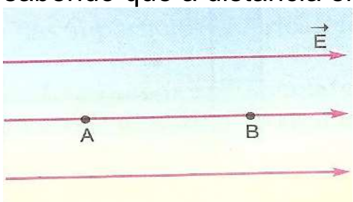
$Q = \frac{4\,.\,10^{7}}{0{,}5\,.\,10^{11}} \rightarrow Q = 8 \cdot 10^{-4}$ C

<u>Diferença de potencial num campo elétrico uniforme</u>. Um campo elétrico uniforme entre duas placas paralelas eletrizadas com cargas iguais e de sinais contrários, separadas pela distância *d*.

$$U_{AB} = E \cdot d$$

Exemplo:

1. Determine a ddp entre dois pontos *A* e *B*, de um campo elétrico uniforme de intensidade 10^5 N/C, sabendo que a distância entre esses pontos é de 0,2 cm.



Dados: $E = 10^5$ N/C;
$d = 0{,}2$ cm $= 0{,}002$ m $= 2 \cdot 10^{-3}$ m
$U_{AB} = E \cdot d \rightarrow U_{AB} = 1 \cdot 10^{5} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \rightarrow$
$U_{AB} = 2 \cdot 10^{2} \rightarrow$
$U_{AB} = 200$ V

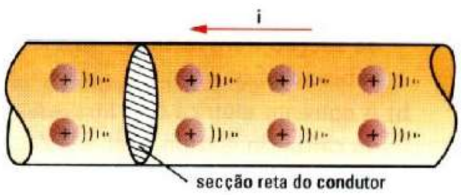
<u>Eletrodinâmica</u>: é a parte da física que estuda o comportamento das cargas elétricas em movimento.

Sabemos que os elétrons livres são aqueles que estão concentrados e desordenados na parte mais externa do átomo. Ao receberem cargas de um gerador, passam a se organizar originado uma corrente elétrica que decorre da influência de uma força elétrica responsável pelo movimento.

Podemos dizer que este movimento ordenado das cargas elétricas num condutor metálico cria a corrente elétrica. Assim, a corrente elétrica é um movimento ordenado de cargas positivas que se deslocam em sentido contrário ao da corrente real.Quanto à intensidade, temos dois tipos de corrente elétrica: contínua (o sentido permanece constante ao longo do tempo) e alternada (o sentido varia ao longo do tempo).

Portanto, dizemos que a intensidade de corrente elétrica será a medida da quantidade de carga que atravessa a secção reta do condutor na unidade de tempo considerada:

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



Onde o sentido da corrente é o sentido da carga elétrica.

A capacidade dos corpos de conduzir energia permite apontar formas de condução: condutores, supercondutores e isolantes (dielétricos).

- condutores: são os corpos responsáveis pela movimentação dos elétrons. Exemplo: metais.
- supercondutores: são aqueles corpos que oferecem pouca resistência à passagem de elétrons. Exemplo: cerâmicas supercondutoras.
- isolantes: são os corpos formados por elementos capazes de impedir a movimentação de elétrons. Exemplos: borracha, vidro, etc.

<u>Blindagem eletrostática</u>: é um dispositivo empregado na proteção de aparelhos contra as influências elétricas. As cargas elétricas se distribuem pela superfície de um condutor, independentemente dele ser oco ou maciço. Assim, no seu interior, o campo elétrico é nulo.

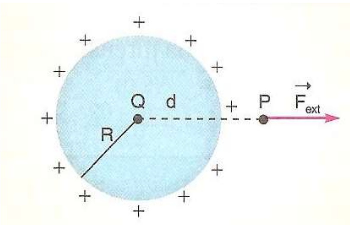
Densidade elétrica superficial: em um condutor a relação existente entre a quantidade de carga *Q* e a área *S* de uma superfície é definida como sendo a densidade elétrica superficial.
Assim: $\sigma = \frac{Q}{S}$. No SI, sua medida é dada em: C/m^2.

Para um condutor esférico, temos: $S = 4 \cdot \pi \cdot R^2$, portanto: $\sigma = \frac{Q}{4\,\pi\,R^2}$. Já para um condutor não esférico, a concentração de cargas será maior nas regiões mais pontiagudas do condutor.

Poder das pontas: princípio físico que rege o funcionamento de determinados objetos presentes no nosso cotidiano, por exemplo, as antenas e os para-raios. Pelo princípio, o excesso de carga elétrica em um condutor é distribuida por sua superfície externa, concentrando-se nas regiões pontiagudas ou de menor raio. Através das pontas, a energia é descarregada, por serem suas extremidades muito curvas,propiciando que a eletricidade se acumule nessas regiões. Como já vimos, a densidade elétrica será sempre maior nas regiões pontudas em comparação com as planas.

Cálculo do campo elétrico(E) e potencial(V)de um condutor em equilíbrio eletrostático . Num condutor de raio *R*, no vácuo, eletrizado com carga *Q* e em equilíbrio eletrostático, o cálculo do potencial adotando-se o referencial no infinito pode ser dado de quatro maneiras:

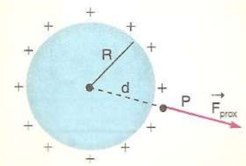
1) Quando o ponto for externo à esfera: externamente, supõe-se que a carga *Q* seja puntiforme e concentrada no centro da esfera.



$E_{ext} = k_0 \cdot \frac{|Q|}{d^2}$

$V_{ext} = k_0 \cdot \frac{Q}{d}$

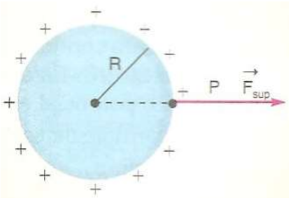
2) Quando o ponto estiver infinitamente próximo à esfera: consideramos d = R.



$E_{próx} = k_0 \cdot \frac{|Q|}{R^2}$

$V_{próx} = k_0 \cdot \frac{Q}{R}$

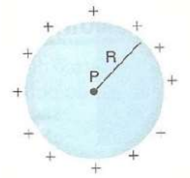
3) Quando na superfície da esfera: a intensidade do vetor campo elétrico tem seu valor reduzido à metade.



$E_{sup} = \frac{1}{2} \cdot k_0 \cdot \frac{|Q|}{R^2}$

$V_{sup} = k_0 \cdot \frac{Q}{R}$

4) Quando o ponto for interno na esfera: o campo é nulo e o potencial constante e igual ao potencial de sua superfície.



$E_{int} = 0$
$V_{int} = k_0 \cdot \frac{Q}{R}$

Capacidade de um condutor. A capacidade de um condutor eletrizado e isolado de outros é dado pelo quociente da sua carga armazenada *Q* pelo seu potencial *V*.

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

Para um condutor esférico de raio *R*, isolado no vácuo, temos:

$$C = \frac{R}{k}$$

Observação: a capacidade de um condutor esférico é diretamente proporcional ao seu raio.

No SI, a unidade de medida de capacidade é *farad* (F) que equivale a $\frac{1\ \text{coulomb}}{1\ \text{volt}}$.

<u>Energia potencial elétrica armazenada por um condutor eletrizado</u>: é dada pela relação:

$$E_p = \frac{Q \cdot V}{2}$$

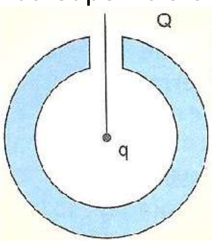
Como, $Q = C \cdot V$, resulta: $E_p = \frac{C \cdot V^2}{2}$

Observação: a energia potencial (E_p) armazenada no condutor, no SI, é medida em joule.

Exemplos:

1. (PUC-SP) Por que nos para-raios são geralmente utilizados metais pontiagudos? Porque cria um campo elétrico mais intenso em torno de si, facilitando a descarga elétrica das nuvens para o solo e vice-versa.

2. (UFPE) Uma grande esfera condutora, oca e isolada, está carregada com carga Q = 60 mC. Através de uma pequena abertura no topo da esfera, é introduzida uma pequena esfera, de carga q = – 6 mC, suspensa por um fio isolante. Se a pequena esfera toca a superfície interna do primeiro condutor, qual será a carga final da superfície externa da esfera maior?



Dados: Q = 60 mC; q = – 6 mC

A carga elétrica da esfera menor torna-se igual à carga elétrica da superfície interna, ou seja, nula. A superfície externa adquire carga Q' dada por:

Q' = Q + q → Q' = 60 – 6 → Q = 54 mC

3. (UFPEL) Para os gregos da Antiguidade, os relâmpagos eram dardos caprichosamente forjados por Hefaístos em sua oficina vulcânica do monte Etna. Finalidade: dar a Zeus instrumentos divinos para descarregar sua cólera sobre o mundo ou advertir os mortais.

Hoje sabemos que os relâmpagos são fenômenos luminosos associados às descargas no ar, que denominamos raios.

A figura mostra uma nuvem carregada positivamente atraindo elétrons do solo. Esses elétrons, pelo poder das pontas, acumulam-se nas extremidades superiores do para-raios.

a) Qual a direção e qual o sentido do vetor intensidade do campo elétrico no ponto *P*?

É vertical e orientado para baixo.

b) Qual a condição para que ocorra um raio entre a nuvem e o para-raios?

É necessário que o campo elétrico na região entre o para-raios e a nuvem se torne intenso o bastante para promover o movimento de elétrons do para-raios para a nuvem.

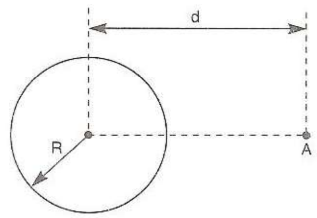
c) Quando ocorre uma descarga elétrica entre nuvens, o que percebemos primeiro, o relâmpago ou o trovão? Por quê?

O relâmpago, pois a luz viaja mais rápido que o som.

4. O potencial elétrico no interior de uma esfera metálica eletrizada é nulo? E o campo elétrico?

Não. Este potencial é diferente de zero e constante em toda a esfera. O campo elétrico é nulo para qualquer ponto no interior da esfera.

5. Consideremos uma esfera condutora de raio 50 cm, eletrizada positivamente e localizada no vácuo. Num ponto a 80 cm do centro da esfera, o vetor campo elétrico tem intensidade $1,8 \cdot 10^4$ N/C. Determine:



Dados: R = 50 cm = 0,5 m; d = 80 cm = 0,8 m; $E_A = 1,8 \cdot 10^4$ N/C; $k_0 = 9 \cdot 10^9$ Nm^2/C^2

a) a carga elétrica da esfera.

$E_{ext} = k_0 \cdot \frac{|Q|}{d^2} \rightarrow 1,8 \cdot 10^4 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{|Q|}{0,8^2} \rightarrow 1,8 \cdot 10^4 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{|Q|}{0,64} \rightarrow 1,8 \cdot 10^4 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{|Q|}{64 . 10^{-2}} \rightarrow \frac{1,8 . 10^4 . 64 . 10^{-2}}{9 . 10^9} = |Q| \rightarrow |Q| = \frac{115,2 . 10^2}{9 . 10^9} \rightarrow |Q| = 12,8 \cdot 10^{-7} \rightarrow |Q| = 1,28 \cdot 10^{-6}$ C

Como $Q > 0 \rightarrow |Q| = 1,28 \cdot 10^{-6}$ C

b) o potencial elétrico num ponto interno. Em qualquer ponto interno o potencial elétrico é igual ao potencial elétrico na superfície da esfera. Assim:

$V_{sup} = k_0 \cdot \frac{Q}{R} \rightarrow V_{sup} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{1,28 . 10^{-6}}{0,5} \rightarrow V_{sup} = \frac{11,52 . 10^3}{0,5} \rightarrow V_{sup} = 23,04 . 10^3 \rightarrow V_{sup} \cong 2,3 \cdot 10^4$ V

c) o potencial elétrico num ponto situado na superfície.

$V_{sup} \cong 2,3 \cdot 10^4$ V

d) o potencial elétrico num ponto situado a 2 m do centro da esfera.

$V_{ext} = k_0 \cdot \frac{Q}{d} \rightarrow V_{ext} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{1,28 . 10^{-6}}{2} \rightarrow V_{ext} = \frac{11,52 . 10^3}{2} \rightarrow V_{ext} = 5,76 \cdot 10^3$ V

6. Um condutor elétrico no vácuo e eletrizado com carga igual a 4 μC tem potencial elétrico de $2 \cdot 10^3$ V. Determine:

Dados: Q = 4 $\mu C = 4 \cdot 10^{-6}$ C; $V = 2 \cdot 10^3$ V

a) a capacitância do condutor.

$C = \frac{Q}{V} \rightarrow C = \frac{4 . 10^{-6}}{2 . 10^3} \rightarrow C = 2 \cdot 10^{-9}$ F $\rightarrow$ C = 2nF

b) a energia potencial elétrica armazenada no condutor.

$E_p = \frac{Q . V}{2} \rightarrow E_p = \frac{4 . 10^{-6} . 2 . 10^3}{2} \rightarrow Ep = 4 \cdot 10^{-3}$ J

Capacitores: também chamados de condensadores, são dispositivos que têm a função de armazenar cargas elétricas, constituídos basicamente de dois condutores separados por material isolante.

Energia armazenada por um capacitor. A utilização de capacitores nos circuitos elétricos deve-se ao fato de armazenarem energia elétrica. Quando um gerador carrega um capacitor fornece energia potencial, que será utilizada pelo circuito através da descarga do capacitor.

A relação da energia potencial elétrica armazenada num capacitor quando carregado é dada pela expressão:

$$E_p = \frac{CU^2}{2}$$

Capacitor plano: é aquele formado por placas paralelas, planas e iguais, estando separadas por um dielétrico. Suas características quanto à capacidade *C* são:

- ser diretamente proporcional à área A das armaduras;
- ser inversamente proporcional à distância d entre as armaduras;
- variar com a natureza do dielétrico colocado entre as armaduras.

Expressamos matematicamente como:

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

Onde ε corresponde à constante de proporcionalidade, que depende do tipo do dielétrico colocado entre as armaduras, chamada de permitividade (permissividade) absoluta do dielétrico. É resultante do produto entre a constante de permitividade do vácuo ε_0 e da constante dielétrica *k* do elemento isolante.

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot k$$

Sendo $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ F/m.

Como o campo elétrico entre placas paralelas é uniforme (U = Ed), teremos:

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

Exemplo:

1. Um capacitor plano tem armaduras de área 0,1 m^2, separadas pela distância de 1 cm. A ddp entre as armaduras vale 100 volts. Determine:

Dados: $A = 0{,}1\ m^2$; $d = 1\ cm = 10^{-2}\ m$; $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ F/m; U = 100 V

a) a capacitância de um capacitor, se entre as armaduras existe vácuo;

$C = \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d} \rightarrow C = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{0{,}1}{10^{-2}} \rightarrow C = 8{,}85 \cdot 10^{-11}$ F

b) a carga total adquirida em cada armadura;

$Q = C \cdot U \rightarrow Q = 8{,}85 \cdot 10^{-11} \cdot 100 \rightarrow Q = 8{,}85 \cdot 10^{-11} \cdot 10^2 \rightarrow Q = 8{,}85 \cdot 10^{-9}$ C

c) a nova capacitância do capacitor, quando se intercala, entre as armaduras, uma lâmina de vidro cuja constante dielétrica vale 6

$\varepsilon_{vidro} = \varepsilon_0 \cdot k \rightarrow \varepsilon_{vidro} = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 6$ F/m

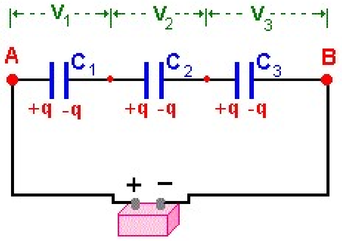
a nova capacitância será:

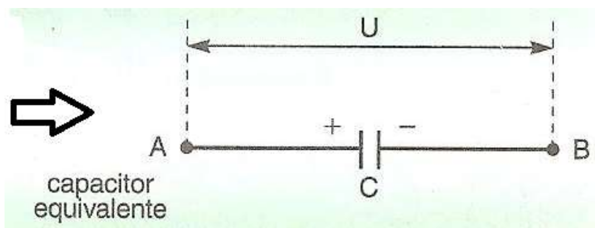
$C' = \varepsilon_{vidro} \cdot \frac{A}{d} \rightarrow C' = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 6 \cdot \frac{0{,}1}{10^{-2}} \rightarrow C' = 5{,}31 \cdot 10^{-10}$ F

Associação de capacitores. A associação deve-se à necessidade de atender a certos tipos de circuitos, principalmente os eletrônicos. São três os tipos de associação:

1) em série: a armadura negativa de um capacitor está ligada à armadura positiva do capacitor seguinte, suas cargas armazenadas são iguais em todos os capacitores, pois são carregados por indução. Suas características são:

- a carga Q é igual à dos demais capacitores, teremos então: $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$;
- a ddp é igual à soma das ddp's de cada capacitor, assim temos: $U = U_1 + U_2 + U_3$



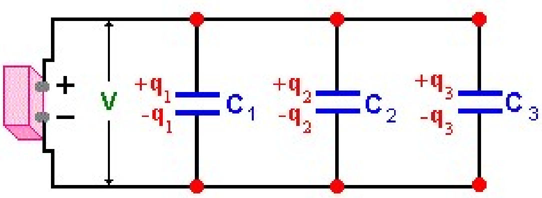


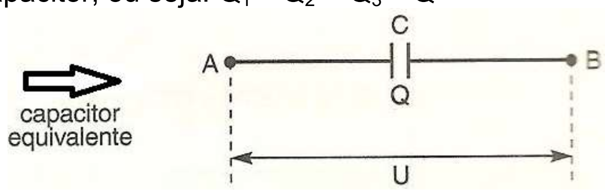
Para calcular a capacidade do capacitor equivalente, usamos a expressão:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

2) em paralelo: todas as armaduras positivas estão ligadas a um ponto de mesmo potencial, já todas as negativas estão ligadas a um outro ponto potencial comum, tendo todos os capacitores a mesma ddp, pois estão ligados aos mesmos dois pontos. Ao serem substituídas as associações por um único capacitor equivalente passam a ter as seguintes características:

- a ddp é igual à dos demais capacitores, assim: $U = U_1 = U_2 = U_3$;
- a carga armazenada é igual á soma das cargas dos capacitor, ou seja: $Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q$

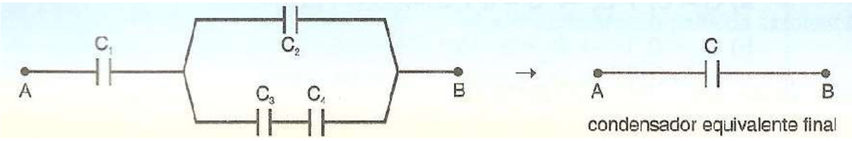




Para calcular a capacidade do capacitor equivalente, usamos a expressão:

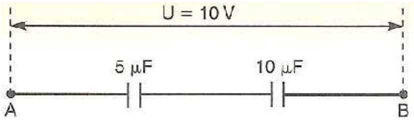
$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

3) em associações mistas: determinamos o capacitor equivalente a partir do cálculo da equivalência dos capacitores em cada associação, respeitando a ordem dos capacitores em paralelo para, posteriormente, em série.



Exemplos:

1. Dois capacitores, um de 5 μF e outro de 10 μF, são associados em série e lhes é aplicada nos terminais uma tensão de 10 V. Determine a capacidade equivalente, a carga de cada capacitor e a ddp à qual cada capacitor está submetido.



Dados: $C_1 = 5\ \mu F$; $C_2 = 10\ \mu F$; U = 10 V

$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \rightarrow \frac{1}{C} = \frac{1}{5} + \frac{1}{10} \rightarrow \frac{1}{C} = \frac{2+1}{10} \rightarrow \frac{1}{C} = \frac{3}{10} \rightarrow C = \frac{10}{3}\ \mu F$

A carga de cada capacitor é a mesma do capacitor equivalente. Então:

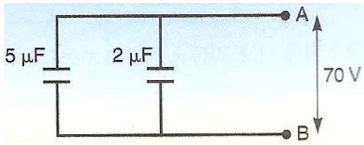
$Q = Q_1 = Q_2 \rightarrow Q = C \cdot U \rightarrow Q = \frac{10}{3} \cdot 10 \rightarrow Q = \frac{100}{3}\ \mu F$

A ddp para cada capacitor será:

$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} \rightarrow U_1 = \frac{\frac{100}{3}}{5} \rightarrow U_1 = \frac{20}{3} \rightarrow U_1 = 6{,}7$ V

$U_2 = \frac{Q_2}{C_2} \rightarrow U_1 = \frac{\frac{100}{3}}{10} \rightarrow U_1 = \frac{10}{3} \rightarrow U_1 = 3{,}3$ V

2. Dada a associação da figura ao lado, calcule:



a) a capacidade da associação equivalente;
b) a carga de cada capacitor;
c) a energia armazenada na associação;
d) a carga total armazenada.

Dados: $C_1 = 5\ \mu F$; $C_2 = 2\ \mu F$; U = 70 V

a) $C = C_1 + C_2 \rightarrow C = 5 + 2 \rightarrow C = 7\ \mu F$

b) $Q_1 = C_1 \cdot U \rightarrow Q_1 = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 70 \rightarrow Q_1 = 350 \cdot 10^{-6} \rightarrow Q_1 = 3{,}5 \cdot 10^{-4}$ C

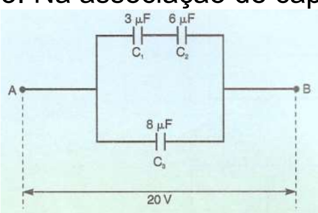
$Q_2 = C_2 \cdot U \rightarrow Q_2 = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 70 \rightarrow Q_2 = 140 \cdot 10^{-6} \rightarrow Q_2 = 1{,}4 \cdot 10^{-4}$ C

c) $E_p = \frac{CU^2}{2} \rightarrow E_p = \frac{7 \cdot 10^{-6} \cdot 70^2}{2} \rightarrow E_p = \frac{7 \cdot 10^{-6} \cdot 4{,}9 \cdot 10^3}{2} \rightarrow E_p = \frac{34{,}3 \cdot 10^{-3}}{2} \rightarrow E_p = 17{,}15 \cdot 10^{-3}$

$E_p = 1{,}715 \cdot 10^{-2}$ J

d) $Q = Q_1 + Q_2 \rightarrow Q = 3{,}5 \cdot 10^{-4} + 1{,}4 \cdot 10^{-4} \rightarrow Q = 4{,}9 \cdot 10^{-4}$ C

3. Na associação de capacitores da figura, determine:



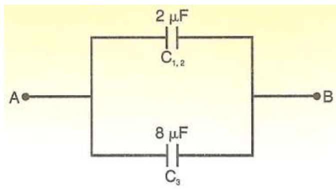
a) o capacitor equivalente;

- em série:

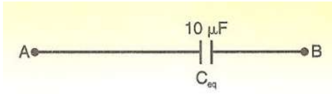
$\frac{1}{C_{1,2}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \rightarrow \frac{1}{C_{1,2}} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} \rightarrow$

$\frac{1}{C_{1,2}} = \frac{2+1}{6} \rightarrow$

$\frac{1}{C_{1,2}} = \frac{3}{6} \rightarrow C_{1,2} = 2\ \mu F$



- em paralelo:



$C_{eq} = 8 + 2 \rightarrow C_{eq} = 10\ \mu F$

b) a carga de cada capacitor;

$Q_{1,2} = C_{1,2} \cdot U \rightarrow Q_{1,2} = 2\mu F \cdot 20 \rightarrow Q_{1,2} = 40\ \mu F$

Como C1 está em série com C_2, apresentam a mesma carga de $C_{1,2}$.

$Q_{1,2} = Q_1 = Q_2 = 40\ \mu F$

Em C3 a ddp é de 20 V. Então:

$Q_3 = C_3 \cdot U \rightarrow Q_3 = 8 \cdot 20 \rightarrow Q_3 = 160\ \mu F$

Corrente elétrica. Chamamos corrente elétrica o deslocamento de partículas eletricamente carregadas que deixam de estar em equilíbrio eletrostático. O deslocamento destas cargas seguem uma determinada direção e um sentido.

Sentido da corrente elétrica. Nos sólidos é sempre no sentido do movimento dos elétrons do seu interior, ou seja, o sentido real da corrente elétrica. Já na eletricidade, o sentido adotado é o convencional; assim, o sentido da corrente elétrica é o deslocamento imaginário das cargas positivas do condutor, isto é, o mesmo do campo elétrico no seu interior.

Intensidade da corrente elétrica: é dada pela quantidade de carga elétrica por unidade de tempo.

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

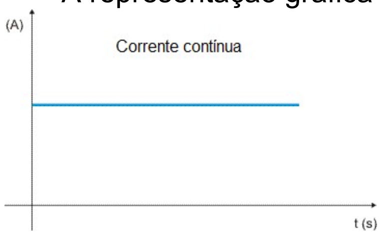
A quantidade de carga (ΔQ) é resultado do produto do número *n* de elétrons pela carga elementar do elétron ($\bar{e}$).

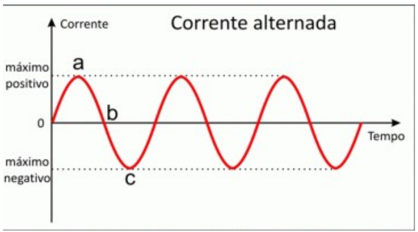
No SI, a unidade de medida de corrente elétrica (i) é *A* (ampère) que corresponde a $\frac{1\ \text{coulomb}}{1\ \text{segundo}}$.

Tipos de corrente elétrica. Vamos considerar dois os tipos de corrente elétrica para nosso estudo. Corrente elétrica contínua (CC) e corrente elétrica alternada (CA). Na contínua, o sentido se mantém constante e quando a intensidade também se mantém constante, temos a corrente contínua constante. Exemplos: baterias de automóveis e pilhas.

Já na corrente elétrica alternada, a intensidade e o sentido variam constantemente. Para exemplificar, as correntes utilizadas nas residências, cuja frequência é de 60 ciclos por segundo.

A representação gráfica das correntes é:





Exemplos:

1. (UFSC) Um fio é percorrido por uma corrente elétrica constante de 0,25 A. Calcule, em coulombs, a carga que atravessa uma secção reta do condutor, num intervalo de 160 s.

Dados: i = 0,25 A; t = 160 s

$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \rightarrow 0,25 = \frac{\Delta Q}{160} \rightarrow \Delta Q = 40\ C$

2. (PUC-SP) Uma lâmpada permanece acessa durante 1 h, sendo percorrida por uma corrente elétrica de intensidade igual a 0,5 A. Determine:

Dados: t = 1 h = 3 600 s; i = 0,5 A; carga elementar do elétron $\bar{e} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C

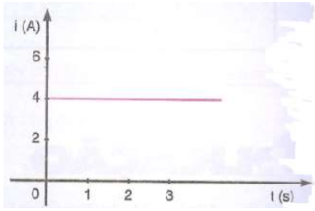
a) Qual a carga elétrica que passou por uma secção de seu filamento?

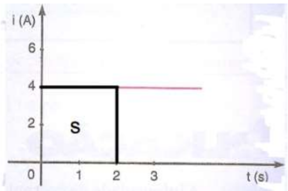
$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \rightarrow 0,5 = i = \frac{\Delta Q}{3\,600} \rightarrow \Delta Q = 1\,800\ C$

b) Quantos elétrons passaram?

$Q = n \cdot \bar{e} \rightarrow 1\,800 = n \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \rightarrow n = \frac{1{,}8 \cdot 10^{3}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} \rightarrow n = 1{,}125 \cdot 10^{22}$ elétrons

3. (UFRGS) O gráfico da figura ao lado representa a intensidade de corrente i em um fio condutor, em função do tempo transcorrido t. Calcule a carga elétrica que passa por uma secção do condutor nos dois primeiros segundos.
Dados: $i = 4$ A; $\Delta t = 2$ s





Sabendo que a área S da figura é numericamente igual à quantidade de carga ΔQ que atravessa o condutor: $\Delta Q \overset{N}{=} S$

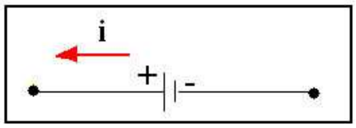
$\Delta Q = \Delta t \cdot i \rightarrow \Delta Q = 2 \cdot 4 \rightarrow \Delta Q = 8$ C

<u>Efeitos produzidos pela corrente elétrica</u>. Estão listados a seguir os seguintes efeitos que a corrente elétrica pode produzir ao percorrer um condutor.

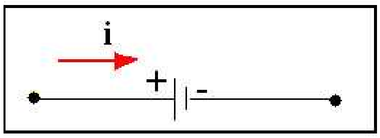
- Efeito térmico ou efeito Joule: é o fenômeno de aquecimento de um condutor, devido à passagem de corrente elétrica. Exemplos: ferro elétrico, secador de cabelos etc.
- Efeito luminoso: a passagem de corrente elétrica, em determinadas condições, através de um gás rarefeito, faz com que ele emita luz. Exemplos: lâmpadas de néon e fluorescentes etc.
- Efeito magnético: um condutor quando percorrido por uma corrente elétrica gera um campo magnético na região. Exemplos: transformadores, motores, relés etc.
- Efeito químico: uma solução eletrolítica sofre decomposição quando é atravessada por uma corrente elétrica. É a eletrólise. Exemplo: revestimento de metais (cromagem).
- Efeito fisiológico: é o popular choque elétrico.

<u>Elementos que compõem o circuito elétrico</u>. Para que haja existência de corrente elétrica, algumas condições são necessárias, como, por exemplo, uma fonte de energia elétrica, um condutor em circuito fechado e um elemento para utilizar a energia da fonte.

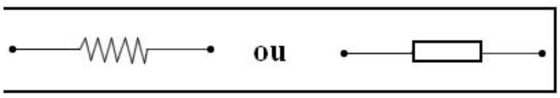
- gerador elétrico: dispositivo capaz de transformar energia elétrica em outra modalidade de energia. Sua função não é gerar energia, mas sim fornecer energia, podendo ser químicos (pilha, bateria) ou mecânicos (dínamo, alternador de motor de automóvel). São representados por:



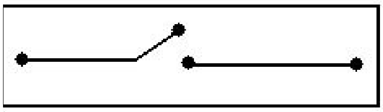
- receptor: é o dispositivo capaz de transformar energia elétrica em outra modalidade de energia, por exemplo, a térmica, a mecânica etc. Os motores são os principais receptores, pois transformam energia elétrica em energia mecânica e também parte dessa energia se dissipa sob a forma de calor. Sua representação é



- resistor elétrico: dispositivo que transforma toda a energia elétrica consumida em calor. Exemplificando, temos os ferros elétricos, os aquecedores, as lâmpadas comuns, os chuveiros elétricos e os fios condutores em geral. Sua representação no circuito é:



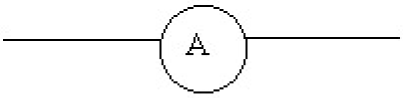
- dispositivos de manobra: são aqueles elementos que servem para acionar ou desligar um circuito elétrico, os interruptores servem como exemplo. Assim é representado no circuito:



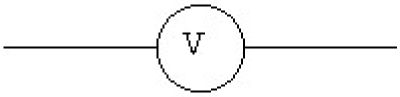
- dispositivo de segurança: servem para interromper a passagem de corrente elétrica quando a intensidade desta for maior que o previsto. Por exemplo, os disjuntores e fusíveis. Sua representação no circuito é:

- dispositivos de controle: são utilizados para medir a intensidade de corrente elétrica e a diferença de potencial (ddp) existente entre dois pontos, ou para detectá-la. Por exemplo, o amperímetro, o voltímetro e o galvanômetro são os mais utilizados.

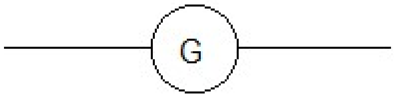
O amperímetro serve para medir a intensidade de corrente elétrica.



O voltímetro é utilizado para medir a ddp entre dois pontos.

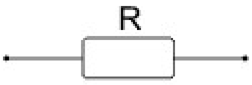


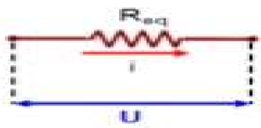
O galvanômetro indica a passagem de corrente elétrica ou a existência de uma ddp.



<u>Resistores</u>: são dispositivos utilizados em circuitos elétricos cuja função é fazer a conversão de energia elétrica em térmica, atuando como dissipadores de eletricidade. Exemplificando, temos as lâmpadas incandescentes, as estufas, os chuveiros elétricos etc.

Todas as resistências em circuitos elétricos decorrentes de resistores são ligações entre condutores ideais. Podem ser representados de diversas maneiras, como por exemplo:





Definimos resistência elétrica (R) do resistor como sendo o quociente da diferença de potencial (ddp) (U) aplicada pela corrente elétrica (i) que o atravessa.

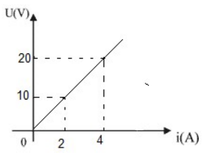
Assim, a expressão dada é:

$$R = \frac{U}{i}$$

No SI, a unidade de medida para resistência elétrica é o ohm (Ω). Sabendo que 1 ohm (Ω) é a resistência que um resistor, submetido à ddp de 1 volt (V), impõe à passagem de uma corrente de 1 ampère (A).

Exemplo:

1. O gráfico representa a curva característica de um resistor.



Determine:

a) a resistência elétrica desse resistor;

$R = \frac{U}{i} \rightarrow R = \frac{10}{2} = \frac{20}{4} \rightarrow R = 5\ \Omega$

b) a ddp aplicada ao resistor quando percorrido por uma corrente de 10 A.

$U = R \cdot i \rightarrow U = 5 \cdot 10 \rightarrow U = 50\ V$

Leis de Ohm. Os estudos desenvolvidos por Ohm permitiram estabelecer as duas leis apresentadas a seguir.

1ª lei de Ohm: num resistor, mantido a uma temperatura constante, a intensidade da corrente elétrica é diretamente proporcional à ddp que a originou. Devemos observar que o experimento foi desenvolvido tendo como base um condutor de resistência constante, por isso são considerados condutores ôhmicos.

$$R = \frac{U}{i} \longrightarrow U = R \cdot i$$

2ª lei de Ohm: a resistência depende do formato do condutor considerando sua espessura e comprimento e o material de que é feito. Assim, estabeleceu que a resistência é diretamente proporcional ao comprimento do condutor e inversamente proporcional à área de secção do condutor, ou seja sua espessura. A expressão que define a lei é:

$$R = \rho \cdot \frac{\ell}{S}$$

O coeficiente de proporcionalidade ρ (rô) refere-se à resistividade elétrica do material que constitui o condutor. Sua resistividade corresponde à resistência de um resistor de comprimento unitário e de secção unitária. Logo: **R = ρ**

No SI, sua unidade de medida é o $\Omega \cdot m$.

Exemplo:

1. A resistividade do cobre a 20 ºC é $1{,}7 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m$. Determine a resistência de um fio de cobre de 1 m de comprimento e 0,2 cm^2 de área de secção transversal nessa temperatura.

Dados: $\rho = 1{,}7 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m$; $\ell = 1$ m; S = 0,2 cm2 = $0{,}2 \cdot 10^{-4}\ m^2$.

$$R = \rho \cdot \frac{\ell}{S} \rightarrow R = 1{,}7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{1}{0{,}2 \cdot 10^{-4}} \rightarrow R = 8{,}5 \cdot 10^{-4}\ \Omega$$

Potência elétrica dissipada: é a quantidade de energia térmica que passa por condutor durante uma quantidade de tempo. Assim, temos:

$$P = U \cdot i$$

No SI, a unidade de medida para potência é o watt (W), ou seja, joule por segundo (J/s).

Usando a definição de resistência, temos que:

$$P = U \cdot i \begin{cases} U = R \cdot i \rightarrow P = R \cdot i^2 \\ i = \frac{U}{R} \rightarrow P = \frac{U^2}{R} \end{cases}$$

Considerando que toda energia perdida em um circuito é resultado do efeito joule e que a energia transformada em calor é igual à energia perdida por uma carga **q** que passa pelo condutor.

Como vimos, a quantidade de energia elétrica consumida no resistor, durante um intervalo de tempo, é denominada energia dissipada e sua expressão é:

$$\tau = P \cdot \Delta t$$

Uma das formas de medir energia muito utilizada é o quilowatt-hora (kWh), como podemos observar na nossa conta de luz que pagamos todos os meses, onde 1 kWh é a quantidade de energia com potência de 1 kW, que é transformada no intervalo de 1 hora. A relação estabelecida entre 1 kWh e o J é:

$1\ kWh = 1\ 000\ W \cdot 3\ 600\ s = 3{,}6 \cdot 10^6\ J$

$$\mathbf{1\ kWh = 3{,}6 \cdot 10^6\ J}$$

Exemplos:

1. Tem-se um chuveiro com a inscrição: 220 V / 4 800 W, ligado a uma instalação elétrica protegida por um fusível de 30 A. É possível colocar esse chuveiro em funcionamento utilizando essa instalação?

Dados: U = 220 V; P = 4 800 W

$P = U \cdot i \rightarrow i = \frac{P}{U} \rightarrow i = \frac{4\,800}{220} \rightarrow i = 22$ A. Sim, sendo o fusível de 30 A.

2. Um resistor de 100 Ω é utilizado para aquecer água. Os terminais do resistor recebem ddp de 110 V da rede elétrica. A massa de água no recipiente é de 200 g. Desprezando as perdas de calor, determine:

Dados: R = 100 Ω; U = 110 V; m = 200 g; 1 cal = 4,2 J; 1 min = 60 s

a) Qual a potência dissipada no resistor?

$P = \frac{U^2}{R} \rightarrow P = \frac{110^2}{100} \rightarrow P = \frac{12\,100}{100} \rightarrow P = 121$ W

b) Qual será a elevação de temperatura da água em 1 min?

$\tau = P \cdot \Delta t \rightarrow \tau = P \cdot \Delta t \rightarrow \tau = 121 \cdot 60 \rightarrow \tau = 7\,600\ \tau = 7{,}6 \cdot 10^3$ J

$Q = \frac{7{,}6 \,.\, 10^3}{4{,}2} \rightarrow Q = 1{,}7 \cdot 10^3$ cal

Sendo o calor específico da água líquida 1,0 cal/g°C. A massa de água é m = 200 g, temos:

$Q = m \,.\, c \,.\, \Delta\theta \rightarrow 1{,}7 \cdot 10^3 = 200 \cdot 1 \cdot \Delta\theta \rightarrow \Delta\theta = \frac{1{,}7 \,.\, 10^3}{200} \rightarrow \Delta\theta = 8{,}5$ ºC

3. Um ferro elétrico consome uma potência de 1 100 W quando ligado a 110 V. Determine:

a) a intensidade da corrente utilizada pelo ferro elétrico;

Dados: P = 1 100 W; U = 110 V; $\Delta t = 30$ min = 1 800 s = $\frac{1}{2}$ h.

$P = U \cdot i \rightarrow 1\,100 = 110 \cdot i \rightarrow i = \frac{1\,100}{100} \rightarrow i = 10$ A

b) a resistência do ferro elétrico;

$U = R \cdot i \rightarrow 110 = R \cdot 10 \rightarrow R = \frac{110}{10} \rightarrow R = 11\ \Omega$

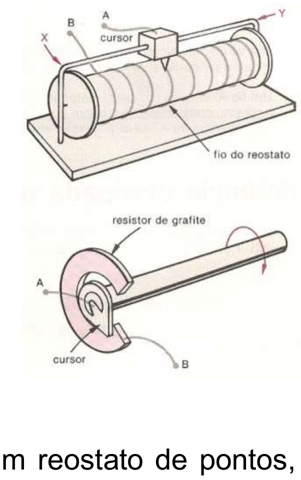
c) a energia elétrica consumida pelo ferro elétrico em 30 min, em joules e quilowatts-hora.

$\tau = P \cdot \Delta t \rightarrow \tau = 1\,100 \cdot 1\,800 \rightarrow \tau = 1\,980\,000 \rightarrow \tau = 1{,}98 \cdot 10^6$ J

Em kWh:

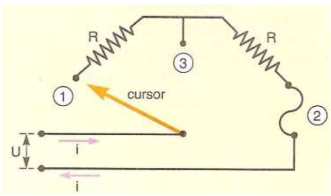
$\tau = P \cdot \Delta t \rightarrow \tau = 1\,100 \cdot \frac{1}{2} \rightarrow \tau = 550$Wh $\rightarrow \tau = 0.55$ kWh

<u>Reostato</u>: consiste num resistor cuja resistência pode ser ajustada em função do comprimento utilizado de um fio. Podemos observar no reostato da figura que a resistência entre os pontos A e B depende da posição do cursor. Quando o cursor está na posição X, o fio do reostato não é utilizado, sendo sua resistência zero. Conforme o cursor for sendo deslocado para a posição Y, aumenta o comprimento útil do fio, logo a resistência do reostato aumenta. Ao chegar em Y, dizemos que a resistência é máxima.



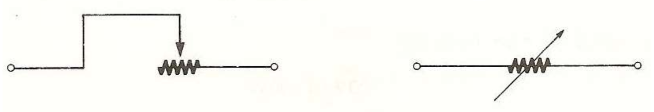
Em chuveiros elétricos, a variação da resistência através de um reostato de pontos, possibilita um maior ou menor aquecimento. Como num chuveiro a ddp é mantida constante, quanto menor a resistência, maior a potência.

$P = \frac{U^2}{R}$, então:

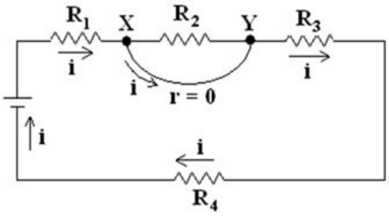


1: morno
2: frio
3: quente

Simbolicamente, representamos um reostato no circuito elétrico através de:

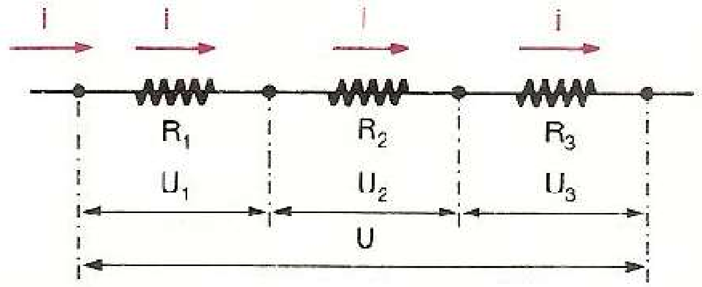


<u>Curto-circuito</u>: ocorre porque a corrente elétrica que sai do gerador percorre todo o circuito e volta com a intensidade muito elevada. Dizemos então que dois pontos estão em curto-circuito quando eles forem ligados por um condutor de resistência desprezível. O total da corrente é desviado para esse condutor, e o resistor, por não ter atuação, pode ser eliminado do trecho curto-circuito.



<u>Associação de resistores</u>. Como vimos anteriormente, resistores são dispositivos utilizados em circuitos elétricos cuja função é converter energia elétrica em energia térmica. Apresentamos três tipos de resistores, em série, em paralelo e misto.

- Em série: são aqueles em que a corrente elétrica tem um único trajeto. Como exemplo, temos a iluminação de uma árvore de Natal, pois as lâmpadas são de baixa tensão.



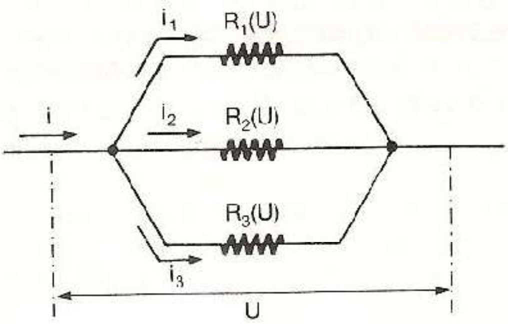
Podemos dizer que a diferença de potencial da associação em série é igual à soma das diferenças de potencial de cada resistor.

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + ...$$

A resistência equivalente de uma associação de resistores em série é igual à soma das resistências dos resistores.

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + ...$$

- Em paralelo: quando vários resistores estão associados em paralelo, a diferença de potencial entre os terminais de cada resistor é a mesma.



Assim, a intensidade de corrente da associação é igual à soma das intensidades de corrente dos resistores.

$$i = i_1 + i_2 + i_3 + ...$$

Também, segundo a Lei de Ohm, a corrente elétrica, ao entrar numa associação em paralelo se divide fazendo com que cada resistor seja atravessado por parte da corrente total.

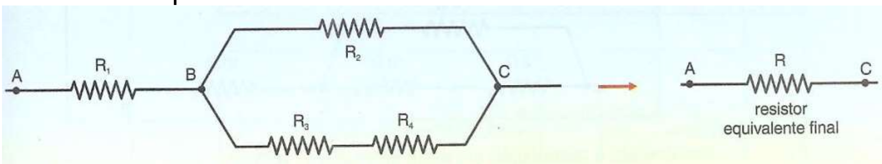
Numa associação resistores em paralelo, o inverso da resistência equivalente é igual à soma dos inversos das resistências dos resistores associados.

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

Temos um caso particular de dois resistores associados em paralelo, no qual a resistência equivalente corresponde a metade das resistências dadas.

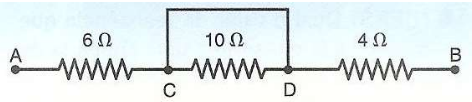
$$R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

- Associação mista: é a combinação das ligações em série e em paralelo. O cálculo é feito por partes até se chegar a um único resistor equivalente.



Exemplos:

1. Entre os terminais *A* e *B* da figura aplica-se uma ddp de 20 V. Determine:



a) a resistência equivalente da associação:

$R_s = R_1 + R_2 \rightarrow R_s = 6 + 4 \rightarrow R_s = 10\ \Omega$

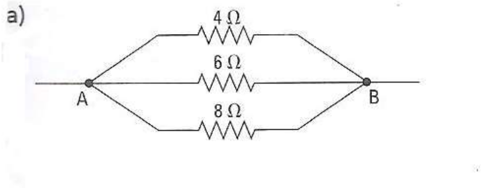
Os pontos *C* e *D* estão em curto-circuito (estão ligados por um fio de resistência desprezível). Portanto, são pontos coincidentes que apresentam o mesmo potencial. Nesse caso, a corrente passará integralmente pelo fio, deixando de existir no circuito o resistor de 10 Ω.

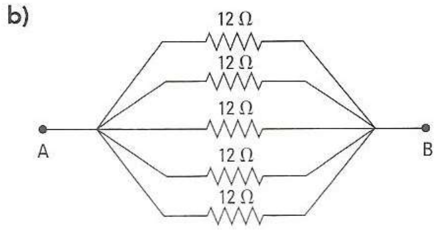
b) Aplicando a lei de Ohm:

$U_{AB} = R_s \cdot i \rightarrow 20 = 10 \cdot i \rightarrow i = \frac{20}{10} \rightarrow i = 2$ A

]

2. Determine a resistência equivalente entre os pontos *A* e *B* nas associações a seguir.



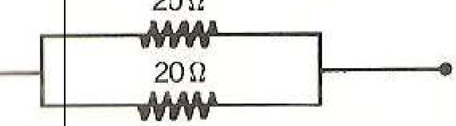


$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{4} + \frac{1}{6} + \frac{1}{8} \rightarrow \frac{1}{R_{eq}} = \frac{6+4+3}{24} \rightarrow$
$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{13}{24} \rightarrow R_{eq} = \frac{24}{13} \cong 1{,}8\ \Omega$

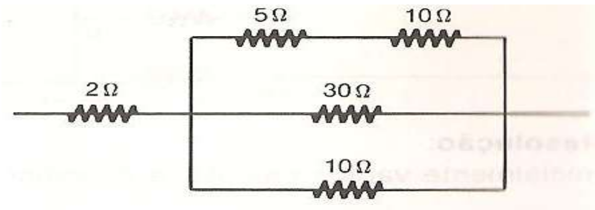
$R_{eq} = \frac{12}{5} \rightarrow R_{eq} = 2{,}4\ \Omega$

3. Calcule a resistência equivalente no circuito:

$R_{eq} = \frac{R_1\ .\ R_2}{R_1 + R_2} \rightarrow R_{eq} = \frac{20\ .\ 20}{20 + 20} \rightarrow$
$R_{eq} = \frac{400}{40} \rightarrow R_{eq} = 10\ \Omega$



4. Calcule a resistência equivalente a está associação:



1.º) $R_s = R_1 + R_2 \rightarrow R_s = 5 + 10 \rightarrow$
$R_s = 15\ \Omega$

2.º) $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \rightarrow$

$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{15} + \frac{1}{30} + \frac{1}{10} \rightarrow$

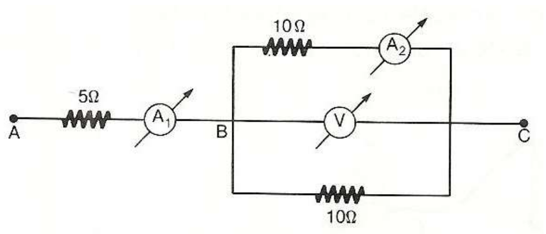
$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{2+1+3}{30} \rightarrow \frac{1}{R_{eq}} = \frac{6}{30} \rightarrow R_{eq} = 5\ \Omega$

]

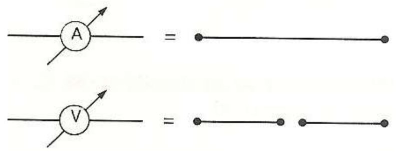
3.º) $R_{eq} = 2 + 5 \rightarrow R_{eq} = 7\ \Omega$

<u>Utilização de medidores elétricos.</u> Os dispositivos de segurança devem ser colocados em série nos circuitos, pois a sobrecarga de corrente elétrica faz com que eles se rompam causando a interrupção da corrente elétrica. Anteriormente já foram definidos alguns medidores como o amperímetro, o voltímetro e o galvanômetro.
Exemplos:

1. Determine a leitura dos medidores deste circuito, sabendo que a ddp aplicada ao sistema é de 200 V. Suponha que esses medidores sejam ideais.

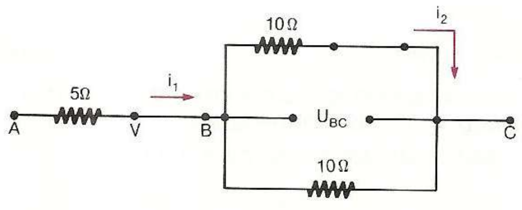


Também no circuito, os amperímetros funcionam como condutores ideais e o voltímetro como um trecho aberto.



Sendo medidores ideais, temos para os amperímetros resistência interna nula e para o voltímetro resistência interna infinita.

Redefinindo o sistema, temos:



A leitura do amperímetro A_1 é a corrente i_1, e a leitura de A_2 é i_2. O voltímetro lê a ddp U_{BC}.

O cálculo da resistência equivalente é (conjunto misto – 1.º fazemos o paralelo, 2.º a série):

1.º) $R_{eq} = \frac{R_1\ .\ R_2}{R_1 + R_2} \rightarrow R_{eq} = \frac{10\ .\ 10}{10\ +10} \rightarrow R_{eq} = \frac{100}{20} \rightarrow R_{eq} = 5\ \Omega$

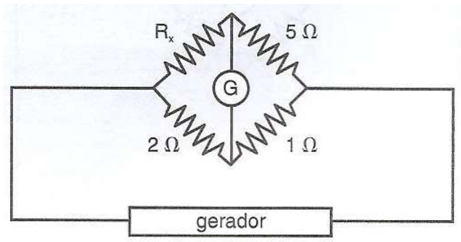
2.º) $R_{eq} = R_1 + R_2 \rightarrow R_{eq} = 5+ 5 \rightarrow R_{eq} = 10\ \Omega$

Sendo U = 200 V a ddp da associação é:
$U = R \cdot i \rightarrow 200 = 10 \cdot i \rightarrow i = \frac{200}{10} \rightarrow i = 20$ A (leitura do A_1 = 20 A)
Para o cálculo da ddp U_{BC}, será usado a resistência entre B e C,que é de 5 Ω
$U_{BC} = R_{BC} \cdot i \rightarrow U_{BC} = 5 \cdot 20 \rightarrow U_{BC} = 100$ V (leitura do voltímetro)

Para calcular a corrente i_2, devemos considerar que ela percorre um resistor de 10 Ω e que a ddp nesse resistor é U_{BC} = 100 V, então:

$i_2 = \frac{U_{BC}}{R} \rightarrow i_2 = \frac{100}{10} \rightarrow i_2$ = 10 A (leitura do A_2 = 10 A)

2. O galvanômetro G do circuito da figura não é atravessado por corrente elétrica. Determine o valor da resistência R_X. (Observação: o circuito também pode ser chamado de ponte de Wheatstone, utilizado para determinar o valor de uma das quatro resistências que a compõe, formando um losango e alimentadas por um gerador. O galvanômetro liga dois pontos que pertencem a ramos diferentes.)



$\frac{R_X}{R_1} = \frac{R_2}{R_3} \rightarrow R_X \cdot R_3 = R_1 \cdot R_2 \rightarrow$
$R_X \cdot 1 = 5 \cdot 2 \rightarrow R_X = 10\ \Omega$

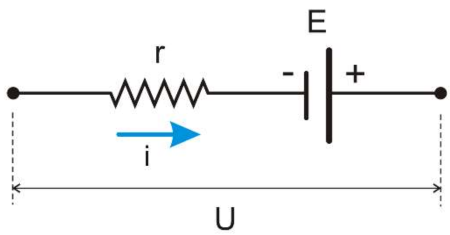
Gerador: é um aparelho no qual a energia química, a mecânica, a solar ou de outra natureza qualquer é transformada em energia elétrica.

Força eletromotriz (f.e.m.): é a propriedade que um gerador tem de produzir corrente elétrica em um circuito. Ou seja, existe uma força dentro do gerador que faz com que os elétrons se movimentem do polo positivo para o polo negativo. Essa força será chamada de trabalho do gerador.
Para uma carga q, o gerador realiza um trabalho τ_G. A razão entre o trabalho do gerador e essa carga recebe o nome de força eletromotriz (E). Temos, então:

$$E = \frac{\tau_G}{\Delta q}$$

No SI, a unidade de medida para f.e.m. é volt (V).
Não esqueça que f.e.m. e força do gerador não significam a mesma coisa, pois força do gerador é aquela que o gerador aplica aos elétrons, que por sua vez é medida em newton (N).

Gerador ideal: é aquele onde não ocorre dissipação de energia. A corrente elétrica convencional entra no gerador pelo polo negativo e sai pelo polo positivo e o trabalho realizado se transforma integralmente, ao longo do circuito, em trabalho da força elétrica. Sua representação é:



A ddp ***U*** que o gerador fornece nos seus terminais é igual a sua f.e.m. $\boldsymbol{\varepsilon}$ menos a ddp correspondente ao produto **r · i**. Temos, então:

$$U = E - r \cdot i$$

Rendimento do gerador: é dado pela relação entre a potência elétrica útil fornecida ao circuito externo e sua potência elétrica total gerada.

$$\eta = \frac{U}{E}$$

Lei de Ohm-Pouillet: estabeleceu a maneira experimental de determinar a corrente elétrica num circuito em que não existem ligações em paralelo.
A equação do gerador é dada por:
$U = E - r \cdot i$;
Nos terminais do resistor a ddp é U, então U = R. i

$E = (r + R) \cdot i$ ou $i = \frac{E}{r + R}$

Associação de geradores. Para um melhor aproveitamento de suas características de resistência interna e de f.e.m. os geradores podem ser associados. São dois os tipos de associação: série e paralelo.

- série: tem por objetivo aumentar a potência fornecida através do aumento da f.e.m. do sistema. A corrente que atravessa todos os geradores é a mesma e a f.e.m. é a soma das f.e.m. dos geradores em série, são características desse tipo de associação.

$$E_s = E_1 + E_2 + E_3 + ...$$
$$r_s = r_1 + r_2 + r_3 + ...$$

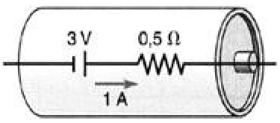
- paralelo: seu objetivo também é aumentar a potência fornecida, porém através do aumento da intensidade da corrente do sistema. Os polos positivos são ligados a um único ponto, bem como os polos negativos serão ligados a um único ponto. A característica das associações em paralelo é que a corrente se subdivide entre os geradores e a f.e.m. da associação é igual àquela de cada um dos geradores associados.

$$E_p = E$$
$$\frac{1}{r_p} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + ...$$

Caso a associação tiver n geradores iguais, teremos: $r_p = \frac{r}{n}$

Exemplos:

1. A pilha da figura está sendo percorrida por uma corrente de 1 A. Determine:
Dados: E = 3 V; r = 0,5 Ω; i = 1 A; Δt = 20 s

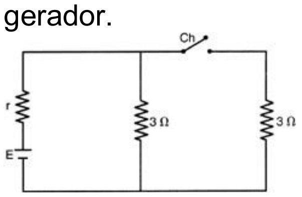


a) a ddp entre seus terminais *A* e *B*;
$U = E - r \cdot i \rightarrow U = 3 - 0,5 \cdot 1 \rightarrow U = 3 - 0,5 \rightarrow U = 2,5$ V

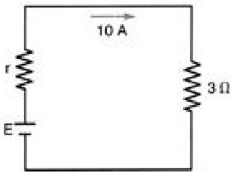
b) a potência dissipada na pilha;
$P_d = r \cdot i^2 \rightarrow P_d = 0,5 \cdot 1^2 \rightarrow P_d = 0,5$ W

c) o rendimento da pilha;
$\eta = \frac{2,5}{3} \rightarrow \eta = 0,83 \rightarrow \eta = 83\ \%$
d) a energia entregue ao circuito externo, se a pilha permanecer ligada por 20 s.
$\tau_u = P_u \cdot \Delta t \rightarrow \tau_u = U \cdot i \cdot \Delta t \rightarrow \tau_u = 2,5 \cdot 1 \cdot 20 \rightarrow \tau_u = 50$ J

2. Um gerador está ligado como na figura. Com a chave Ch aberta, a corrente que o atravessa é de 10 A; com a chave fechada, a corrente passa a ser de 16 A. Determine a resistência interna r e a fem E do gerador.

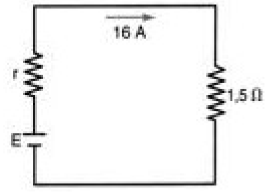


Com a chave aberta, temos:



$i = \frac{E}{r + R} \rightarrow 10 = \frac{E}{r + 3} \rightarrow 10 \cdot (r + 3) = E$ (equação 1).

Com a chave fechada, teremos:



$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{3} + \frac{1}{3} \rightarrow \frac{1}{R_{eq}} = \frac{2}{3} \rightarrow R_{eq} = \frac{3}{2} \rightarrow R_{eq} = 1{,}5\ \Omega$

$16 = \frac{E}{r + 1{,}5} \rightarrow 16 \cdot (r + 1{,}5) = E$ (equação 2)

Igualando as equações 1 e 2, temos:

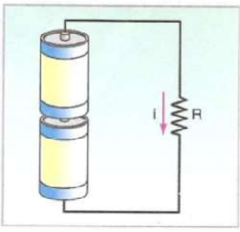
$10 \cdot (r + 3) = 16 \cdot (r + 1{,}5) \rightarrow 10r + 30 = 16r + 24 \rightarrow 10r - 16r = 24 - 30 \rightarrow -6r = -6 \rightarrow$

$r = \frac{-6}{-6} \rightarrow r = 1\ \Omega$

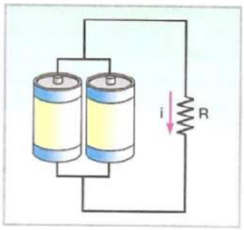
Substituindo na equação 1, temos: $E = 10 \cdot (r + 3) \rightarrow E = 10 \cdot (1 + 3) \rightarrow E = 10 \cdot 4 \rightarrow E = 40\ V$

3. Duas pilhas iguais, cada uma com fem E = 1,5 V e resistência interna r = 0,5 Ω, são associadas e a associação é ligada a um resistor de 2 Ω, conforme as figuras. Determine a intensidade da corrente no resistor em cada uma das associações.

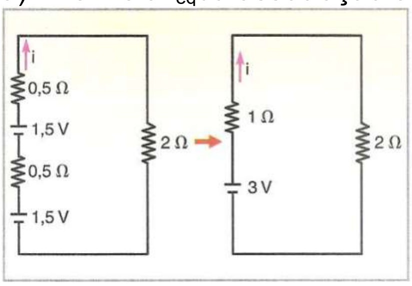
a)



b)



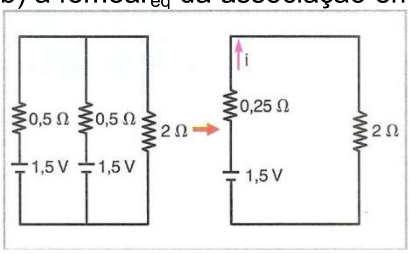
a) A fem e a i_{eq}da associação em série são:



$E_s = 1{,}5 + 1{,}5 \rightarrow E_s = 3{,}0\ V$

$r_s = 0{,}5 + 0{,}5 \rightarrow r_s = 1{,}0\ \Omega$

b) a femear_{eq} da associação em paralelo são:



$E_p = 1{,}5\ V$

$r_p = \frac{0{,}5}{2} \rightarrow r_p = 0{,}25\ \Omega$

Aplicando a lei de Ohm-Pouillet:

$i = \frac{E}{r + R} \rightarrow i = \frac{1{,}5}{0{,}25 + 2} \rightarrow i = \frac{1{,}5}{2{,}25} \rightarrow i \cong 0{,}67\ A$

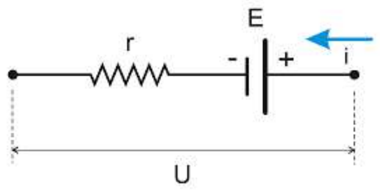
<u>Receptores</u>: são dispositivos que convertem energia elétrica em qualquer outro tipo de energia que não seja somete térmica. Ou seja, funciona de maneira oposta ao gerador.

Força contra-eletromotriz (f.c.e.m.): é a que corresponde à quantidade de energia elétrica transformada em energia não-elétrica (com exceção do calor) por unidade de carga que atravessa o receptor. Simbolicamente é representada por **ε'**.

$$\varepsilon' = \frac{\tau_u}{\Delta Q}$$

No SI, a f.c.e.m. é medida em volt (V).

Receptor ideal. Num receptor ideal, a tensão é sempre igual à força contra-eletromotriz, sua representação, ao ser atravessado por uma corrente convencional, é percorria do polo positivo para o polo negativo.



<u>Resistência interna de um receptor.</u>Ao percorrer o receptor no sentido da corrente, podemos observar que Eeri representam perda de potencial das cargas que atravessam o receptor. Assim, podemos dizer que a ddp$U$ nos terminais do receptor é igual ao trabalho E que as cargas realizam sobre ele mais a perda ri devida à sua resistência interna. Sua expressão é:

$$U = E + r.i$$

<u>Rendimento elétrico de um receptor</u>: é a relação entre a potência útil fornecida e a potência elétrica total fornecida ao receptor.

$$\eta = \frac{E}{U}$$

Observação: quando r = 0 (receptor ideal), o rendimento é máximo, η = 1, ou seja, é impossível obtermos na prática rendimento de 100%.

Exemplos:

1. Aplica-se uma ddp de 200 V a um motor elétrico de resistência interna 40 Ω. Nessas condições, circula no motor uma corrente elétrica de intensidade 100 mA. Calcule a força contra-eletromotriz desse motor.

1 mA = 1 miliampère = 0,001 A = 1 milésimo de ampère

Dados: U = 200 V; r = 40 Ω; i = 100 mA = 0,1 A

$U = E + r \cdot i \rightarrow 200 = E + 40 \cdot 0{,}1 \rightarrow 200 = E + 4 \rightarrow 200 - 4 = E \rightarrow E = 196$ V

2. Um motor elétrico recebe a potência de 1 000 W, sob a tensão de 100 V. Sabendo que a potência dissipada internamente é igual a 200 W, determine:

Dados: P_t = 1 000 W; U = 100 V; P_d = 200 W

a) a sua resistência interna;

$P_t = U \cdot i \rightarrow 1\,000 = 100 \cdot i \rightarrow \frac{1\,000}{100} = i \rightarrow i = 10$ A

$P_d = r \cdot i^2 \rightarrow 200 = r \cdot 10^2 \rightarrow 200 = r \cdot 100 \rightarrow \frac{200}{100} = r \rightarrow r = 2\ \Omega$

b) a f.c.e.m. do motor;

$P_t = P_u + P_d \rightarrow 1\,000 = P_u + 200 \rightarrow 1\,000 - 200 = P_u \rightarrow P_u = 800$ W

$P_u = E \cdot i \rightarrow 800 = E \cdot 10 \rightarrow \frac{800}{10} = E \rightarrow E = 80$ V

c) o rendimento do motor.

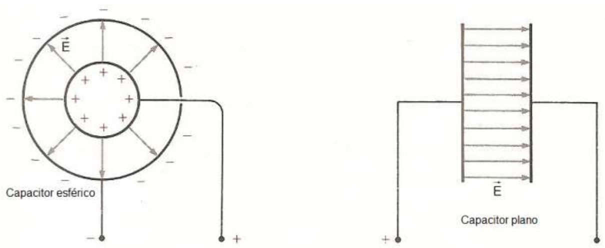
$\eta = \frac{P_u}{P_t} \rightarrow \eta = \frac{800}{1\,000} \rightarrow \eta = 0{,}8$ ou 80%

<u>Capacitores</u>

São sistemas formados por dois condutores próximos, mas isolados um do outro, que interagem por meio do campo elétrico, de forma que todas as linhas de campo que saem de um deles atingem o outro.

São denominadas armaduras os condutores que formam o capacitor.

O sistema permite uma indução eletrostática muito intensa, com que haja uma grande capacidade de armazenamento de carga elétrica e de energia potencial elétrica.



Capacidade de um condutor

Um capacitor carregado tem suas armaduras com cargas de mesmo módulo e sinais contrários, onde +Q e –Q são as cargas das armaduras e a carga do capacitor é Q. Para que um capacitor fique carregado com carga Q é necessário uma ddp U entre suas armaduras.

A capacidade elétrica do capacitor é a relação existente entre a carga e a ddp.

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

Energia potencial no capacitor

Se Q é a carga do capacitor e U a ddp entre suas armaduras, a energia potencial do sistema é dada por:

$$A_{ÁREA} = \frac{Q\ .\ U}{2} = E_P = \frac{Q\ .\ U}{2}$$

Sabendo que Q = C · U, essa energia pode também ser representada em função da capacidade e da ddp:

$$E_P = \frac{Q\ .\ U^2}{2} \text{ ou } E_P = \frac{Q^2}{2C}$$

Constante dielétrica

Num capacitor com vácuo entre as armaduras, dizemos que sua capacidade é C. Ao colocarmos um material isolante entre as armaduras, observamos que a capacidade aumenta. Sendo C' a nova capacidade, a constante dielétrica k do material isolante é dada por:

$$K = \frac{C'}{C}$$

Capacidade equivalente a uma associação de capacitores

Em uma associação de capacitores, aplicando uma ddp U, o conjunto se carrega com carga Q, então a capacidade equivalente corresponde à razão entre a carga da associação e a ddp da associação, assim temos:

$$C_{eq} = \frac{Q}{U}$$

Associação em série de capacitores

Corresponde ao inverso da capacidade equivalente que é igual à soma dos inversos das capacidades dos capacitores associados.

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

Quando dois capacitores em série:

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

Associação de capacitores em paralelo

Em uma associação de capacitores em paralelo, a capacidade equivalente é igual à soma das capacidades dos capacitores associados.

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

Exemplos:

1. Um capacitor de 10μF foi ligado a uma pilha de 1,5 V. Determine:

Dados: C = 10μF = $10 \cdot 10^{-6}$ F; U = 1,5 V

a) a carga do capacitor;

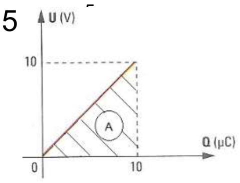
$Q = C \cdot U \rightarrow Q = 10 \cdot 10^{-6} \cdot 1,5 \rightarrow Q = 15 \cdot 10^{-6}$C

b) $E_P = \frac{Q\ .\ U^2}{2} \rightarrow E_P = \frac{10\ .\ 10^{-6}\ .\ (1,5)^2}{2} \rightarrow E_P = \frac{10\ .\ 10^{-6}\ .\ 2,25}{2} \rightarrow E_P = \frac{22,5\ .\ 10^{-6}}{2} \rightarrow$

$E_P = \frac{2,25\ .\ 10^{-5}}{2} \rightarrow E_P \cong 1,13 \cdot 10^{-5}$ J

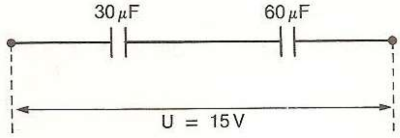
2. Utilizando as informações do gráfico, calcule o trabalho necessário para carregar um capacitor plano, inicialmente descarregado, para armazenar em uma de suas placas a carga Q = 10μC.

$$Ep = A = \frac{10\ .\ 10^{-6}\ .\ 10}{2} \rightarrow E_P = \frac{100\ .\ 10^{-6}}{2} \rightarrow E_P = 50 \cdot 10^{-6} \rightarrow E_P = 5$$



$\tau = E_P^i - E_P^f \rightarrow \tau = 0 - 5 \cdot 10^{-5} \rightarrow \tau = -5 \cdot 10^{-5}$ J

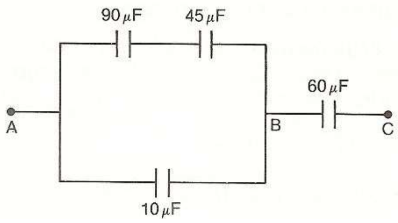
3. Associaram-se em série dois capacitores de capacidades C_1 = 30 μF e C_2 = 60 μF. Aplicou-se ao conjunto uma ddp de 15 V. Qual a ddp em cada um?



$C_{eq} = \frac{C_1 .\ C_2}{C_1\ +\ C_2} \rightarrow C_{eq} = \frac{30\ .\ 60}{30\ +\ 60} \rightarrow$

$C_{eq} = \frac{1\,800}{90} \rightarrow C_{eq} = 20\ \mu$F

4. Este conjunto está ligado a uma bateria de 100 V. Calcule a carga do capacitor de 10 μF.



1.º) $C_{eq} = \frac{C_1\ .\ C_2}{C_1\ +\ C_2} \rightarrow C_{eq} = \frac{90\ .\ 45}{90\ +\ 45} \rightarrow C_{eq} = \frac{4\,050}{135} \rightarrow C_{eq} = 30\ \mu$F

2.º) C_{eq} = 30μF + 10μF → C_{eq} = 40μF

3.º) $C_{eq} = \frac{C_1\ .\ C_2}{C_1\ +\ C_2} \rightarrow C_{eq} = \frac{40\ .\ 60}{40\ +\ 60} \rightarrow C_{eq} = \frac{2\,400}{100} \rightarrow C_{eq} = 24\ \mu$F

4.º) Como a ddp é de 100 V, a carga da associação será:

$Q = C_{eq} \cdot U \rightarrow Q = 24 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \rightarrow Q = 24 \cdot 10^{-6} \cdot 10^2 \rightarrow Q = 24 \cdot 10^{-4}$ C

5.º) A ddp entre A e B. Como a capacidade equivalente entre esses pontos é C_{eq} = 40 μF, a carga desse capacitor equivalente é igual a carga da associação, pois está em série.

$U_{AB} = \frac{Q}{C_{AB}} \rightarrow U_{AB} = \frac{24\ .\ 10^{-4}}{40\ .\ 10^{-6}} \rightarrow U_{AB} = 0,6 \cdot 10^2 \rightarrow U_{AB} = 60$ V

6.º) A carga do capacitor de 10 μF é calculada utilizando-se essa ddp.

$Q = C \cdot U \rightarrow Q = 10 \cdot 10^{-6} \cdot 60 \rightarrow\ = 600 \cdot 10^{-6} \rightarrow Q = 6 \cdot 10^{-4}$ C

5) (PUC-SP) A colocação de um material isolante entre as placas de um capacitor, em lugar do vácuo, produz o seguinte efeito:
A) o aumento da capacidade do capacitor;
B) a diminuição da capacidade do capacitor;
C) nada se altera no funcionamento do capacitor;
D) a transformação do capacitor num isolante elétrico;
E) a transformação do capacitor num condutor elétrico.

Resposta: letra A

<u>Eletromagnetismo</u>: é a parte da Física que estuda a relação entre eletricidade e magnetismo.

A magnetita, minério de ferro, era utilizada pelos chineses ainda no século III a.C., possivelmente tenham sido os primeiros a usarem de maneira prática o fenômeno do magnetismo. Eles desenvolveram uma espécie de instrumento semelhante a uma colher, feita de magnetita que, quando colocada em equilíbrio sobre um ponto de apoio fixo central, movia-se livremente, cujo cabo sempre apontava para o polo sul da Terra.

Posteriormente, no século VII a. C., os chineses substituíram a colher por uma espécie de agulha imantada (imãs artificiais), o que possibilitou seu uso na orientação de rotas marítimas.

De fato, o interesse pelo magnetismo ocorre quando os chineses levam a bússola para a Europa, ainda no Renascimento, possibilitando grandes viagens e descobrimentos realizados na época.

Willian Gilbert, no século XVI, publicou estudos sobre o fenômeno do magnetismo de forma científica ao descobrir que a Terra é um grande ímã, resultado de seus esforços em diferenciar cargas elétricas de cargas magnéticas, que fundamentam os conceitos de eletricidade e magnetismo.

Como já visto anteriormente, Coulomb, em 1785, por meio de seus estudos sobre o magnetismo, publicou a lei dos polos inversos de atração e repulsão, entre as cargas elétricas e os polos magnéticos. A importância dessa contribuição resultou no conceito de força, baseado na força entre dois polos.

No século XIX, Oersted, provou experimentalmente que quando a corrente elétrica percorria um longo fio gerava um campo magnético, o que mais tarde Ampère, na França, esclareceu com seus experimentos do efeito da corrente elétrica sobre um ímã e o efeito oposto de um ímã sobre a corrente elétrica, provando que as correntes elétricas se atraem ou se repelem de maneira mútua.

Nos estudos desenvolvidos por Gauss, definiu-se a base de todo o sistema absoluto de medidas eletromagnéticas. Demonstrou-se a inseparabilidade dos polos, afirmando-se que o fluxo do campo magnético através de uma superfície fechada qualquer é sempre nulo.

Mais tarde, Faraday, na Inglaterra, baseado nos estudos de Ampère, demonstrou que o inverso seria possível, ou seja, o efeito magnético poderia produzir correte elétrica. Seu experimento baseou-se em enrolar duas espiras de fio num anel de ferro, uma ligada a uma bateria e a outra ligada a um medidor de corrente elétrica. Verificou a existência, na segunda espira, de uma corrente temporária quando ligava e desligava a bateria. Também produziu outro experimento: enrolando uma espira em uma haste de ferro e dois ímãs em forma de barra demonstrou que os ímãs também produziam corrente. Faraday introduziu a ideia de linhas de força elétrica.

A descoberta da indução eletromagnética de forma independente por Joseph Henry e Faraday e os conceitos de converter magnetismo em eletricidade possibilitaram a construção do primeiro transformador, o dínamo, dando início à era da eletricidade.

A relação entre eletricidade e magnetismo foi formulada por Maxwell, baseada nos estudos de Ampère, Gauss e Faraday, constituindo a estrutura do moderno eletromagnetismo.

Ímã – polos magnéticos

Ímãs são corpos que têm a propriedade de atrair o ferro e outros metais, denominados materiais ferromagnéticos.

Os ímãs recebem forças da Terra, que tendem a alinhá-lo no sentido geográfico norte-sul, demonstrando que os polos da Terra exercem forças sobre as extremidades dos ímãs. Denominamos polo norte magnético a extremidade do ímã que é atraída pelo polo sul da Terra e polo sul magnético o polo que atraído pelo polo norte da Terra.

Ou seja, da interação entre ímãs, podemos verificar que os polos magnéticos interagem segundo uma lei de atração e repulsão comparável a das cargas elétricas, atraindo-se quando diferentes e repelindo-se quando iguais.

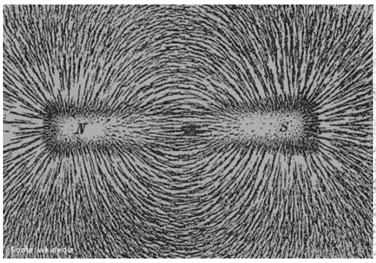
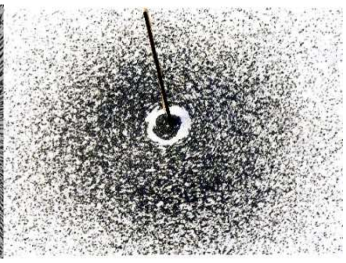
A tentativa de isolar os polos de um ímã permite verificar que os polos magnéticos só existem em pares e que quanto menor for a fração de um ímã, ele continua mantendo suas propriedades de ímã. Portanto, ímãs elementares, que compõem os materiais ferromagnéticos, resultam da constatação de que os polos de um ímã são inseparáveis.

Campo magnético

Comparado ao campo elétrico, denominamos campo magnético a região criada ao redor de um ímã na qual ocorre um efeito magnético denominado linhas de indução.

O quadro a seguir permite comparar pontos em comum entre dois tipos de linhas de força:

Linhas de força elétrica	Linhas de indução magnética
- representação geométrica do campo elétrico;	- representação geométrica do campo magnético;
- elas nascem em cargas positivas e morrem em cargas negativas;	- elas nascem no polo norte do ímã e morrem no polo sul;
- onde estão mais próximas, o campo elétrico é mais intenso; mais afastadas, o campo elétrico é mais fraco;	- onde estão mais próximas, o campo magnético é mais intenso; mais afastadas, o campo magnético é mais fraco;
- a cada ponto de uma linha de força elétrica está associado um vetor campo elétrico $\vec{\mathbf{E}}$.	- a cada ponto de uma linha de força elétrica está associado um vetor campo magnético$\vec{\mathbf{B}}$.

Pelas imagens, podemos verificar que tanto um ímã quanto a corrente elétrica produzem campo magnético, com suas respectivas linhas de força.

O campo magnético é descrito pelo **vetor-campo-magnético** $\vec{\mathbf{B}}$. Ao colocarmos uma agulha magnética em um ponto de um campo magnético, a direção e o sentido do vetor $\vec{B}$ são dados pela orientação da agulha.

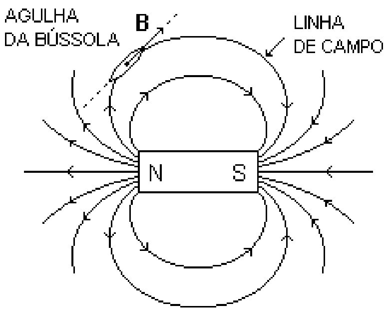
O vetor, quanto à direção, é sempre tangente a cada ponto da linha de indução e o sentido coincide com o da linha.

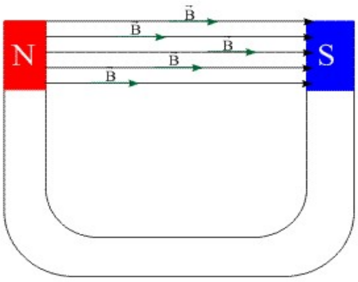
A intensidade é diretamente proporcional à intensidade da corrente que atravessa o campo magnético, ou seja, $\vec{B} \alpha$ i.

No SI, a unidade de medida é o tesla (T), e verifica-se que:

$$1 \text{ T} = 1 \frac{\text{N . s}}{\text{C . m}} = 1 \frac{\text{N}}{\text{A . m}} = 1 \frac{\text{Wb}^*}{\text{m}^2} (\text{Wb}^* = \text{weber unidade de fluxo magnético.})$$

A visualização do campo magnético de um ímã pode ser representada por:





Indução magnética

É o fenômeno da imantação de um corpo por meio de um ímã.

Campo magnético de um fio longo retilíneo

A corrente elétrica num fio longo retilíneo gera um campo magnético cujas linhas de força são circunferências concêntricas, com centro no fio, contidas num plano perpendicular ao fio.

Pela experiência de Oersted podemos observar que uma agulha magnética colocada próximo a um fio percorrido por forte corrente elétrica tem sua posição afetada pela passagem de corrente. Assim, podemos dizer que todas as cargas elétricas produzem campo elétrico. As cargas elétricas em movimento produzem também campo magnético.

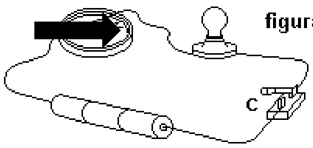


figura 1

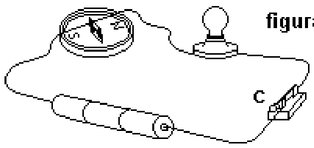
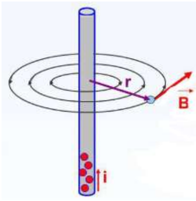


figura 2

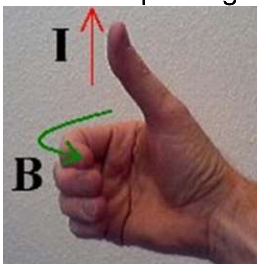
No vácuo, a intensidade do campo à distância r do fio é dada por: B = $\mu_0 \cdot \frac{i}{2\pi r}$,

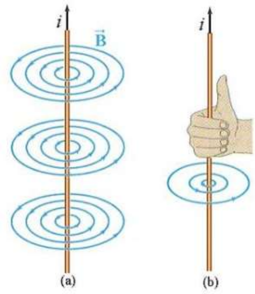


Onde a constante μ_0 é denominada permeabilidade magnética do vácuo e no SI vale:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ T \cdot m/A$$

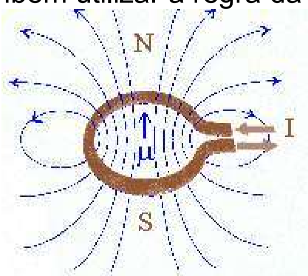
O sentido do vetor $\vec{B}$ é dado pela regra da mão direita. O dedo polegar segue o sentido da corrente elétrica que produz o campo magnético e os outros dedos indicam o sentido.

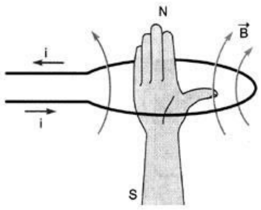




Campo magnético de uma espira circular

O campo magnético criado pela corrente elétrica que percorre uma espira circular permite observar que as linhas de campo entram por um lado e saem pelo outro, como mostrado na figura a seguir. Podemos também utilizar a regra da mão direita para determinar o sentido das linhas de campo.





No vácuo, a intensidade do campo magnético no centro de uma espira de raio R é:

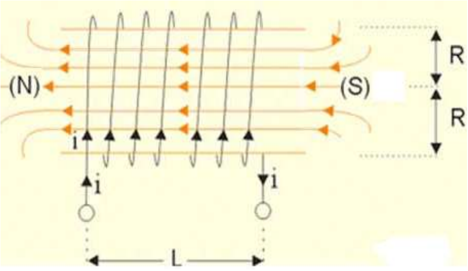
$$B = \mu_0 \cdot \frac{i}{2R}$$

No caso de uma bobina circular com **n** espiras, o campo será **n** vezes mais intenso.

$$B = n \cdot \mu_0 \cdot \frac{i}{2R}$$

Campo magnético de um solenoide

Solenoide é um dispositivo constituído de um fio condutor enrolado em forma de espiras não justapostas. A figura abaixo mostra que o campo magnético criado pela corrente elétrica percorre o solenoide.



Num solenoide longo, de comprimento **L**, com **n** espiras uniformemente espaçadas, o campo magnético interno é uniforme. A direção do campo magnético é perpendicular ao plano das espiras. No vácuo, a intensidade desse campo é dada por:

$$B = \mu_0 \cdot \frac{n}{L} \cdot i$$

Caso o meio não for o vácuo, o valor da permeabilidade magnética μ será diferente. Por exemplo, a permeabilidade magnética do ferro é muito maior que a do vácuo, assim o solenoide com núcleo de ferro gera campo muito mais intenso que um solenoide igual no vácuo.

A propriedade do ferro macio (aquecido e esfriado lentamente) de magnetizar-se sob a influência das correntes elétricas e perdê-la logo que cesse essa influência, tornou possível a fabricação e ímãs artificiais, denominados eletroímãs, de grande uso industrial, como por exemplo nas campainhas, nos telefones, em guindastes, etc.

Exemplos:

1. (Fuvest-SP) A figura 1 representa um ímã permanente em forma de barra, onde N e S indicam, respectivamente, polo norte e polo sul. Suponha que a barra seja dividida em três pedaços, como mostra a figura 2. Colocando lado a lado os dois pedaços extremos, como indicado na figura 3, é correto afirmar que eles:

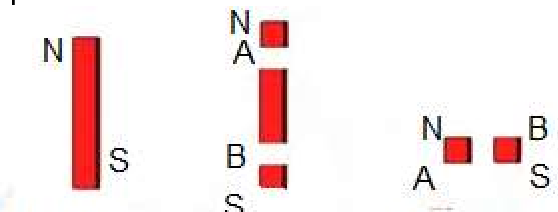


Figura 1 Figura 2 Figura 3

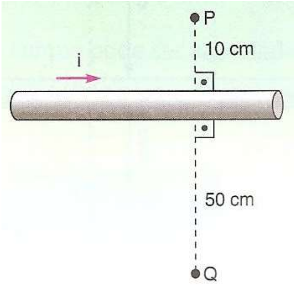
A) se atrairão, pois **A** é polo norte e **B** é polo sul;
B) se atrairão, pois **A** é polo sul e **B** é polo norte;
C) não serão atraídos nem repelidos;
D) se repelirão, pois **A** é polo norte e **B** é polo sul;
E) se repelirão, pois **A** é polo sul e **B** é polo norte. Resposta: letra E

2. Leia atentamente as afirmações que seguem:

I. O Polo Norte geográfico é um polo sul magnético.
II. Em um ímã permanente, as linhas de indução saem do polo norte e vão para o polo sul, independentemente de estarem na parte interna ou externa do ímã.
III. Considerando a agulha de uma bússola, a extremidade que aponta para o Norte geográfico é o polo norte magnético da agulha.

Quais afirmações são corretas? I e II

3. Um fio retilíneo e longo é percorrido por uma corrente elétrica contínua i = 2 A, no sentido indicado na figura.



$B_P = \mu_0 \cdot \frac{i}{2\pi r_P} \rightarrow B_P = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{2}{2\pi 0,1}$

$\rightarrow B_P = 4\cancel{\pi} \cdot 10^{-7} \cdot \frac{\cancel{2}}{\cancel{2\pi}0,1} \rightarrow$

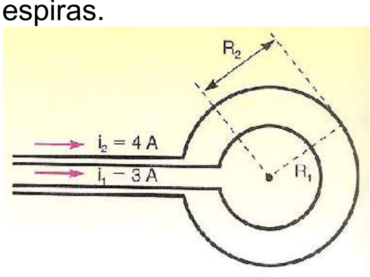
$B_P = 4 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{+1} \rightarrow \mathbf{B_P = 4 \cdot 10^{-6}\ T}$

$B_Q = \mu_0 \cdot \frac{i}{2\pi r_Q} \rightarrow B_Q = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{2}{2\pi 0,5} \rightarrow B_P = 4\cancel{\pi} \cdot 10^{-7} \cdot \frac{2}{\cancel{2\pi}0,5} \rightarrow B_P = 2 \cdot 10^{-7} \cdot 4 \rightarrow$

$\mathbf{B_Q = 8 \cdot 10^{-7}\ T}$

Determine os campos magnéticos $\overrightarrow{B_P}$ e $\overrightarrow{B_Q}$ gerados por essa corrente nos pontos *P* e *Q*.
Dados: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ T · m/A; i = 2 A;
r_P = 10 cm = 0,1 m; r_Q = 50 cm = 0,5 m

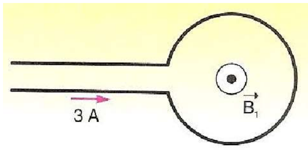
4. Duas espiras circulares, concêntricas e coplanares, de raios 2π e 5π m, são percorridas por correntes de 3 A e 4 A, como mostra a figura. Determine a intensidade do vetor indução magnética no centro das espiras.



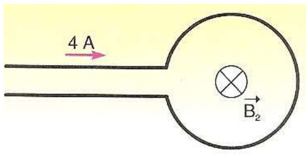
$B_1 = \mu_0 \cdot \frac{i}{2\pi r_1} \rightarrow B_1 = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{3}{2\pi 2} \rightarrow$

$B_1 = 4\cancel{\pi} \cdot 10^{-7} \cdot \frac{3}{\cancel{2\pi 2}} \rightarrow B_1 = 3 \cdot 10^{-7}$ T

$\overrightarrow{B_1}$ é campo de saída.



Dados: $R_1 = 2\pi$ m;
$R_2 = 5\pi$ m; i_1 = 3 A;
i_2 = 4 A; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ T · m/A



$B_2 = \mu_0 \cdot \frac{i}{2\pi r_2} \rightarrow B_1 = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{4}{2\pi 5} \rightarrow$

$B_1 = 4\cancel{\pi} \cdot 10^{-7} \cdot \frac{4}{10\cancel{\pi}} \rightarrow B_1 = 1,6 \cdot 10^{-7}$ T

Cálculo da intensidade do vetor indução magnética resultante:

$\overrightarrow{B_R} = \overrightarrow{B_1} + \overrightarrow{B_1} \rightarrow \overrightarrow{B_R} = \overrightarrow{B_1} - \overrightarrow{B_1} \rightarrow \overrightarrow{B_R} = 3 \cdot 10^{-7} - 1,6 \cdot 10^{-7} \rightarrow \overrightarrow{B_R} = 1,4 \cdot 10^{-7}$ T

O vetor indução magnética resultante é de saída: $\overrightarrow{B_R} = \odot$

5. É dado um solenoide retilíneo de comprimento 100 cm que contém 2 000 espiras e é percorrido por uma corrente de intensidade 5 A. Sendo $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ T · m/A a permeabilidade no vácuo, determine a intensidade do vetor indução magnética na região central do solenoide.
Dados: L = 100 cm = 1 m; N = 2 000 espiras; i = 5 A; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ T · m/A
A intensidade do vetor indução magnética no centro do solenoide é dada por:

$B = \mu_0 \cdot \frac{n}{L} \cdot i \rightarrow B = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{2\,000}{1} \cdot 5 \rightarrow B = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10\,000 \rightarrow B = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10^4 \rightarrow$

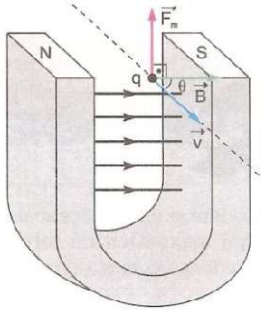
$B = 4\pi \cdot 10^{-3}$ T

6. Considere as afirmações abaixo.
I. O campo magnético no interior de um solenoide longo com **n** espiras por metro é constante.
II. O voltímetro ideal tem resistência infinita.
III. O amperímetro ideal tem resistência nula.
IV. Em um capacitor, a ddp é diretamente proporcional à carga.
Resposta: todas estão corretas.

Força magnética sobre cargas elétricas

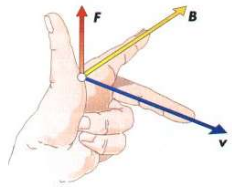
Sabemos que as correntes elétricas agem sobre os ímãs e que os campos magnéticos também agem sobre as cargas elétricas em movimento.

Para determinar as características dessa força, vamos considerar um feixe de cargas elétricas **q** lançadas dentro de um campo magnético uniforme de um ímã, com uma velocidade vetorial $\vec{v}$, formando um ângulo θ com o vetor indução magnético $\vec{B}$.



O sentido da força $\vec{F}$ mantém sempre a mesma relação com os sentidos de $\vec{v}$ e $\vec{B}$. A direção será sempre perpendicular ao plano formado pelos vetores $\vec{v}$ e $\vec{B}$.

Observemos a regra da mão esquerda, onde o indicador representa o sentido do vetor indução magnético $\vec{B}$, o dedo médio, o sentido do vetor velocidade $\vec{v}$ e o polegar representando o sentido da força $\vec{F}$.



Essa regra é válida para partículas carregadas positivamente, portanto, se a carga for negativa, o sentido de $\vec{F}$ é oposto ao dado pela regra.

As representações para indicar a força magnética são:

$\vec{F}_m \odot$ é a força magnética saindo perpendicularmente do papel.

$\vec{F}_m \otimes$ é a força magnética penetrando perpendicularmente no papel.

A intensidade da força magnética é dada pela expressão:

$$F_m = q \cdot v \cdot B \cdot \operatorname{sen}\theta$$

A força depende do ângulo formado entre a velocidade vetorial $\vec{v}$ e o campo magnético $\vec{B}$.

Casos particulares

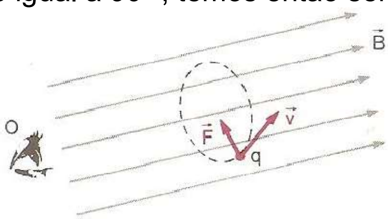
1.º) Partícula lançada paralelamente ao campo: o ângulo θ é igual a 0, assim sen θ = 0

Nesse caso, nos permite dizer que não há força agindo sobre a partícula, devido ao campo magnético. O movimento será retilíneo e uniforme.

2.º) Partícula lançada perpendicularmente ao campo: o ângulo θ é igual a 90º , temos então sen θ = 1

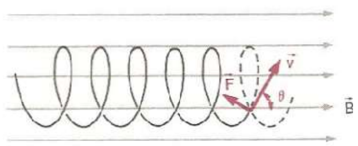
Nesse caso, a força será máxima. O movimento da partícula será circular e uniforme, pois a força $\vec{F}$ é perpendicular à velocidade vetorial $\vec{v}$.

A força magnética $\vec{F}$ é a força centrípeta que atua na partícula.



3.º) Partícula lançada obliquamente ao campo:

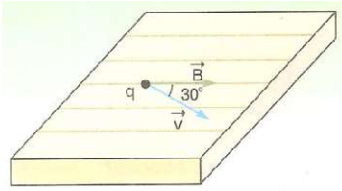
Nessa situação, a trajetória é uma hélice cilíndrica, em que a força tem o valor de $F = q \cdot v \cdot B \cdot \operatorname{sen}\theta$, caracterizando-se por agregar os movimentos vistos nos casos anteriores.



Sendo a força magnética perpendicular à velocidade, dizemos então que não realiza trabalho, pois não tem a capacidade de alterar a energia cinética da partícula, alterando somente a direção da velocidade.

Exemplos:

1. Uma partícula elétrica de 5 μC desloca-se com velocidade de 1 000 m/s, formando um ângulo de 30º com um campo magnético uniforme de intensidade $8 \cdot 10^4$ T, conforme indica a figura.



Caracterize a força magnética que atua sobre a partícula.

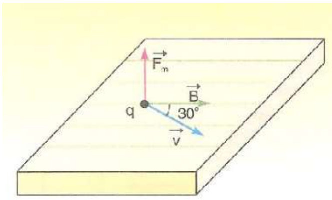
A força magnética tem as seguintes características:

- direção perpendicular ao plano $\vec{B}$ e $\vec{v}$ (plano da folha)
- sentido: saindo da folha
- módulo: $F_m = q \cdot v \cdot B \cdot sen\theta \rightarrow$

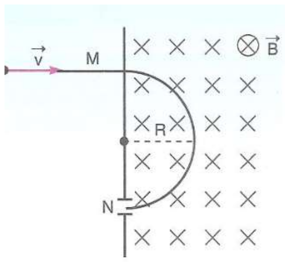
$F_m = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 10^4 \cdot \frac{1}{2} \rightarrow$

$Fm = 40 \cdot 10^1 \cdot \frac{1}{2} \rightarrow F_m = 400 \cdot \frac{1}{2} \rightarrow$

$F_m = 200$ N



2. Um elétron com velocidade $3 \cdot 10^6$ m/s penetra perpendicularmente em um campo magnético uniforme de indução magnética $8 \cdot 10^{-5}$ T, passando a descrever uma trajetória circular conforme indica a figura.



A massa de elétron é $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg e sua carga é $1,6 \cdot 10^{-19}$ C. Determine o *R* da trajetória descrita.

Dados: $v = 3 \cdot 10^6$ m/s; $B = 8 \cdot 10^{-5}$ T; $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg; $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C

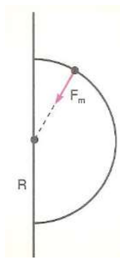
A força magnética é a força centrípeta, pois $\vec{v}$ é perpendicular a $\vec{B}$; logo:

$F_m = F_{cp} \rightarrow pvB = \frac{mv^2}{R} \rightarrow R = \frac{mv}{qB} \rightarrow$

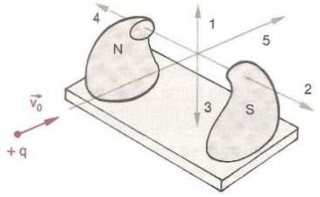
$R = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 3 \cdot 10^6}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 8 \cdot 10^{-5}} \rightarrow$

$R = \frac{27,3 \cdot 10^{-25}}{12,8 \cdot 10^{-24}} \rightarrow$

$R = 2,13 \cdot 10^{-1} \rightarrow R \cong 0,21$ m



3. Uma carga positiva é lançada com velocidade inicial $\vec{v_0}$, entre os polos dos ímãs N – S. Pode-se afirmar que a força sobre a carga terá orientação concordante com:



A) 1
B) 2
C) 3
D) 4
E) 5

Resposta: letra C

4. Uma partícula de carga $q = 4 \cdot 10^{-18}$ C e massa $m = 2 \cdot 10^{-26}$ kg penetra, ortogonalmente, numa região de um campo magnético uniforme de intensidade $B = 10^{-2}$ T, com velocidade $v = 10^5$ m/s. O raio da órbita descrita pela partícula é igual a:

Dados: $q = 4 \cdot 10^{-18}$ C; $m = 2 \cdot 10^{-26}$ kg; $B = 10^{-2}$ T; $v = 10^5$ m/s

A) 10 cm
B) 30 cm
C) 50 cm
D) 70 cm
E) 90 cm

Resposta: letra C

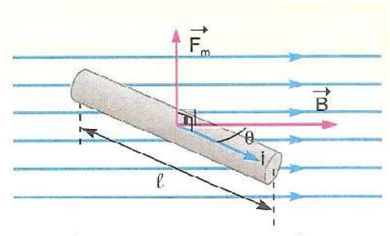
$R = \frac{mv}{qB} \rightarrow R = \frac{2 \,.\, 10^{-26} \,.\, 10^{5}}{4 \,.\, 10^{-18} \,.\, 10^{-2}} \rightarrow R = \frac{2 \,.\, 10^{-21}}{4 \,.\, 10^{-20}} \rightarrow$ $R = 0{,}5 \cdot 10^{-1}\ m \rightarrow R = 50\ cm$

Força magnética num condutor retilíneo

A passagem de corrente elétrica pelo fio faz surgir uma força magnética $\vec{F}$, perpendicular a $\vec{B}$ e à direção do fio. A força $\vec{F}$ que resulta da passagem de cargas elétricas através do fio é um caso particular da ação da força magnética.

A força magnética que age sobre o condutor é resultado de um conjunto de forças, denominadas forças de Lorentz, que atuam sobre cada carga elétrica que constitui a corrente elétrica. Suas características são:

- intensidade: a figura serve para demonstrar um fio de comprimento ℓ, percorrido por uma corrente elétrica de intensidade i, num campo magnético $\vec{B}$ uniforme, forma ângulo θ com o campo magnético.

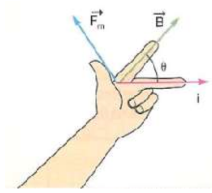


Assim, a força vetorial $\vec{F}$ representa um vetor perpendicular ao papel, tendo módulo expresso por:

$$F = B \cdot i \cdot \ell \cdot sen\theta$$

- direção: a direção será sempre perpendicular a $\vec{B}$ e a **i.**

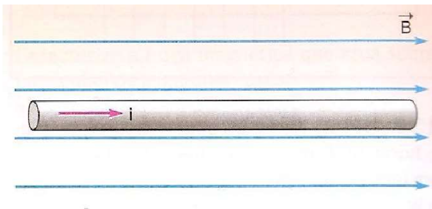
- sentido: o sentido da força $\vec{F}$é dado pela regra da mão esquerda, considerando a corrente um movimento de cargas positivas no sentido de **i**.



Observações:

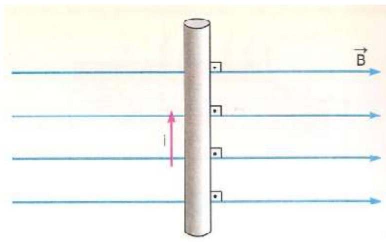
1.º) Se **i** for paralela a $\vec{B}$, teremos θ = 0º ou θ = 180º. Então, sen θ = 0.

$$F_m = 0$$



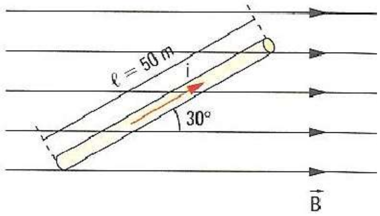
2.º) Se **i** for perpendicular a $\vec{B}$, teremos θ = 90. Então, sen θ = 1.

$$F_m = Bi\ell$$

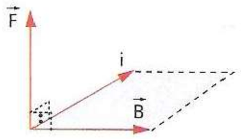


Exemplos:

1. Um condutor retilíneo é percorrido por uma corrente elétrica de intensidade igual a 100 A. Medindo 50 m de comprimento, esse condutor está totalmente imerso num campo magnético uniforme, cuja intensidade é $B = 5 \cdot 10^{-5}$ T. Determine a direção, o sentido e a intensidade da força magnética sobre o condutor sabendo que ele forma um ângulo de 30º com a direção do campo.



A força magnética tem direção perpendicular ao plano formado por $\vec{\mathbf{B}}$ e **i**; o sentido é dado pela regra da mão direita. A intensidade dessa força é:



$F = Bi\ell \cdot sen\theta \rightarrow F = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 100 \cdot 50 \cdot 0,5$

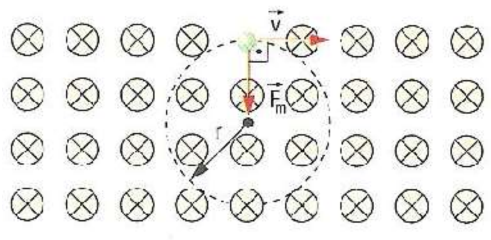
$F = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot 10^{3} \rightarrow$

$F = 12,5 \cdot 10^{-2} \rightarrow F = 0,125$ N

2. Um elétron de carga e é arremessado perpendicularmente à direção das linhas de um campo magnético uniforme, cuja intensidade é $B = 2,0 \cdot 10^{-2}$ T. Determine:

a) a relação carga-massa do elétron sabendo que o raio de sua trajetória é r = 0,01 m e sua velocidade é $v = 3,52 \cdot 10^{7}$ m/s.

O elétron adquire trajetória circular, pois a força magnética, que no caso é a resultante centrípeta $\overrightarrow{R_c}$, é



Como |q| = |e|, vem:

$F_m = R_c \rightarrow |e|vB = \frac{m\,v^2}{r} \rightarrow \frac{|e|}{m} = \frac{v}{Br} \rightarrow$

$\frac{|e|}{m} = \frac{3,52\,.\,10^{7}}{2,0\,.\,10^{-2} \cdot 0,01} \rightarrow$

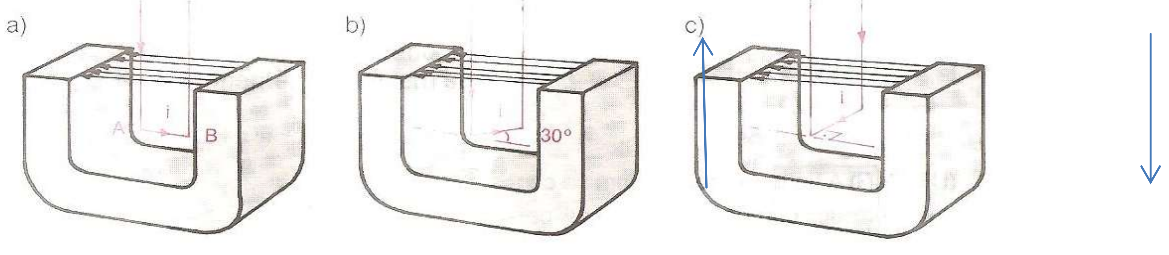
$\frac{|e|}{m} = \frac{3,52\,.\,10^{7}}{2,0\,.10^{-2}\,.\,1\,.\,10^{-2}} \rightarrow$

$\frac{|e|}{m} = \frac{3,52\,.\,10^{7}}{2,0\,.\,10^{-4}} \rightarrow \frac{|e|}{m} = 1,76 \cdot 10^{11}$ C/kg $\rightarrow$

$\frac{|e|}{m} = -\,1,76 \cdot 10^{11}$ C/kg

b) Como $\frac{e}{m} = 1,76 \cdot 10^{11}$ C/kg, vem: $m = \frac{-\,1,6\,.\,10^{-19}}{-\,1,76\,.\,10^{11}} \rightarrow m = 9,0 \cdot 10^{-31}$ kg

3. As figuras representam um condutor AB retilíneo, de 10 cm de comprimento, atravessado por uma corrente de 10 A, no campo magnético de um ímã. O campo é uniforme e tem 0,01 T de intensidade. Determine a intensidade, a direção e o sentido da força magnética em cada caso.



$\vec{F} = 0$

$|\vec{F}| = Bi\ell \cdot \text{sen}\theta \rightarrow$

$|\vec{F}| = 0{,}01 \cdot 10 \cdot 0{,}1 \cdot 0{,}5 \rightarrow$

$|\vec{F}| = 10^{-2} \cdot 10 \cdot 10^{-1} \cdot 0{,}5 \rightarrow$

$|\vec{F}| = 5{,}0 \cdot 10^{-3}$ N

$|\vec{F}| = Bi\ell \rightarrow$

$|\vec{F}| = 0{,}01 \cdot 10 \cdot 0{,}1 \rightarrow$

$|\vec{F}| = 0{,}01$ N

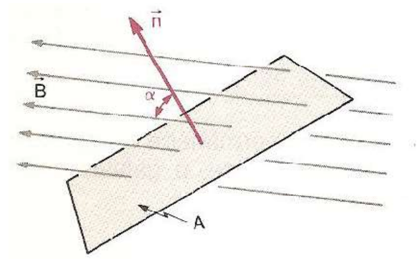
Fluxo magnético

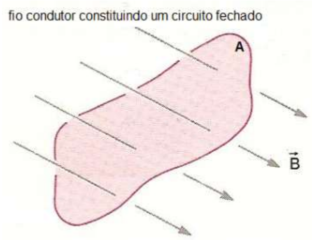
É a quantidade de linhas de indução que atravessam uma determinada área (A). Assim, a superfície de um condutor é expressa por:

$$\phi = BA \cdot \cos\theta$$

No SI, a unidade de medida do fluxo magnético é denominada weber (Wb).

Propriedade: se **A** é uma superfície limitada por um circuito fechado, dizemos que quando o fluxo de $\vec{B}$ através de **A** varia surge uma corrente induzida no circuito.





Exemplos:

1. Uma espira quadrada com 40 cm de lado está totalmente imersa num campo magnético uniforme (intensidade de B = 5 Wb/m^2) e perpendicular às linhas de indução. Girando a espira até que ela fique paralela às linhas de campo, determine:

a) o fluxo magnético quando a espira está perpendicular às linhas de indução e quando está paralela às linhas de indução.

$\phi = BA \cdot \cos\theta \rightarrow \phi = 5 \cdot (0{,}4)^2 \cdot \cos 0^\circ \rightarrow \phi = 5 \cdot 0{,}16 \cdot 1 \rightarrow \phi = 0{,}8$ Wb

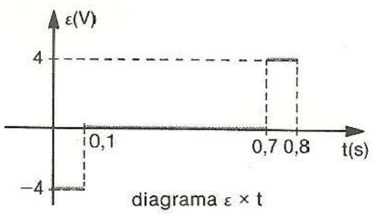
b) o fluxo magnético quando a espira está paralela às linhas de indução.
Quando a espira está colocada paralela às linhas de indução, nenhuma linha de indução atravessa o plano da espira; logo: $\phi = 0$

2. (UFMA) Para que ocorra indução magnética é suficiente que:
A) haja um campo magnético próximo do observador;
B) ocorra variação de um campo magnético através de uma espira ou solenoide;
C) cargas elétricas interagem com campos elétricos;
D) uma corrente elétrica contínua produza um campo magnético.
Resposta: Letra B (A indução eletromagnética surge sempre que há variação de um campo magnético através de uma espira ou de um solenoide).

entre t = 0,7s e t = 0,8 s

$\varepsilon = -200 \cdot (-2) \cdot 10^{-2} \rightarrow$

$\varepsilon = -2 \cdot 10^{2} \cdot -2 \cdot 10^{-2} \rightarrow \varepsilon = +4$ V

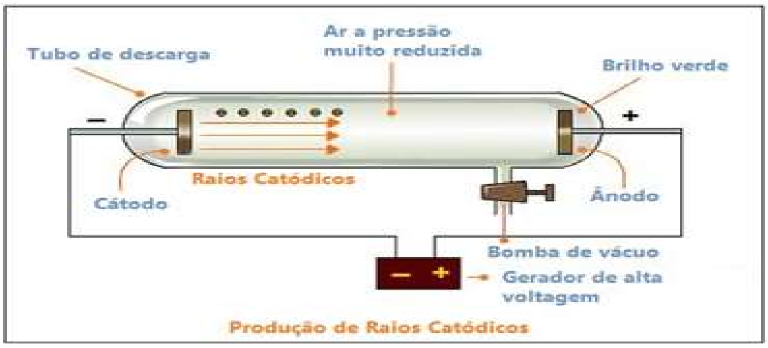


Física moderna

A Física moderna teve início com o estudo dos diversos tipos de raios. As informações sobre eletricidade e magnetismo possibilitaram a construção de dispositivos que auxiliaram na observação desses raios.

Em um tubo fechado a vácuo, contendo um gás rarefeito (submetido a baixas pressões), foram postos dois eletrodos com polos contrários (positivo e negativo) e estabelecendo entre eles uma diferença de potencial elétrico fornecido por uma fonte externa. Ao aplicar uma descarga elétrica, percebeu-se um feixe de luz ligando um polo ao outro. Experimentos realizados colocando um obstáculo material dentro do tubo e entre os polos, após a mesma descarga elétrica, viu-se a formação de uma sombra em direção ao polo positivo.

A essa sombra os cientistas atribuíram aos raios provenientes do polo negativo, denominado cátodo. Portanto, a denominação de raios catódicos foi dada aos feixes de elétrons que atravessam o tubo atrídos pelo polo positivo, denominado de ânodo.



Observou-se que quando o tubo tinha pouco ar e aplicava-se uma diferença de potencial adequada, surgia um raio luminoso que parecia se deslocar do cátodo para o ânodo, denominado como raio catódico.

Após a descoberta dos raios catódicos, o estudo de suas propriedades demonstrou que eles eram constituídos de partículas iguais, independente do metal de que eram feitos o cátodo e o ânodo, e eram possuidoras de carga elétrica e de massa mecânica muito pequena. Definiu-se então que essas partículas emitidas pelo cátodo entravam na constituição de todos os corpos, sendo então denominadas de elétrons.

Portanto, os raios catódicos são elétrons arrancados do cátodo em virtude da ddp existente entre o cátodo e o ânodo, sendo atraídos pelo ânodo.

Radiação térmica

Como vimos anteriormente, calor é uma forma de energia em trânsito, que é transportada por meio de ondas eletromagnéticas na frequência do infravermelho. Assim, um corpo com qualquer temperatura emite radiação eletromagnética, denominada radiação térmica.

Algumas características da radiação térmica dependem da temperatura e das propriedades do objeto que as emitem. A maior taxa de emissão para baixas temperaturas situa-se na região do infravermelho, não visíveis. Conforme a temperatura do corpo é aumentada, esse pode emitir luz visível, desde a vermelha, passando pela alaranjada, amarela, verde, azul até chegar na branca, correspondente a todas as frequências do espectro visível. Assim, quanto maior for a frequência da radiação emitida, maior será a temperatura do corpo.

Raio X

São radiações de natureza eletromagnética, que se propagam pelo ar ou vácuo, resultado do bombardeamento de um material metálico de elevado número atômico (tungstênio), resultando na produção de radiação X por ionização ou fretamento, não sendo emitidos do núcleo do átomo.

A produção de raios X é resultado do choque dos elétrons provenientes de um filamento aquecido, que colidem em alta velocidade com o ânodo, produzindo as radiações.

Exemplo:
1. (UNIRIO-RJ) Os raios X, descobertos em 1895 pelo físico alemão Rontgen, são produzidos quando elétrons são desacelerados ao atingirem um alvo metálico de alto ponto de fusão como, por exemplo, o Tungstênio. Essa desaceleração produz ondas eletromagnéticas de alta frequência denominadas de Raios X, que atravessam a maioria dos materiais conhecidos impressionam chapas fotográficas. A imagem do corpo de uma pessoa em uma chapa de Raios X representa um processo em que parte da radiação é:

A) refletida, e a imagem mostra apenas a radiação que atravessou o corpo, e os claros e escuros da imagem devem-se aos tecidos que refletem, respectivamente, menos ou mais os raios X;
B) absorvida pelo corpo, e os tecidos menos e mais absorvedores de radiação representam, respectivamente, os claros e escuros da imagem;
C) absorvida pelo corpo, e os claros e escuros da imagem representam, respectivamente, os tecidos mais e menos absorventes de radiação;
D) absorvidas pelo corpo, e os claros e escuros na imagem são devidos à interferência dos Raios X oriundos de diversos pontos do paciente sob exame.
Resposta: letra C

Nas radiografias, os ossos saem brancos e tecidos em volta negros isso ocorre porque o osso, cuja estrutura é mais densa que a do tecido mole, absorve mais radiação, ficando com aparência clara enquanto que o tecido mole, menos denso, é atravessado pelos raios X, ficando com aparência mais escura.

Espectro de emissão

É aquele resultado da passagem de raios luminosos de luz branca, como o Sol (emite luzes de todas as cores que vão do vermelho ao violeta, no entanto ao passar pela atmosfera terrestre, os gases absorvem a luz do Sol nas cores que emitem) ou da chama de elementos, como os sais de sódio, que produzem chamas de coloração amarela ou de cobre que proporcionam chamas de cor verde azulada.

O espectro emitido pela luz branca é contínuo, devido aos limites das luzes entre uma cor e outra não serem nítidos.

Espectro de absorção

Assim como podemos analisar a luz ou a energia emitida por certa substância, também podemos analisar a luz ou a energia absorvida por determinada substância. Por exemplo, ao iluminarmos uma substância com um conjunto de radiações, aparecerão no espectroscópio todas as radiações, menos as radiações absorvidas, denominado espectro de absorção. Nesse espectro aparecerão raias escuras nas mesmas regiões em que aparecemos raios luminosos no espectro de emissão, significando que as substâncias emitem as mesmas radiações que absorvem.

Podem ser de dois tipos os espectros de absorção:

1) espectro de bandas, que parece ser um espectro contínuo, porém não o é, pois não mostra a cor ou as cores que o material não absorve, mostrando somente as que ele absorve;
2) espectro de riscas é aquele com todas as cores possuindo riscas negras que dizem a cor que é absorvida pelo elemento ou elementos, sendo consideradas as impressões digitais de certos elementos.

Espectroscopia

É o conjunto de técnicas e teorias destinadas a produzir, interpretar e explicar os espectros das substâncias, fundamentais para as análises químicas.

Kirchhoff, baseado nas suas observações, elaborou três leis para a Espectroscopia:
1.º) Um corpo opaco quente, em qualquer dos três estados físicos, emite um espectro contínuo.
2.º) Um gás transparente (como os das gases nobres) produz um espectro de emissão, com o aparecimento de linhas brilhantes. O número e a posição dessas linhas serão definidos pelos elementos químicos presentes no gás.

3.º) Quando um espectro contínuo passa por um gás à temperatura mais baixa, esse gás frio proporciona a presença de linhas escuras, formando um espectro de absorção. O número de linhas no espectro de absorção irá depender dos elementos químicos presentes no gás.

Mecânica quântica

É a parte da Física que estuda os sistemas físicos, nos quais as dimensões estão muito próximas ou abaixo da escala atômica, como moléculas, átomos, elétrons, prótons e também partículas subatômicas, como os neutrinos, quarks, glúon, bósons de força fraca, fótons, gráviton, e descrevendo também fenômenos macroscópicos, como a superfluidez e a supercondutividade que só são possíveis se considerados o comportamento microscópico da matéria como quântico.

Sabemos que, qualquer que seja a temperatura de um corpo, ele sempre está irradiando energia em forma de radiação eletromagnética. A constante de Planck diz que a menor quantidade de energia emitida (o quantum, E) é igual a uma constante (h) multiplicada pela frequência (f) da luz emitida.

$$E = h \cdot f$$

O valor da constante de Planck (h), no SI é $6{,}626 \cdot 10^{-34}$ J · s.
A energia total emitida ou absorvida por um corpo é igual a um número inteiro positivo (n) vezes o pacote elementar de energia.

$$E_n = nhf$$

Exemplo:
1. Assinale a alternativa que preenche corretamente a lacuna do parágrafo abaixo.
O ano de 1900 pode ser considerado o marco inicial de uma revolução ocorrida na Física do século XX. Naquele ano, Max Planck apresentou um artigo à Sociedade Alemã de Física, introduzindo a ideia da .... da energia, da qual Einstein se valeu para, em 1905, desenvolver sua teoria sobre o efeito fotoelétrico.
A) Conservação;
B) Quantização;
C) Transformação;
D) Conversão;
E) Propagação.
Resposta: letra B

Efeito fotoelétrico

Acontece quando uma placa metálica é exposta a uma radiação eletromagnética de frequência alta, como um feixe de luz que arranca elétrons da placa metálica.

Einstein, ao definir cada pacote de energia transportada pela luz de fóton, ampliou o conceito de quantização proposto por Planck para ondas eletromagnéticas. Um fóton, ao penetrar numa superfície metálica, atinge um elétron transferindo-lhe toda a sua energia. Ao deixar a placa, o elétron realiza um trabalho, que é uma constante característica de cada material (τ) denominada função do trabalho.

Sendo a energia fornecida pelo fóton maior que a função do trabalho necessária para que o elétron abandone o material, o elétron o faz com determinada energia cinética.

$$E_c = hf - \tau$$

Exemplo:
1. (UDESC/2012)A emissão de elétrons de uma superfície, devido à incidência de luz sobre essa superfície, é chamada de efeito fotoelétrico. Em um experimento um físico faz incidir uma radiação luminosa de frequência f e intensidade I sobre uma superfície de sódio, fazendo com que N elétrons sejam emitidos desta superfície. Em relação aos valores iniciais f e I, assinale a alternativa que apresenta como devem variar a frequência e a intensidade da luz incidente para duplicar o número de elétrons emitidos:

A) duplicar a frequência e manter a intensidade;
B) manter a frequência e duplicar a intensidade;
C) reduzir a frequência pela metade e manter a intensidade;
D) manter a frequência e quadruplicar a intensidade;
E) a emissão de elétrons independe da frequência e da intensidade da luz incidente.
Resposta: letra B

Relatividade

Einstein propôs através da teoria da relatividade conceitos que mudaram a base da Física, como tempo e espaço, que, segundo Einstein, variam com a velocidade de um referencial em movimento.
Relatividade restrita: dois princípios básicos foram formulados por Einstein.
1.º) As leis da Física são as mesmas para todos os observadores em qualquer sistemas de referência inerciais.
2.º) A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor para todos os observadores, qualquer que seja o seu movimento ou o movimento da fonte.
Relatividade geral: ao avaliar referenciais não inerciais, ou seja, que possuem aceleração, Einstein, chegou a algumas conclusões importantes.
1.º) Um referencial que sofre aceleração é equivalente a um referencial submetido a uma força atuante à distância.

Uma pessoa que está dentro de um elevador não tem como distinguir se de fato o elevador iniciou o movimento ou se alguma força começa a empurrá-lo para baixo.
2.º) A força gravitacional é provocada por uma distorção na relação entre espaço e tempo.

Um corpo em queda, ao percorrer espaços maiores em tempo cada vez menores, mostra que a massa de um corpo provoca distorções e quanto maior for essa massa maior será a distorção.

Exemplos:
1. Sobre os postulados da relatividade, marque o que for falso:
A) as leis da Física são as mesmas em todos os referenciais que mantêm velocidade constante ou que estão parados;
B) a velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor para qualquer referencial inercial e vale $3 \cdot 10^8$ m/s;
C) a velocidade da luz tem seu valor máximo no vácuo e tem o mesmo valor para qualquer referencial inercial, que é 300 000 m/s;
D) os postulados da teoria da relatividade fundamentam a teoria da relatividade de Einstein.
Resposta: letra C

2. Em relação às teorias da relatividade restrita e geral, marque o que estiver correto:
A) a teoria da relatividade restrita estuda fenômenos em relação a referenciais não inerciais;
B) a teoria da relatividade geral é uma segunda teoria feita por Einstein, na qual erros em relação à teoria da relatividade restrita foram corrigidos;
C) a teoria da relatividade geral aborda fenômenos do ponto de vista não inercial
D) ambas as teorias foram desenvolvidas na segunda metade do século XIX.
Resposta: letra C

Cosmologia

Sua expressão vem do grego, onde *cosmos* significa ordem, mundo e *logos*, estudo. Então, é a ciência que estuda o Cosmos procurando compreendê-lo no seu todo, ou seja, seu nascimento, sua evolução e sua disposição estrutural.

Os primeiros a estudarem e elaborarem as primeiras teorias sobre a Cosmologia foram Ptolomeu, que defendia que a Terra era esférica e não plana como afirmavam as antigas civilizações e que as esferas vistas no céu tinham seus movimentos submetidos a leis naturais, e Copérnico, que dispunha de um sistema no qual os planetas desenvolviam órbitas circulares em volta do Sol.

Posterior a Copérnico, Kepler (já visto anteriormente) substituiu a circularidade dos planetas em volta do Sol por trajetórias elípticas, embora neste período muitos continuavam a acreditar que o planeta Terra era o centro do Universo pela teoria geocêntrica.

O avanço da Ciência permitiu a Sitter (1917) conceber um padrão móvel para o Universo, que teve apoiadores como o matemático russo Friedmann (um dos que desenvolveu a métrica como uma solução exata das equações de campo da relatividade geral propostas por Einstein, na qual descreve um Universo em expansão ou contração, homogêneo e isotrópico) e o belga Lemaitre, em 1922. Para Lemaitre, as galáxias eram frações originadas a partir da explosão do núcleo, que resultou na propagação do Universo, nascendo assim a teoria do Big Bang como proposta para a compreensão do surgimento do Cosmos.

Mais tarde, Gamow (1948) propôs alterações na teoria do Big Bang ao afirmar que várias partículas existentes surgiram ao longo dos primeiros instantes da grande explosão, consequência da alta densidade e da elevada temperatura, algumas dessas partículas eram subatômicas e sofreram intensa fusão, derivando os elementos químicos. A matéria consequentemente cresceu muito rápido. Esse movimento de aquecimento e posterior resfriamento fez com que o Hélio (gás nobre inerte que não sofre reação química) e o Hidrogênio (é o elemento em maior abundância na crosta terrestre, representando 75% da massa de nosso planeta, é de suma importância para as mais variadas atividades industriais e ciclos naturais) se condensassem, proporcionando o surgimento das estrelas e galáxias existentes no Universo.

<u>Radioatividade</u>

A descoberta do Raio X por Roentgen em 1895 possibilitou, um ano mais tarde, a descoberta, pelo físico Becquerel, dos cristais de um sal de urânio que emitiam espontaneamente radiação, sendo determinante para o início da Física Nuclear. No ano de 1898, o casal de físicos Pierre e Marie Curie descobriram dois outros elementos que emitiam radiações espontaneamente, que foram denominados polônio (Po) e rádio (Ra).

Os estudos das emissões de radiações concluíram que toda vez que um átomo de uma substância radioativa emite partículas ocorre uma desintegração no interior do núcleo e a cada novo núcleo uma nova desintegração é produzida.

Conforme a partícula emitida, a carga positiva do núcleo aumenta, diminui ou permanece a mesma.

Numa desintegração radiativa é observado o aparecimento de três tipos de radiação:

- raios alfa (α), constituídos de núcleos de hélio (He);
- raios beta (β), constituídos de elétrons (e^-) ou pósitrons (e^+);
- raios gama (γ), constituídos de fótons de alta energia.

Exemplo:

1. (UFSCar) Uma das aplicações nobres da energia nuclear é a síntese de radioisótopos que são aplicados na medicina, no diagnóstico e tratamento de doenças. O Brasil é um país que se destaca na pesquisa e fabricação de radioisótopos. O fósforo-32 é utilizado na medicina nuclear para tratamento de problemas vasculares. No decaimento deste radioisótopo, é formado enxofre-32, ocorrendo emissão de:

A) partículas alfa;
B) partículas beta;
C) raios gama;
D) nêutrons;
E) raios X.
Resposta: letra B

<u>Fissão nuclear</u>

É a reação que ocorre no núcleo de um átomo, quando um núcleo pesado é atingido por um nêutron, que após a colisão libera uma quantidade muito grande de energia. A cada nova colisão, novos nêutrons são liberados e, ao colidirem com novos núcleos, provocam a fissão sucessiva de outros núcleos, estabelecendo uma reação em cadeia.

Os prótons e os nêutrons são mantidos ligados no núcleo graças à força nuclear de grande intensidade. O aparecimento dessa força é condicionado a partículas infinitamente próximas umas das outras, como ocorre com as partículas no núcleo do átomo. Assim, para que a separação aconteça, é necessário o fornecimento ao núcleo de grande quantidade de energia, chamada energia de ligação do núcleo.

Exemplo:
1. A energia lançada no espaço pelo Sol:
A) provém das reações nucleares que ocorrem em seu interior por causa da alta pressão e da temperatura;
B) ocorrem na superfície;
C) ocorrem na fotosfera;
D) ocorrem na cromosfera;
E) não ocorrem no sol.
Resposta: letra A

<u>Fusão nuclear</u>

À possibilidade de ocorrência do processo inverso denominamos de fusão nuclear. É a união de pequenos núcleos atômicos, que formarão um núcleo maior e mais estável.

No Sol, por exemplo, onde a fusão nuclear ocorre de forma natural, os núcleos de tipos de gás hidrogênio se fundem formando o gás hélio e mais a partícula atômica denominada nêutron. Nesse fenômeno, ocorre a perda de uma pequena quantidade de massa que irá se converter numa enorme quantidade de energia. Com as temperaturas extremamente altas que existem no Sol o processo se repete continuamente.

Exemplos:
1. (UEPB-PB) A energia nuclear resulta de processos de transformação de núcleos atômicos. Alguns isótopos de certo elementos apresentam a capacidade de se transformar em outros isótopos ou elementos através de reações nucleares. Baseia-se no princípio da equivalência de energia e massa, observado por Albert Einstein e foi descoberta por Hahn e Meitner com a observação de uma fissão nuclear depois da irradiação de urânio com nêutrons.

(Adaptado de http:/pt.wikipediaorg!wiki'Ttz_Stra'3%9Fmann)

Com base em seus conhecimentos relacionados à energia nuclear, é correto afirmar que:
A) nas reações de fissão nuclear, como acontece nas usinas, há um aumento de massa do núcleo que é transformada em energia;
B) a energia irradiada pelo Sol, quando os átomos de hidrogênio e de outros elementos leves se combinam, se dá pelo processo de fusão nuclear e não pela fissão nuclear;
C) nas reações de fusão nuclear, devido à quebra de átomos mais pesados, há um aumento de massa do núcleo que é transformada em energia;
D) a energia irradiada pelas estrelas, quando os átomos de hidrogênio e de outros elementos leves se combinam, se dá pelo processo de fissão nuclear;
E) a luz e calor irradiados pelo Sol, quando os átomos de hidrogênio e de outros elementos leves se combinam, se dão pelo processo de fissão nuclear.
Resposta: letra B

A) falsa, pois na fissão nuclear há divisão de um núcleo atômico pesado em dois núcleos mais leves;
B) correta, pois durante a fusão nuclear ocorre grande liberação de energia, já que as massas dos núcleos produzidos são inferiores as dos núcleos iniciais. Parte da massa perdida durante a fusão nuclear é convertida em energia. De acordo com a equação de Einstein $E = mc^2$, estas fusões nucleares explicam o calor e a luz do sol, percebidos por nós, aqui na Terra.
Letras C, D e E são falsas - explicações na letra B.

2. Assinale a alternativa que preenche corretamente a lacuna do parágrafo abaixo.
O Sol é a grande fonte de energia para toda a vida na Terra. Durante muito tempo, a origem da energia irradiada pelo Sol foi um mistério para a humanidade. Hoje, as modernas teorias de evolução das estrelas nos dizem que a energia irradiada pelo Sol provém de processos de .... que ocorrem no seu interior, envolvendo núcleos de elementos leves.
A) espalhamento;
B) fusão nuclear;
C) fissão nuclear;
D) fotossíntese;
E) combustão .
Resposta: letra B

Fontes de energia

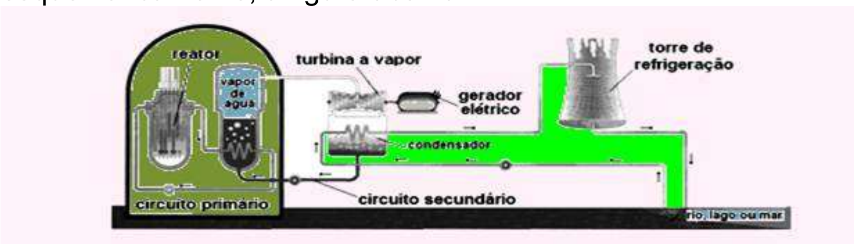
As fontes energéticas encontradas no planeta são as mais variáveis possíveis. Hoje a matriz energética mundial está baseada no consumo das fontes de energia não renováveis. Porém, com o aumento do consumo em decorrência das demandas mundiais, surge o aquecimento global, que tem modificado significativamente as condições climáticas do planeta, provocando grandes secas, grandes inundações, conflitos e fome. A necessidade de mudança deste quadro tem provocado estudos e implantações de novas matrizes energéticas.

Podemos classificar em dois grupos as fontes de energia existentes.
- Renováveis: são aquelas fontes de energia não limitadas, como os biocombustíveis, hidroelétricas, energia solar, energia eólica. Embora renováveis, algumas podem causar impacto ambiental.
- Não renováveis: são as fontes de energia limitada, que não se renovam, como o petróleo, o carvão mineral. São grandes produtores de gases poluentes.

As formas de transformação de energia utilizadas atualmente são:
- centrais elétricas: sua finalidade é transformar energia não elétrica em energia elétrica, que é transmitida da sua origem por meio de cabos de rede por longas distâncias até o consumidor final. Dentre as fontes de energia artificial existentes, destacamos três tipos de usinas:
- hidroelétricas, nas quais a eletricidade é obtida pela força mecânica provocada pela água ao passar pelas turbinas situadas na base da represa. Temos então a transformação de energia mecânica em energia elétrica;
- termoelétrica, onde a queima do carvão, casca de arroz ou óleo aquece a água que produz vapor fazendo girar a turbina que aciona o gerador de eletricidade;
- nucleares, o calor produzido por reações nucleares aquece a água, produzindo vapor que faz girar a turbina, que por sua vez aciona o gerador de eletricidade.
- fontes alternativas: são decorrência do uso desastroso das fontes não renováveis e também do seu esgotamento gerado pela grande demanda. São exemplos de fontes alternativas:
- energia solar é a energia proveniente do Sol, pouco explorada no mundo pelo alto custo de implantação, mas não é poluente nem gera impactos ambientais. As radiações solares que chegam à superfície da Terra podem ser captadas e transformada para gerar calor ou eletricidade na ordem de 0,9 kW/m^2;
- energia geotérmica é encontrada nas camadas mais profundas da crosta terrestre, na ordem de 3 ºC a cada 100 metros de profundidade. O calor captado poderia ser utilizado em usinas para acionar turbinas elétricas e gerar energia. Ainda são pouco utilizadas;
- energia de biomassa é a energia gerada pela decomposição de material orgânico, como o bagaço da cana-de-açúcar, esterco, restos de alimentos, e também pela queima de madeira, do carvão vegetal, pelo processamento industrial de celulose. O gás metano produzido é usado para gerar energia.
- energia eólica é proveniente de moinhos de vento possuidores de grandes hélices que em contato com o vento giram fazendo movimentar um gerador de eletricidade. É uma fonte limpa, inesgotável ainda pouco utilizada;
- energia gravitacional é gerada pelo movimento das águas oceânicas durante as marés. Seu custo é muito elevado, portanto, pouco utilizada.

Exemplos:

1. (UFRN-RN) As usinas nucleares funcionam a partir da grande quantidade de calor liberada pelas reações nucleares. O calor é absorvido por um circuito de água primário, do tipo ciclo fechado. Esse circuito fica em contato com outro, o circuito secundário, que, por sua vez, produz vapor de água a alta pressão, para fazer girar uma turbina capaz de acionar um gerador elétrico, conforme mostra, esquematicamente, a figura abaixo.



Com base nas informações acima, a sequência correta das principais formas de energia envolvidas nesse processo é:

A) energia nuclear, energia mecânica, energia potencial e energia elétrica;
B) energia nuclear, energia mecânica, energia térmica e energia elétrica;
C) energia nuclear, energia potencial, energia mecânica e energia elétrica;
D) energia nuclear, energia térmica, energia mecânica e energia elétrica.
Resposta: letra D

2. Apesar de um relativo declínio nas últimas décadas, esse recurso natural continua sendo a mais importante fonte de energia da atualidade. Trata-se de uma fonte não renovável e que atua na produção de eletricidade, combustíveis e na constituição de matérias primas para inúmeros produtos, como a borracha sintética e o plástico.

A descrição acima refere-se:
A) ao gás natural;
B) ao xisto betuminoso;
C) à agua;
D) ao petróleo;
E) ao carvão mineral.
Resposta: letra D

3. (FGV) Sobre o consumo de energia no Brasil, é correto afirmar que:
A) a Região Sudeste não consegue consumir toda a energia que produz;
B) o setor residencial e de comércio representam 80% de consumo total de energia;
C) mais da metade da energia consumida no país provém de fontes renováveis, como a hidráulica e a biomassa;
D) nesta década, devido às sucessivas crises econômicas, não tem havido aumento de consumo de energia;
E) o petróleo e o carvão mineral representam mais de 70% de energia produzida para o consumo no país.
Resposta: letra C

4. (ENEM) O setor de transporte, que concentra uma grande parcela da demanda de energia no país, continuamente busca alternativas de combustíveis.

Investigando alternativas ao óleo diesel, alguns especialistas apontam para o uso do óleo de girassol, menos poluente e de fonte renovável, ainda em fase experimental.

Foi constatado que um trator pode rodar, NAS MESMAS CONDIÇÕES, mais tempo com um litro de óleo de girassol, que com um litro de óleo diesel.Essa constatação significaria, portanto, que usando óleo de girassol:
A) o consumo por km seria maior do que com óleo diesel;
B) as velocidades atingidas seriam maiores do que com óleo diesel;
C) o combustível do tanque acabaria em menos tempo do que com óleo diesel;
D) a potência desenvolvida, pelo motor, em uma hora, seria menor do que com óleo diesel;
E) a energia liberada por um litro desse combustível seria maior do que por um de óleo diesel.
Resposta: letra E

Bibliografia

BONJORNOe**CLINTON,** NOVO FISICA FUNDAMENTAL (VOLUME ÚNICO, 2º GRAU), FTD 1999 SÃO PAULO

BOSQUILHIAAlessandra e **PELEGRINI**Márcio, Minimanual Compacto De Física Teoria e Prática, EDITORA RIDEEL 2ª EDIÇÃO REVISADA 2003 SÃO PAULO

CHIQUETTOMarcos Jose, FISICA PARA O 2º GRAU (VOLUME ÚNICO CURSO COMPLETO), EDITORA SCIPIONE 3ª EDIÇÃO 1994 SÃO PAULO

SANT'ANNA Blaidi, **MARTINI** Gloria, **REIS** Hugo Carneiro e **SPINELLI**Walter, Coleção Conexões Com A Fisica (Volumes 1, 2 E 3), EDITORA MODERNA 1ª EDIÇAO 2010 SÃO PAULO

SILVAParaná Djalma Nunes, Física Novo Ensino Médio Volume Único, EDITORA ÁTICA 6ª EDIÇÃO 2003 SÃO PAULO