

Trabalho, Potência e Rendimento

Originalmente, o termo energia, do grego antigo *ergos*, era utilizado para designar o trabalho. Atualmente, esse termo está associado aos mais diferentes temas: alimentação, esportes, meio ambiente, reações químicas; enfim, o conceito de energia é importante nas mais diversas áreas do conhecimento.

Neste módulo, estudaremos o conceito físico de trabalho. Inicialmente, veremos quais são as grandezas que determinam o valor do trabalho realizado por uma força e aprenderemos a calcular esse trabalho. Em seguida, apresentaremos o conceito de potência, que está relacionado à rapidez com a qual certo trabalho é realizado. Finalizaremos a teoria do módulo estudando o conceito de rendimento, que está relacionado à potência útil obtida na realização de determinado trabalho.

ENERGIA (E)

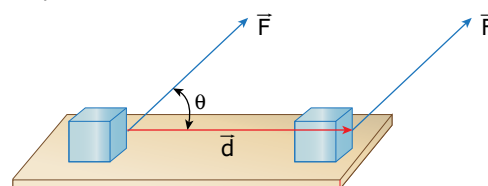
Estamos habituados a utilizar o termo energia nos mais diversos contextos, desde a energia contida nos alimentos que ingerimos, passando pela energia gasta nas atividades físicas, até aquela liberada nas explosões atômicas e nos terremotos. No rótulo de uma lata de azeite, por exemplo, encontramos a informação de que a energia contida nesse alimento é de $1,26 \cdot 10^5$ cal ou $5,27 \cdot 10^5$ J. A caloria (cal) e o joule (J) são unidades utilizadas para medir a energia. O conceito de energia foi um dos últimos a ser estruturado na ciência moderna e está intimamente associado à ideia de conservação. Isto é, nos diversos fenômenos observados na natureza, algo sempre permanece constante, apesar de a aparência, a forma, a cor, a temperatura, o volume, e outras propriedades variarem. Estudaremos aqui apenas o aspecto mecânico da energia, ou seja, aquele associado ao conceito de força.

CONCEITO DE TRABALHO (W)

O trabalho (W) é a grandeza física que mede a quantidade de energia transferida de um corpo para outro por meio da ação de uma força exercida pelo primeiro corpo sobre o segundo, fazendo com que este sofra um deslocamento na mesma direção da força. Assim, para que um sistema realize trabalho sobre um corpo, é necessário que exista uma força e um deslocamento. Essas grandezas são necessárias, mas sua existência não é suficiente para garantir a realização de trabalho.

Trabalho realizado por uma força constante

Considere um corpo deslocando-se entre dois pontos A e B, por meio de uma trajetória qualquer. Esse corpo está submetido a uma força \vec{F} constante em módulo, direção e sentido. Seja \vec{d} o vetor deslocamento realizado pelo corpo. Lembre-se de que o deslocamento se difere da distância percorrida.



Matematicamente, o trabalho realizado pela força \vec{F} ao deslocar o corpo de A até B é dado pela relação:

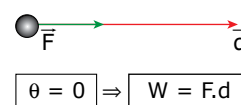
$$W_{AB} = |\vec{F}| \cdot |\vec{d}| \cdot \cos \theta \text{ ou } W_{AB} = F \cdot d \cdot \cos \theta$$

A relação nos mostra que

- o trabalho é uma grandeza escalar;
- sua unidade, no SI, é o N.m = J (joule).

O fato de o trabalho ter a mesma unidade que a energia não é coincidência, afinal, o trabalho mede a quantidade de energia que uma força transfere a um corpo;

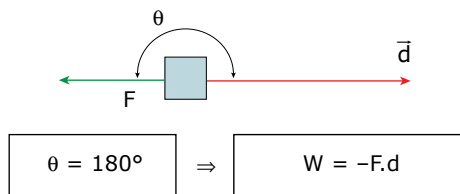
- θ é o valor do ângulo entre os vetores \vec{F} e \vec{d} , podendo variar entre 0° e 180° ;
- o termo $F \cdot \cos \theta$ mostra que devemos utilizar a componente da força que está na mesma direção do deslocamento, isto é, parte da força pode não realizar trabalho algum;
- se \vec{F} e \vec{d} têm a mesma direção e sentido, então $\theta = 0^\circ$, como mostra a figura a seguir. Nesse caso, a expressão geral para o cálculo do trabalho reduz-se a $W = F \cdot d$.



$$\theta = 0 \Rightarrow W = F \cdot d$$

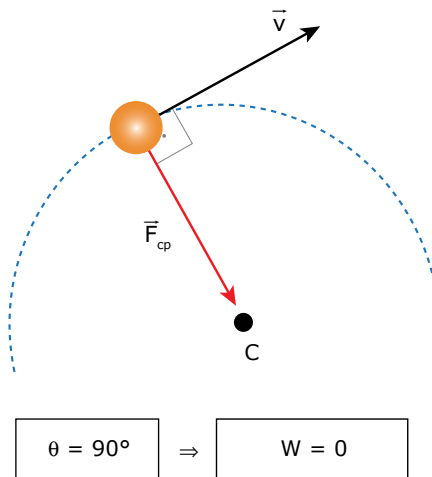
Sempre que o trabalho assume valores positivos, como na situação mostrada na figura anterior e em outras cujo ângulo entre os vetores \vec{F} e \vec{d} está compreendido entre $0^\circ \leq \theta < 90^\circ$, o sistema está recebendo energia da força \vec{F} , isto é, a força \vec{F} está transferindo energia para o sistema;

- se \vec{F} e \vec{d} têm a mesma direção, porém sentidos opostos, então $\theta = 180^\circ$, como mostra a figura a seguir. Nesse caso, a expressão geral para o cálculo do trabalho reduz-se a $W = -F.d$.



Sempre que o valor do trabalho assume valores negativos, como na situação mostrada na figura anterior e em outras cujo ângulo θ está compreendido entre $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$, o sistema está perdendo energia devido à ação da força \vec{F} , isto é, a força \vec{F} está retirando energia do sistema;

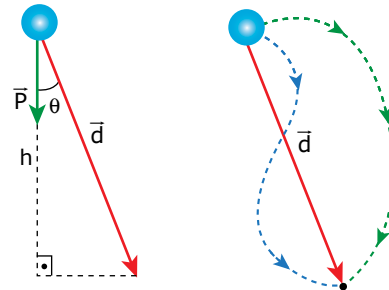
- se \vec{F} e \vec{d} são perpendiculares, então $\theta = 90^\circ$, como na situação mostrada na figura a seguir.



Nesse caso, o valor do trabalho é nulo, uma vez que $\cos 90^\circ = 0$. Isso indica que a força não realiza trabalho, isto é, nenhuma energia está sendo transferida para o sistema ou sendo retirada dele. A força centrípeta resultante nunca realiza trabalho, pois essa força sempre atua sobre o corpo perpendicularmente ao seu deslocamento.

Trabalho realizado pela força peso

Quando um objeto se desloca de um ponto para outro, em uma região na qual a força peso atua, podemos determinar o trabalho realizado por essa força utilizando a expressão geral $W = F.d.\cos \theta$.



Como o módulo do deslocamento depende apenas das posições inicial e final do corpo, não importando a trajetória seguida por ele, o valor do trabalho realizado pela força peso será sempre o mesmo e igual a:

$$W = F.d.\cos \theta \Rightarrow W_p = P.d.\cos \theta \Rightarrow W_p = P.d.\frac{h}{d} \Rightarrow W_p = P.h$$

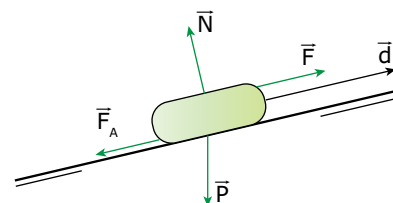
Quando o corpo cai, $W_p = P.h$, e, quando o corpo sobe, $W_p = -P.h$.

Esse estudo mostra que a força peso não realiza trabalho quando o deslocamento do corpo é horizontal, uma vez que, nessa situação, os vetores força e deslocamento são perpendiculares ($\theta = 90^\circ$); logo, a força peso não transfere energia para o corpo.

Forças cujo valor do trabalho realizado não depende da trajetória descrita pelo corpo sobre o qual atuam, como é o caso da força peso, são denominadas **forças conservativas**. Forças de atrito ou de resistência dos fluidos não satisfazem a essa condição, pois o valor do trabalho realizado por essas forças depende da trajetória seguida pelo corpo sobre o qual atuam. Essas forças são denominadas **não conservativas**.

Trabalho realizado pela força resultante

Em muitas situações, várias são as forças que atuam sobre um corpo, algumas transferindo energia para ele, e outras retirando.



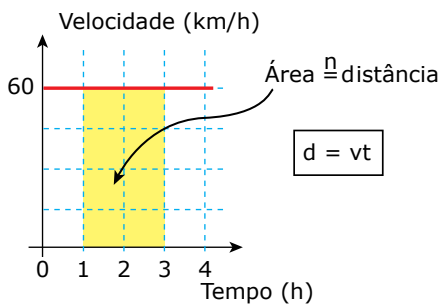
Para determinarmos o valor do trabalho total realizado sobre o corpo, podemos seguir dois caminhos que se equivalem:

- A) Calculamos, inicialmente, o trabalho realizado por cada uma das forças agindo individualmente, $W_1 = F_1 \cdot d_1 \cdot \cos \theta_1$; $W_2 = F_2 \cdot d_2 \cdot \cos \theta_2$; $W_n = F_n \cdot d_n \cdot \cos \theta_n$; etc. Uma vez determinado o valor do trabalho realizado por cada uma das forças, basta somar algebricamente o valor desses trabalhos, considerando o sinal positivo e negativo de cada um deles: $W = W_1 + W_2 + \dots + W_n$.
- B) Determinamos, inicialmente, a força resultante que atua sobre o sistema: $\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$. Em seguida, calculamos o valor do trabalho total realizado por essa força $W = F_R \cdot d \cdot \cos \theta$.

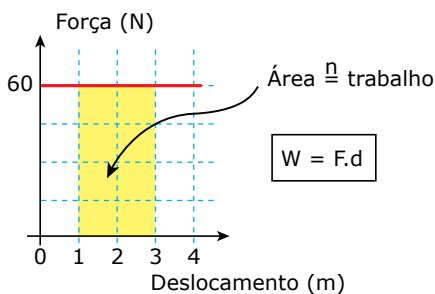
Ambos os caminhos conduzem ao mesmo resultado. É importante lembrar que o conceito de trabalho realizado por uma força está associado à energia que é transferida ao corpo por essa força.

Determinação gráfica do trabalho

No estudo da Cinemática, vimos que, para um corpo em movimento uniforme, a distância d percorrida pelo corpo pode ser determinada pela relação $d = vt$. Graficamente, essa distância pode ser calculada determinando-se o valor da área sob a curva do gráfico de velocidade *versus* tempo, como indicado a seguir:



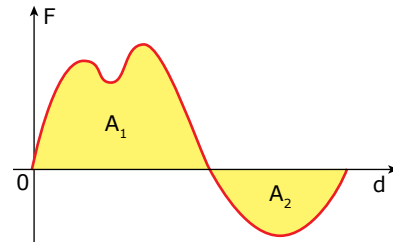
Quando a força aplicada sobre um corpo é paralela ao deslocamento deste, podemos, por analogia, inferir que:



Embora tenhamos feito a analogia somente para o caso de a força apresentar módulo constante, pode-se provar que esse procedimento é válido mesmo nos casos em que o módulo da força é variável, como mostra a figura a seguir:

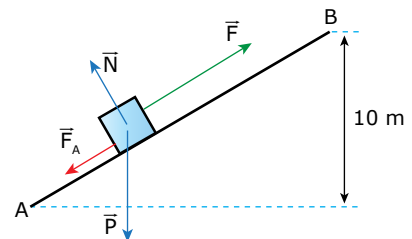
$$A_1 + A_2 = W$$

(Soma algébrica)



EXERCÍCIO RESOLVIDO

01. A figura a seguir mostra as quatro forças que atuam sobre um bloco que desliza em um plano inclinado, indo de A para B. As forças representadas possuem os seguintes módulos $F = 15 \text{ N}$, $F_A = 3 \text{ N}$, $P = 20 \text{ N}$ e $N = 15 \text{ N}$.



O trajeto de A até B tem 25 m de comprimento. Determinar

- A) o valor do trabalho realizado por cada força.
- B) o valor do trabalho total realizado.
- C) o valor da energia recebida ou retirada do bloco.

Resolução:

- A) O trabalho realizado por cada força pode ser determinado utilizando-se a equação $W = F \cdot d \cdot \cos \theta$:
 - $W_F = F \cdot d \cdot \cos \theta = 15 \cdot 25 \cdot \cos 0^\circ = 375 \text{ J}$
 - $W_{F_A} = F_A \cdot d \cdot \cos \theta = 3 \cdot 25 \cdot \cos 180^\circ = -75 \text{ J}$
 - $W_P = -P \cdot h = -20 \cdot 10 = -200 \text{ J}$
 - $W_N = N \cdot d \cdot \cos \theta = 15 \cdot 25 \cdot \cos 90^\circ = 0 \text{ J}$
- B) O trabalho total realizado é igual à soma algébrica dos valores encontrados no item A, ou seja, $(+375 \text{ J}) + (-75 \text{ J}) + (-200 \text{ J}) + 0 \text{ J} = +100 \text{ J}$.
- C) Como o trabalho total realizado sobre o bloco foi positivo e igual a 100 J, isso indica que o bloco ganhou 100 J de energia durante o trajeto de A até B.

Potência

Utilizamos máquinas para realizar forças sobre objetos e para os mover. Isso nos poupa muito esforço muscular. Imagine um guindaste erguendo um contêiner de massa m a uma altura h , como mostrado na imagem a seguir.



Dois motores distintos podem erguer o contêiner da figura anterior, a uma mesma altura h , em tempos diferentes. Ambos realizam o mesmo trabalho ($W = Ph$), porém uma máquina o realiza em menos tempo. Dizemos, então, que as máquinas apresentam potências diferentes. A potência é uma grandeza física que mede a rapidez com a qual uma força realiza trabalho, isto é, o ritmo no qual um sistema transfere energia para outro. Matematicamente, podemos escrever que:

$$\text{Potência} = \frac{\text{Trabalho (energia transferida)}}{\text{Intervalo de tempo}} \text{ ou } P = \frac{W}{\Delta t}$$

No Sistema Internacional de Unidades, o trabalho é medido em joule (J), e o intervalo de tempo, em segundo (s). Dessa maneira, a potência é medida em $\frac{\text{joule}}{\text{segundo}} = \frac{J}{s} = \text{watt (W)}$. Essa unidade, watt, é uma homenagem a James Watt (1736-1819), que muito contribuiu para aperfeiçoar as máquinas a vapor, impulsionando, dessa forma, a Primeira Revolução Industrial. Quando compramos uma lâmpada de 25 W (25 watts), significa que, a cada segundo que a lâmpada fica ligada, ela transforma 25 J de energia elétrica em outras formas de energia (luz, calor, etc.). Por isso, uma lâmpada de 25 W brilha mais que outra de 15 W. Quando vamos comprar um aparelho elétrico qualquer, devemos estar atentos à sua potência, pois quanto maior essa grandeza, maior será o "consumo" (transformação) de energia envolvido e, conseqüentemente, maior será o custo.

Por motivos históricos, utilizamos outras unidades de potência que não o watt, como o cavalo-vapor (cv) e o horse-power (hp). As relações entre essas unidades e o watt são:

$$1 \text{ hp} = 745,7 \text{ W}$$

$$1 \text{ cv} = 735,5 \text{ W}$$

EXERCÍCIO RESOLVIDO

02. Um elevador de 1 000 kg sobe uma altura de 60 m, em meio minuto.

Dado: $g = 10 \text{ m/s}^2$.

- A) Qual a velocidade do elevador?
 B) Qual a potência média desenvolvida pelos motores do elevador?

Resolução:

- A) Supondo que o valor da velocidade do elevador permaneça constante, podemos dizer que sua velocidade foi de 2 m/s, pois ele percorreu 60 m em 30 s.
 B) Para determinar o valor da potência média desenvolvida pelos motores para puxar o elevador, podemos utilizar a definição de potência:

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{mg \cdot h}{\Delta t} = mg \cdot v \Rightarrow P = 1\,000 \cdot 10 \cdot 2$$

$$P = 20\,000 \text{ W}$$

RENDIMENTO

Hoje em dia, as lâmpadas incandescentes (Figura a) estão sendo, gradativamente, substituídas por lâmpadas compactas fluorescentes (Figura b), que, em um período de tempo não muito longo, devem ceder lugar às lâmpadas com tecnologia LED (Figura c). Não é um mero jogo de mercado, pois por trás dessas trocas está uma intensa negociação energética, já que o nosso objetivo é termos lâmpadas que emitam mais energia luminosa com um menor consumo de energia elétrica. Vejamos, então, o que cada uma dessas tecnologias associadas às lâmpadas nos fornece, quando transformações energéticas ocorrem.

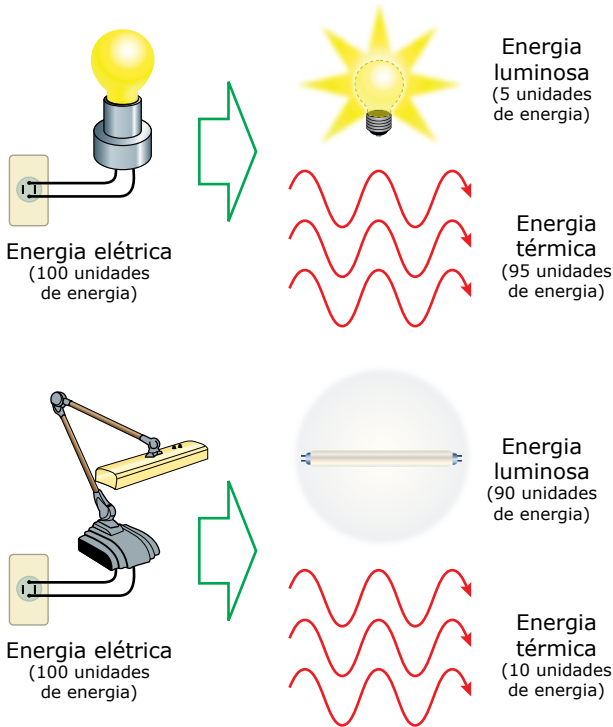


Lâmpadas de diferentes tecnologias: (a) incandescente; (b) compacta; (c) LED.

A tabela a seguir fornece um quadro comparativo entre as lâmpadas incandescentes e fluorescentes, e mostra os valores das transformações energéticas que ocorrem nessas lâmpadas.

Tecnologia usada	Energia elétrica recebida	Energia luminosa emitida	Energia térmica emitida
Incandescente	100 J	5 J	95 J
Compacta PL	100 J	90 J	10 J

Observe que, de cada 100 J de energia elétrica, apenas 5 J são transformados em energia luminosa na lâmpada incandescente, enquanto esse valor chega a 90 J na lâmpada fluorescente compacta. Assim, dizemos que a eficiência ou o rendimento da lâmpada incandescente é de 5% (5 J / 100 J), enquanto o rendimento da lâmpada compacta PL é de 90% (90 J / 100 J).



Define-se o rendimento η de uma transformação energética como a razão entre a energia útil obtida e a energia total recebida. Podemos trocar a grandeza energia por potência, uma vez que a potência apenas representa a energia por unidade de tempo. Matematicamente, temos que:

$$\eta = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{total}}}$$

Observe que o rendimento é uma razão entre duas grandezas que apresentam a mesma unidade (joule ou watt), por isso, o rendimento é uma grandeza adimensional.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

03. Um motor elétrico de potência 2 kW apresenta rendimento de 80% e é utilizado para erguer, com velocidade constante, um objeto de 40 kg. Qual é o módulo da velocidade com a qual o objeto é transportado? Use $g = 10 \text{ m/s}^2$

Resolução:

Como o rendimento do motor é de 80%, temos que, dos 2 000 W de potência total, apenas 1 600 W serão efetivamente utilizados para movimentar o objeto, isto é, a potência útil do motor é de 1 600 W.

A velocidade v com a qual o objeto é transportado está relacionada à potência útil do motor, P_u , por meio da seguinte relação:

$$P_u = F \cdot v$$

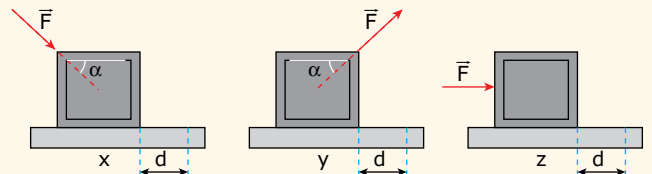
Em que F é a força que o motor exerce sobre o objeto para erguê-lo. Como o objeto é erguido com velocidade constante, temos que o módulo da força exercida pelo motor sobre o objeto é igual ao módulo do peso deste. Assim, temos que a velocidade com a qual o objeto é transportado é dada por:

$$P = F \cdot v \Rightarrow 1\,600 \text{ W} = 400 \text{ N} \cdot v \Rightarrow v = 4 \text{ m/s}$$

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



01. (UFRGS-RS) Um estudante movimentou um bloco homogêneo de massa M , sobre uma superfície horizontal, com forças de mesmo módulo F , conforme representa a figura a seguir.

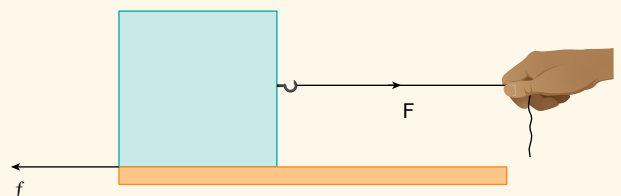


Em x , o estudante empurra o bloco; em y , o estudante puxa o bloco; em z , o estudante empurra o bloco com força paralela ao solo.

O trabalho realizado pelo estudante para mover o bloco nas situações apresentadas, por uma mesma distância d , é tal que:

- A) $W_x = W_y = W_z$
- B) $W_x = W_y < W_z$
- C) $W_x > W_y > W_z$
- D) $W_x > W_y = W_z$
- E) $W_x < W_y < W_z$

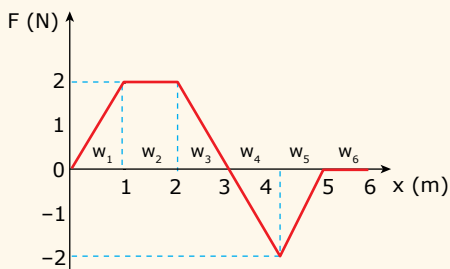
02. (IFSC-SC-2016) Em uma atividade experimental de física, foi proposto aos alunos que determinassem o coeficiente de atrito dinâmico ou cinético e que também fizessem uma análise das grandezas envolvidas nessa atividade. Tal atividade consistia em puxar um bloco de madeira sobre uma superfície horizontal e plana com uma força F , com velocidade constante.



Sobre esta situação, é correto afirmar que

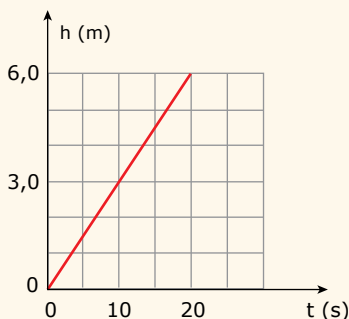
- A) o trabalho realizado pela força F é nulo.
- B) o trabalho total realizado sobre o bloco é negativo.
- C) o trabalho realizado pela força de atrito F é nulo.
- D) o trabalho realizado pela força de atrito F é negativo.
- E) o trabalho realizado pela força F é igual à variação da energia cinética do bloco.

03. (UFSCar-SP) Um bloco de 10 kg movimentou-se em linha reta sobre uma mesa lisa, em posição horizontal, sob a ação de uma força variável que atua na mesma direção do movimento, conforme o gráfico a seguir. O trabalho realizado pela força quando o bloco se desloca da origem até o ponto $x = 6 \text{ m}$ é



- A) 1 J. C) 4 J. E) 2 J.
 B) 6 J. D) zero.

04. (FUVEST-SP) Uma empilhadeira elétrica transporta do chão até uma prateleira, a 6 m do chão, um pacote de 120 kg. O gráfico adiante ilustra a altura do pacote em função do tempo. A potência aplicada ao corpo pela empilhadeira é



- A) 120 W. C) 720 W. E) 2 400 W.
 B) 360 W. D) 1 200 W.

05. (AFA-SP) O motor de um determinado veículo consome 8,0 litros de combustível em uma hora. Sabendo-se que o calor de combustão desse combustível é de 10 000 cal/g, que sua densidade é 0,675 g/cm³ e que o motor desenvolve uma potência de 24 kW, o rendimento desse motor, em porcentagem, é de (considere 1 cal = 4 J)

A) 32. B) 36. C) 40. D) 44.

06. (UEFS-BA) Com base nos conhecimentos sobre Mecânica e considerando-se que os conceitos de trabalho e energia são importantes tanto na Física quanto na vida cotidiana, é correto afirmar:

A) Apenas as forças conservativas podem realizar trabalho.
 B) O trabalho é igual à área sob a curva força *versus* tempo.
 C) A força gravitacional não pode realizar trabalho porque ela atua à certa distância.
 D) Uma força que é sempre perpendicular à velocidade de uma partícula nunca realiza trabalho sobre a partícula.
 E) O trabalho realizado por uma força conservativa é igual ao aumento na energia potencial associada àquela força.

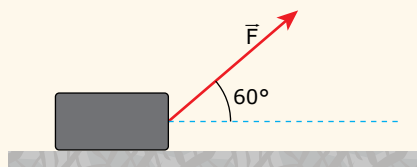
07. (UEL-PR) Suponha que o conjunto formado pelo satélite e pelo foguete lançador possua massa de $1,0 \cdot 10^3$ toneladas e seja impulsionado por uma força propulsora de aproximadamente $5,0 \cdot 10^7$ N, sendo o sentido de lançamento desse foguete perpendicular ao solo.



Desconsiderando a resistência do ar e a perda de massa devido à queima de combustível, assinale a alternativa que apresenta, corretamente, o trabalho realizado, em joules, pela força resultante aplicada ao conjunto nos primeiros 2,0 km de sua decolagem. Considere a aceleração da gravidade $g = 10,0 \text{ m/s}^2$ em todo o percurso descrito.

- A) $4,0 \cdot 10^7 \text{ J}$.
 B) $8,0 \cdot 10^7 \text{ J}$.
 C) $4,0 \cdot 10^{10} \text{ J}$.
 D) $8,0 \cdot 10^{10} \text{ J}$.
 E) $10,0 \cdot 10^{10} \text{ J}$.

08. (EsPCEx-SP) Uma força constante \vec{F} de intensidade 25 N atua sobre um bloco e faz com que ele sofra um deslocamento horizontal. A direção da força forma um ângulo de 60° com a direção do deslocamento.



Desprezando todos os atritos, a força faz o bloco percorrer uma distância de 20 m em 5 s. A potência desenvolvida pela força é de

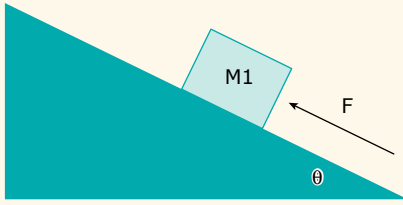
- Dados:** $\text{sen } 60^\circ = 0,87$ e $\text{cos } 60^\circ = 0,50$
- A) 87 W.
 B) 50 W.
 C) 37 W.
 D) 13 W.
 E) 10 W.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS



01. (UNITAU-SP-2016) A figura mostra um corpo, cuja massa é $M_1 = 10 \text{ kg}$, que se movimenta ao longo de um plano inclinado. O movimento de subida no plano é devido à força aplicada F , sendo desprezíveis as forças de atrito. O bloco é arrastado por uma distância $D = 5 \text{ m}$, ao longo do plano inclinado. O módulo da força aplicada é $F = 200 \text{ N}$; a inclinação do plano inclinado é $\theta = 45^\circ$, $\text{sen}(45^\circ) = \text{cos}(45^\circ) = 0,71$; e o módulo da aceleração gravitacional terrestre igual a 10 m/s^2 .





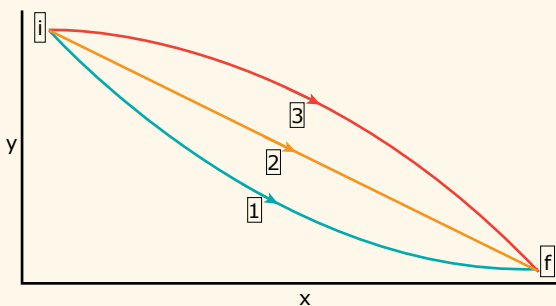
Calcule o trabalho realizado pela força aplicada F ao longo do deslocamento D .

- A) 255,4 joules.
- B) 356,3 joules.
- C) 712,5 joules.
- D) 1 000 joules.
- E) 1 100 joules.

02. (PUCPR) Em um determinado setor de uma indústria, é solicitado, por questões técnicas, que sejam enviados 150 litros de óleo ($\rho_o = 0,8 \text{ g/cm}^3$) a um reservatório que se encontra a uma altura de 15 metros em relação a um nível de referência. O tempo disponível para essa tarefa é 10 minutos. Considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$ e desprezando possíveis perdas, o engenheiro responsável pela operação deverá providenciar uma bomba que apresente uma potência média mínima de:

- A) $1,8 \cdot 10^4 \text{ W}$.
- B) $3 \cdot 10^1 \text{ W}$.
- C) $1,8 \cdot 10^3 \text{ W}$.
- D) $3 \cdot 10^2 \text{ W}$.
- E) $2,25 \cdot 10^1 \text{ W}$.

03. (Unicamp-SP-2018) A figura mostra três trajetórias, 1, 2 e 3, através das quais um corpo de massa m , no campo gravitacional terrestre, é levado da posição inicial i para a posição final f , mais abaixo.



Sejam W_1 , W_2 e W_3 , respectivamente, os trabalhos realizados pela força gravitacional nas trajetórias mostradas.

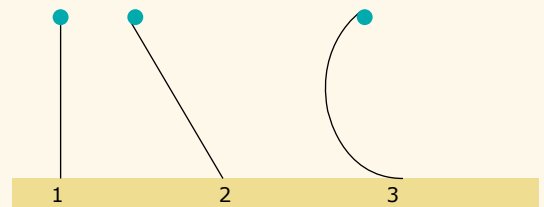
Assinale a alternativa que correlaciona corretamente os trabalhos realizados.

- A) $W_1 < W_2 < W_3$
- B) $W_1 < W_2 = W_3$
- C) $W_1 = W_2 = W_3$
- D) $W_1 = W_2 > W_3$
- E) $W_1 > W_2 > W_3$

04. (UNISC-RS) Um corpo de massa m desliza sobre um plano horizontal com velocidade constante. Sabendo que existe uma força de atrito cujo coeficiente de atrito é $\mu = 0,5$ entre o corpo e o plano e após ter percorrido uma distância de 20 m, o trabalho da força de atrito foi de $W = -2 000 \text{ J}$. Considerando que $g = 10 \text{ m/s}^2$, podemos afirmar que a massa m em quilogramas do corpo é de

- A) 50.
- B) 200.
- C) 20.
- D) 25.
- E) 40.

05. (PUC Minas) Um corpo pode descer de uma dada altura até o solo por três caminhos diferentes, conforme figura a seguir.



Assinale a afirmativa correta.

- A) O trabalho realizado pelo peso é maior em (3).
- B) O trabalho do peso na descida é negativo em qualquer dos casos.
- C) A variação da energia potencial gravitacional tem um valor negativo e diferente para cada uma das trajetórias.
- D) O trabalho realizado pelo peso é o mesmo em qualquer das trajetórias.

06. (UEFS-BA) Um guindaste com rendimento de 25% ergue uma carga de meia tonelada a uma altura de 75,0 cm no intervalo de 5,0 s.

Considerando-se o módulo da aceleração da gravidade local igual a $10,0 \text{ m/s}^2$, a potência do guindaste, em kW, é

- A) 1,0.
- B) 2,0.
- C) 3,0.
- D) 4,0.
- E) 5,0.

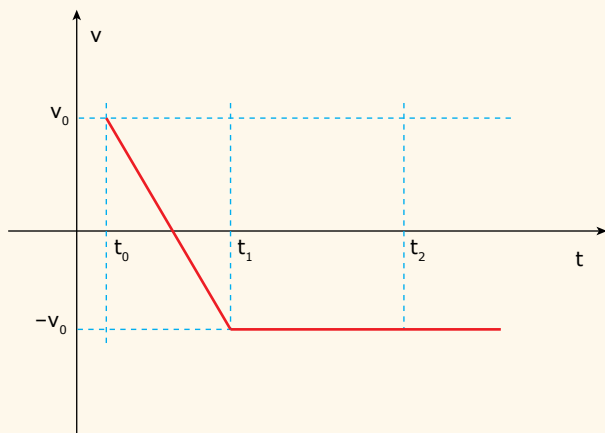
07. (Unesp) Uma pessoa, com 80 kg de massa, gasta para realizar determinada atividade física a mesma quantidade de energia que gastaria se subisse diversos degraus de uma escada, equivalente a uma distância de 450 m na vertical, com velocidade constante, num local onde $g = 10 \text{ m/s}^2$. A tabela a seguir mostra a quantidade de energia, em joules, contida em porções de massas iguais de alguns alimentos.

Alimento	Energia por porção (kJ)
Espaguete	360
Pizza de muçarela	960
Chocolate	2 160
Batata frita	1 000
Castanha-de-caju	24 000

Considerando que o rendimento mecânico do corpo humano seja da ordem de 25%, ou seja, que um quarto da energia química ingerida na forma de alimentos seja utilizada para realizar um trabalho mecânico externo por meio da contração e expansão de músculos, para repor exatamente a quantidade de energia gasta por essa pessoa em sua atividade física, ela deverá ingerir 4 porções de

- A) castanha-de-caju.
- B) batata frita.
- C) chocolate.
- D) pizza de muçarela.
- E) espaguete.

08. (FMP-RJ-2016) Um objeto de massa m , que pode ser tratado como uma partícula, percorre uma trajetória retilínea, e sua velocidade varia no tempo de acordo com a função cujo gráfico está descrito na figura a seguir.

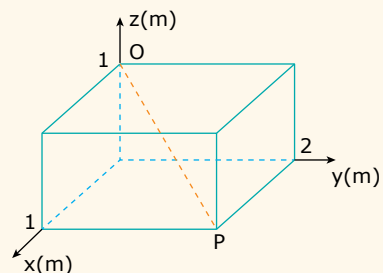


Considere os três instantes assinalados na figura: o instante t_0 , no qual a velocidade do objeto vale v_0 , o instante t_1 , no qual a velocidade vale $-v_0$, e o instante t_2 , para o qual a velocidade do objeto continua valendo $-v_0$.

Os trabalhos realizados pela força resultante sobre o objeto entre os instantes t_0 e t_1 (W_1), e entre os instantes t_1 e t_2 (W_2), valem:

- A) $W_1 < 0$ e $W_2 < 0$
- B) $W_1 > 0$ e $W_2 < 0$
- C) $W_1 = 0$ e $W_2 = 0$
- D) $W_1 > 0$ e $W_2 = 0$
- E) $W_1 = 0$ e $W_2 < 0$

09. (FMP-RJ-2015) A figura a seguir ilustra um paralelepípedo reto-retângulo associado a um sistema de eixos ortogonais no \mathbb{R}^3 de tal modo que um de seus vértices está na origem. As arestas do paralelepípedo são dadas em metros.



Um objeto se desloca do vértice P até o vértice Q, em linha reta, devido à ação de forças que nele atuam. Uma dessas forças é \vec{F}_z que tem a direção e o sentido do eixo z e intensidade igual a 3 newtons.

O trabalho realizado pela força \vec{F}_z , em N.m, ao longo desse deslocamento, é:

- A) $\frac{\sqrt{6}}{6}$
- B) $\frac{\sqrt{6}}{3}$
- C) $\frac{\sqrt{6}}{2}$
- D) 2
- E) 3

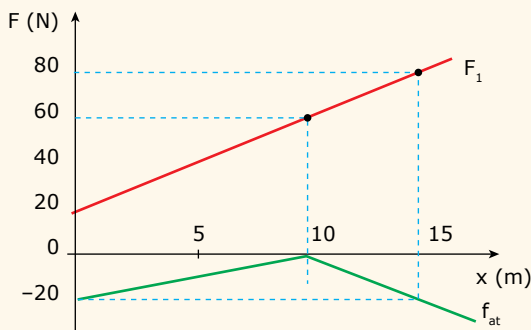
10. (UEPA-2015) Um elevador de 750 kg de massa, carregando 6 pessoas, cada uma com 75 kg, percorre a distância entre o 1º e o 9º andar de um prédio em 16 s. Sabe-se que cada andar do prédio possui 3,0 m de altura e que o elevador se move com velocidade constante neste trecho.

Nesse sentido, a potência fornecida pelo motor do elevador para transportar o sistema desde o 3º até o 7º andar é, em kW, igual a:

Dado: Aceleração da gravidade = 10 m/s^2

- A) 10.
- B) 12.
- C) 14.
- D) 16.
- E) 18.

- 11.** (FAAP-SP) O gráfico apresenta a variação das forças F_1 e f_{at} (força de atrito) que agem num corpo que se desloca sobre o eixo x.



Calcule

- A) o trabalho da força F_1 para arrastar o corpo nos primeiros 10 m.
- B) o trabalho da força de atrito enquanto o corpo é arrastado nos primeiros 10 m.
- C) o trabalho da força resultante para arrastar o corpo nos primeiros 15 m.

- 12.** (FUVEST- SP) A energia necessária para o funcionamento adequado do corpo humano é obtida a partir de reações químicas de oxidação de substâncias provenientes da alimentação, que produzem aproximadamente 5 kcal por litro de O_2 consumido. Durante uma corrida, um atleta consumiu 3 litros de O_2 por minuto.

Determine

- A) a potência P gerada pelo consumo de oxigênio durante a corrida;
- B) a quantidade de energia E gerada pelo consumo de oxigênio durante 20 minutos da corrida;
- C) o volume V de oxigênio consumido por minuto se o atleta estivesse em repouso, considerando que a sua taxa de metabolismo basal é 100 W.

Note e Adote: $1 \text{ cal} = 4 \text{ J}$

SEÇÃO ENEM

- 01.** (Enem-2016) A usina de Itaipu é uma das maiores hidrelétricas do mundo em geração de energia. Com 20 unidades geradoras e 14 000 MW de potência total instalada, apresenta uma queda de 118,4 m e vazão nominal de $690 \text{ m}^3/\text{s}$ por unidade geradora. O cálculo da potência teórica leva em conta a altura da massa de água represada pela barragem, a gravidade local (10 m/s^2) e a densidade da água ($1 000 \text{ kg/m}^3$). A diferença entre a potência teórica e a instalada é a potência não aproveitada.

Disponível em: <www.itaipu.gov.br>.

Acesso em: 11 maio 2013 (Adaptação).

Qual é a potência, em MW, não aproveitada em cada unidade geradora de Itaipu?

- A) 0
- B) 1,18
- C) 116,96
- D) 816,96
- E) 3 183,04

- 02.** (Enem) Na avaliação da eficiência de usinas quanto à produção e aos impactos ambientais, utilizam-se vários critérios, tais como: razão entre produção efetiva anual de energia elétrica e potência instalada ou razão entre potência instalada e área inundada pelo reservatório. No quadro seguinte, esses parâmetros são aplicados às duas maiores hidrelétricas do mundo: Itaipu, no Brasil, e Três Gargantas, na China.

Parâmetros	Itaipu	Três gargantas
Potência instalada	12 600 MW	18 200 MW
Produção efetiva de energia elétrica	93 bilhões de kWh/ano	84 bilhões de kWh/ano
Área inundada pelo reservatório	1 400 km^2	1 000 km^2

Disponível em: <<http://www.itaipu.gov.br>>.

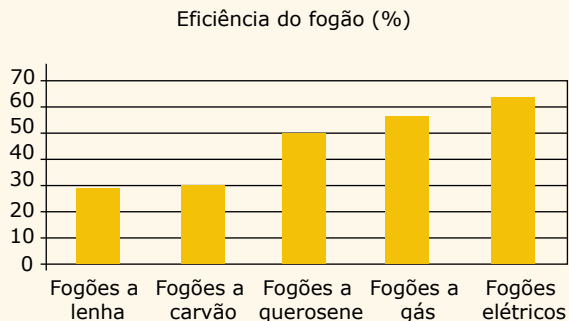
Com base nessas informações, avalie as afirmativas que se seguem.

- I. A energia elétrica gerada anualmente e a capacidade nominal máxima de geração da hidrelétrica de Itaipu são maiores que as da hidrelétrica de Três Gargantas.
- II. Itaipu é mais eficiente que Três Gargantas no uso da potência instalada na produção de energia elétrica.
- III. A razão entre potência instalada e área inundada pelo reservatório é mais favorável na hidrelétrica Três Gargantas do que em Itaipu.

É correto apenas o que se afirma em

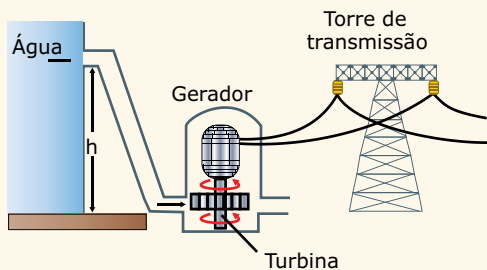
- A) I.
- B) II.
- C) III.
- D) I e III.
- E) II e III.

03. (Enem) A eficiência do fogão de cozinha pode ser analisada em relação ao tipo de energia que ele utiliza. O gráfico a seguir mostra a eficiência de diferentes tipos de fogão.



Pode-se verificar que a eficiência dos fogões aumenta

- A) à medida que diminui o custo dos combustíveis.
 B) à medida que passam a empregar combustíveis renováveis.
 C) cerca de duas vezes, quando se substitui fogão a lenha por fogão a gás.
 D) cerca de duas vezes, quando se substitui fogão a gás por fogão elétrico.
 E) quando são utilizados combustíveis sólidos.
04. (Enem) A eficiência de uma usina, do tipo da representada na figura, é da ordem de 0,9, ou seja, 90% da energia da água no início do processo se transformam em energia elétrica. A usina Ji-Paraná, do estado de Rondônia, tem potência instalada de 512 milhões de watt, e a barragem tem altura de aproximadamente 120 m. A vazão do Rio Ji-Paraná, em litros de água por segundo, deve ser da ordem de



- A) 50.
 B) 500.
 C) 5 000.
 D) 50 000.
 E) 500 000.

GABARITO

Meu aproveitamento

Aprendizagem

Acertei _____ Errei _____

- 01. B
- 02. D
- 03. E
- 04. B
- 05. C
- 06. D
- 07. D
- 08. B

Propostos

Acertei _____ Errei _____

- 01. D
- 02. B
- 03. C
- 04. C
- 05. D
- 06. C
- 07. E
- 08. C
- 09. E
- 10. E
- 11.
 - A) 400 J
 - B) -100 J
 - C) 600 J
- 12.
 - A) 1 kW
 - B) $E = 1\,200\text{ kJ} = 300\text{ kcal}$
 - C) $V = 0,3\text{ L}$

Seção Enem

Acertei _____ Errei _____

- 01. C
- 02. E
- 03. C
- 04. E



Total dos meus acertos: _____ de _____ . _____ %

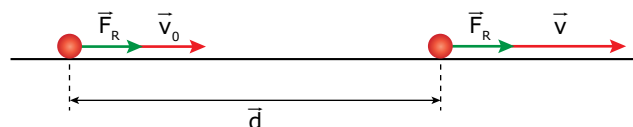
Energia Mecânica

O conceito de energia, fundamental na Ciência Moderna, é um dos conceitos científicos mais difundidos entre as pessoas. Todos possuem uma ideia, mesmo que vaga, do que seja energia. Neste módulo, estudaremos algumas formas de energia, como a cinética, a potencial gravitacional e a potencial elástica. Veremos, também, algumas formas de transformação e de transferência de energia que acontecem em sistemas físicos e estudaremos o Princípio da Conservação da Energia Mecânica. Finalizaremos o módulo apresentando o Princípio da Conservação da Energia, um dos mais importantes da Física.

ENERGIA CINÉTICA (E_c)

Todo corpo que se move possui uma energia associada ao seu movimento, pois, para colocar um corpo em seu estado de movimento, uma força foi exercida sobre ele, realizando trabalho e, consequentemente, transferindo-lhe energia. A energia associada ao movimento dos objetos é denominada energia cinética (E_c). Um veículo em movimento possui energia cinética e esta pode ser transformada em outra forma de energia quando, por exemplo, o veículo colide com um obstáculo qualquer.

Para determinar o modo como se calcula o valor da energia cinética de um corpo, considere um corpo de massa m que se move com velocidade inicial de módulo v_0 , sob a ação de uma força resultante constante, de mesma direção que a velocidade, como mostra a figura a seguir:



Essa força realizará um trabalho W sobre o corpo, transferindo-lhe energia e acelerando-o da velocidade de módulo v_0 até a velocidade de módulo v .

$$W = F_R \cdot d = m \cdot a \cdot d$$

Mas:

$$v^2 = v_0^2 + 2ad \Rightarrow ad = \frac{v^2 - v_0^2}{2} \Rightarrow$$

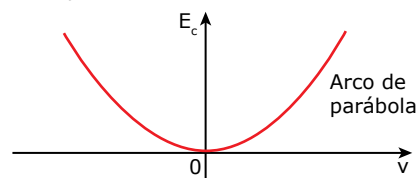
$$W = m \left(\frac{v^2 - v_0^2}{2} \right) = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$$

A expressão $\frac{mv^2}{2}$ é denominada energia cinética do corpo.

Logo:

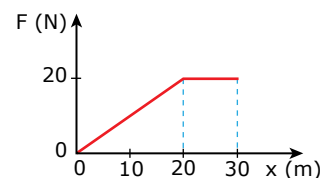
$$W = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} \Rightarrow W = E_c - E_{c_0} \Rightarrow W = \Delta E_c$$

Esse resultado é conhecido como Teorema do Trabalho e da Energia Cinética. Apesar de termos realizado a demonstração para uma situação simples, é possível provar que a relação estabelecida entre o trabalho total realizado (W) e a variação da energia cinética (ΔE_c) é uma relação geral, válida para forças conservativas ou não, de módulo constante ou variável. O gráfico de energia cinética *versus* velocidade está esboçado na figura a seguir. Observe que a energia cinética é proporcional ao quadrado da velocidade, $E_c \propto v^2$, e que E_c , portanto, é sempre positiva.



EXERCÍCIO RESOLVIDO

- 01.** Um bloco de massa 0,5 kg está sujeito a uma força que varia com a posição de acordo com o gráfico a seguir.



Se o bloco partiu do repouso em $x = 0$, qual será sua velocidade escalar, em m/s, quando x for igual a 30 m?

Resolução:

Sabemos que a área sob a curva do gráfico de força *versus* deslocamento nos fornece o valor do trabalho realizado por essa força. A área total sob a curva do gráfico é igual à soma da área do triângulo (200 J) e do retângulo (200 J). Ora, se o trabalho total realizado sobre o corpo foi de 400 J, isso significa que o corpo recebeu 400 J de energia. Como ele estava inicialmente em repouso ($E_c = 0$), o valor de sua energia cinética final será 400 J. Logo:

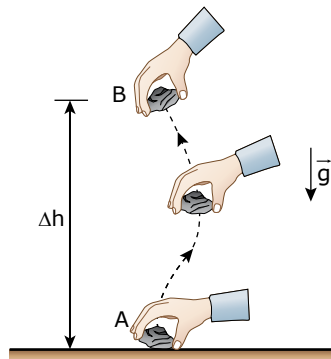
$$E_c = 400 \text{ J} \Rightarrow 400 = \frac{0,5 \cdot v^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{1600} \Rightarrow v = 40 \text{ m/s}$$

ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL (E_{PG})

Outra forma de energia que comumente aparece em exercícios e em situações cotidianas é a energia potencial gravitacional. Ela está associada à posição que um corpo ocupa em um campo gravitacional, e sua variação entre dois pontos, A e B, pode ser definida pelo trabalho que a força peso executa no deslocamento entre esses dois pontos.

Considerando o campo gravitacional constante entre A e B, teremos:

$$\Delta E_{pg} = F \cdot d = mg(h_B - h_A) = mg\Delta h$$

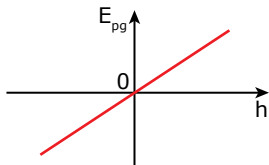


Assim, tomando-se como referência um plano arbitrário $h = 0$, que comumente será o solo, onde a energia potencial gravitacional será zero, podemos calcular a energia potencial gravitacional de um ponto de altura h em relação a esse plano:

$$\Delta E_{pg} = E_{pg} - E_{pg0} = E_{pgFinal} = mg(h - 0) = mgh$$

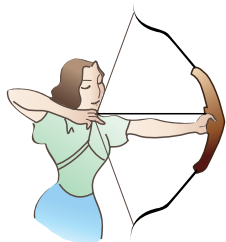
$$E_{pg} = mgh$$

O gráfico de energia potencial gravitacional *versus* altura está representado na figura a seguir. Observe que os valores negativos de E_{pg} indicam apenas que o objeto está em uma posição abaixo do referencial adotado.

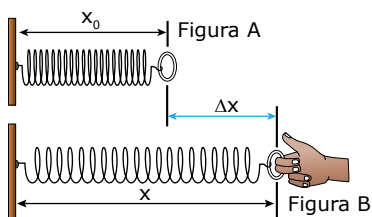


ENERGIA POTENCIAL ELÁSTICA (E_{pe})

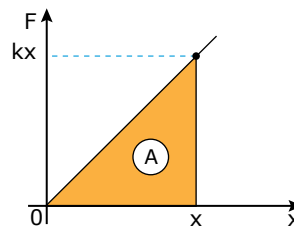
Ao puxarmos um arco (utilizado em arco e flecha), um elástico ou distendemos uma mola, estamos realizando trabalho sobre um sistema. Para que tais eventos ocorram, é necessário exercer uma força, à qual está atrelado um deslocamento.



Por exemplo, seja uma mola ideal, de constante elástica k , presa na parede em uma de suas extremidades e livre na outra. Seja x_0 o valor do comprimento inicial da mola. Uma pessoa puxa a extremidade livre da mola, alongando-a até o comprimento final x .



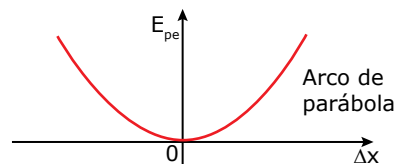
A deformação sofrida pela mola será, então, $\Delta x = x - x_0$. Nessa situação, a mola armazena uma energia potencial elástica (E_{pe}). Podemos determinar o valor da energia potencial elástica armazenada na mola se utilizarmos o gráfico de força elástica *versus* deformação. A área sob a curva do gráfico nos permite determinar o valor do trabalho realizado pelas forças externas (W_{fe}) para deformar a mola do ponto de alongamento nulo ao ponto de comprimento final. O valor desse trabalho é numericamente igual ao valor da energia potencial elástica.



$$E_{pe} = W_{fe} \Rightarrow E_{pe} = \frac{kx \cdot x}{2}$$

$$E_{pe} = \frac{kx^2}{2}$$

A energia potencial elástica é sempre positiva, apresentando um valor diretamente proporcional ao valor da constante elástica da mola (k) e sendo, também, diretamente proporcional ao quadrado do valor da deformação Δx da mola. O gráfico a seguir mostra o comportamento da energia potencial elástica, E_{pe} , em função da deformação da mola, Δx .



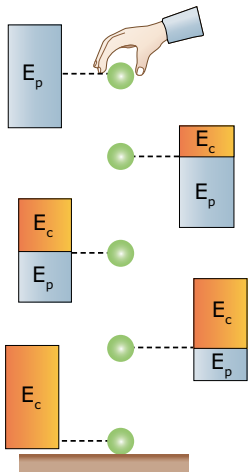
Os valores negativos para a deformação da mola indicam que ela está sendo comprimida, e os valores positivos mostram que a mola está sendo distendida.

PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA MECÂNICA (E_M)

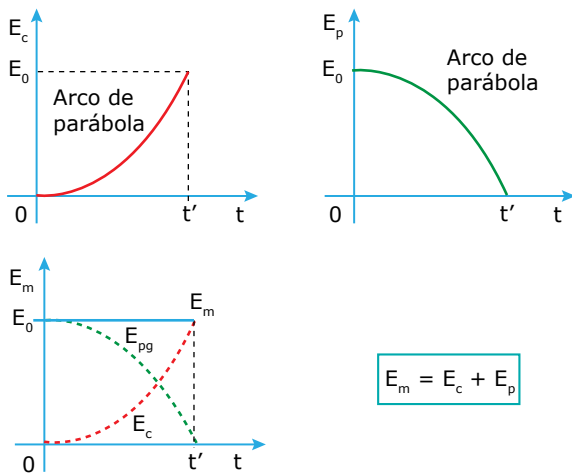
Denominamos de energia mecânica (E_m) de um sistema a soma das energias cinética e potencial que esse sistema possui em certa posição. Antes de enunciarmos o Princípio da Conservação da Energia Mecânica, apresentaremos o conceito de sistema conservativo.

Nesse tipo de sistema, há presença apenas de forças conservativas, que, ao executarem trabalho sobre um corpo, não alteram a energia mecânica total do sistema. Por ora, é necessário você saber que as forças gravitacional (peso), elétrica e elástica são conservativas. Assim, o Princípio da Conservação da Energia Mecânica nos diz que, em sistemas conservativos, ou seja, em sistemas nos quais apenas a força peso, a força elástica ou a força elétrica realizam trabalho, a energia mecânica total do sistema conserva-se. Observe o exemplo a seguir, que ilustra esse princípio.

Consideremos uma esfera, solta de uma altura h , em queda livre, como representa a figura a seguir. Estão desenhadas cinco posições da esfera, nas quais representamos com retângulos os valores da energia cinética (E_c) e da energia potencial gravitacional (E_{pg}) em cada ponto. Observe que, no ponto mais alto, a esfera apresenta apenas energia potencial gravitacional. À medida que a esfera cai, o valor da E_{pg} diminui; a essa diminuição da energia potencial gravitacional corresponde um aumento da energia cinética da esfera. Quando a esfera chegar ao solo ($h = 0$), toda sua energia potencial gravitacional terá sido convertida em energia cinética.



Graficamente, podemos representar a situação da seguinte forma:



Caso existam forças dissipativas atuando sobre o sistema, o valor da energia mecânica não permanecerá constante. Na verdade, esse valor será reduzido, pois outras formas de energia não mecânicas, como o calor e o som, surgirão como consequência da dissipação da energia mecânica do sistema. Desse modo, o valor da energia mecânica final será menor que o valor da energia mecânica inicial, e a diferença entre esses valores refere-se justamente ao trabalho realizado pelas forças dissipativas. Matematicamente, podemos escrever que:

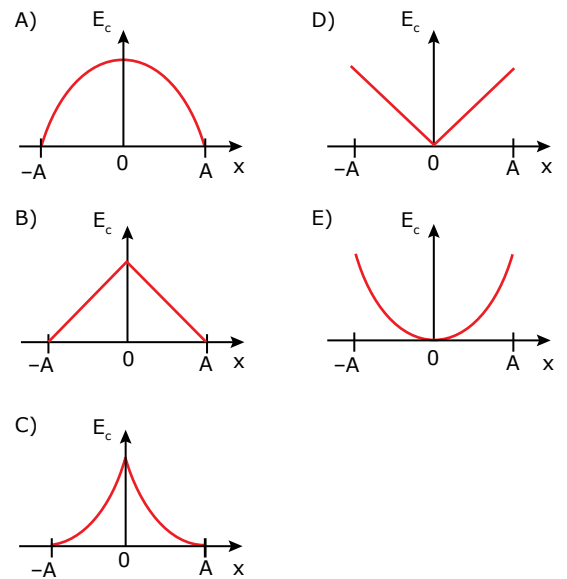
$$W_{\text{forças dissipativas}} = E_{mf} - E_{m0}$$

OBSERVAÇÃO

As equações da Cinemática nos permitem resolver muitos problemas. Entretanto, sua aplicação está limitada às questões em que o valor da aceleração é constante. Dessa forma, utilizando o Princípio da Conservação da Energia Mecânica, problemas cuja solução não poderia ser encontrada pelo estudo dos movimentos uniformemente acelerados podem agora ser resolvidos.

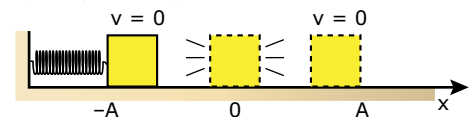
EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

02. (UFPE) Uma massa m está presa na extremidade de uma mola de massa desprezível e constante elástica conhecida. A massa oscila em torno da sua posição de equilíbrio $x = 0$, com amplitude A , sobre uma superfície horizontal sem atrito. Qual dos gráficos a seguir representa melhor a energia cinética E_c em função da posição x da massa?



Resolução:

A situação descrita anteriormente pode ser representada pela figura que se segue:

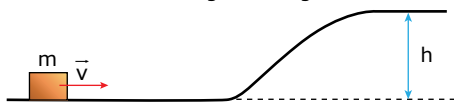


Como temos a presença apenas de forças conservativas, a energia mecânica total se conserva. Como o movimento se dá apenas no plano horizontal: $E_m = E_c + E_{pe}$.

Nos pontos de amplitude máxima ($+A$ e $-A$), o valor da velocidade v , conseqüentemente, o da energia cinética são nulos, já que há mudança no sentido da velocidade. No ponto $x = 0$, $E_{pe} = 0$, já que a mola não está distendida, e $E_c = E_m$, tendo assim a energia cinética, v , conseqüentemente, a velocidade, seu valor máximo.

Ainda por conservação da energia, $E_c = E_m - E_{pe} = E_m - kx^2/2$. Como E_m e k são constantes positivas, o gráfico tem a forma de uma parábola de concavidade voltada para baixo ($a = -k/2 < 0$). Assim, o gráfico que melhor representa a energia cinética em função da posição x da massa é o da alternativa A.

03. (Unesp) Um bloco de massa m desliza sem atrito sobre a superfície indicada na figura a seguir.



Se g é a aceleração da gravidade, a velocidade mínima v que o bloco deve ter para alcançar a altura h é:

- A) $2\sqrt{gh}$ C) $\frac{\sqrt{gh}}{2}$ E) $2\sqrt{2gh}$
 B) $\sqrt{2gh}$ D) $\sqrt{\frac{gh}{2}}$

Resolução:

O enunciado afirma que o sistema é conservativo, pois não apresenta forças de atrito. Inicialmente, o bloco apresenta energia cinética dada por $E_c = \frac{mv^2}{2}$. Ao subir a rampa,

o valor da energia cinética diminui, e a energia potencial gravitacional do bloco aumenta da mesma quantidade. Deseja-se determinar a velocidade mínima inicial para que o bloco chegue ao topo da rampa. Logo, ele pode chegar lá com velocidade zero, isto é, com toda sua energia cinética convertida em energia potencial gravitacional. Então:

$$E_c = E_{pg} \Rightarrow mv^2/2 = mgh \Rightarrow v = \sqrt{2gh}$$

PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

As ciências da natureza se estruturam sobre princípios, afirmativas que não podem ser comprovadas diretamente, mas que um grande número de fenômenos levou os estudiosos a considerá-las como "verdades" científicas. Um desses princípios é o Princípio da Conservação da Energia, em sua forma geral, e não apenas em sua forma mecânica. É interessante ressaltar que existem várias formas do Princípio da Conservação da Energia, há as que se aplicam a sistemas menores e fechados, e há o Princípio da Conservação da Energia em sua forma geral, que diz que a energia do Universo é constante.

O Princípio da Conservação da Energia comprova que a energia que recebemos do Sol não apenas se transforma em inúmeras outras formas de energia (como eólica, fóssil, térmica, etc.), mas também se conserva, isto é, não é "gasta" ou "consumida", e sim apenas convertida em outras formas de energia. Não importa o quão complexo é um sistema e nem por quanto tempo o observamos, a energia total em um sistema fechado sempre se conserva.

A energia elétrica que utilizamos no Brasil provém, em sua maioria, de usinas hidroelétricas. Quando utilizamos uma queda-d'água para gerar energia nessas usinas, estamos apenas aproveitando parte da energia potencial gravitacional da água para transformá-la em energia elétrica, que, por sua vez, será convertida em luz, som, calor, etc.



Angelo Leithold / Creative Commons

CONTEÚDO NO Bernoulli Play

Conservação da energia

O Princípio da Conservação da Energia diz que a quantidade total de energia no Universo é constante, sendo assim, a energia não pode ser criada ou consumida, apenas transformada. Explore o simulador "Conservação da energia". Com ele é possível visualizar quantitativamente a transformação da energia de um tipo em outro e sua conservação. Busque realizar diversas combinações. Divirta-se!



EXERCÍCIO RESOLVIDO

04. (UFMG) Um bloco de massa 0,20 kg desce deslizando sobre a superfície mostrada na figura.



No ponto A, a 60 cm acima do plano horizontal EBC, o bloco tem uma velocidade de 2,0 m/s e, ao passar pelo ponto B, sua velocidade é de 3,0 m/s. Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.

- Mostrar, usando conceitos relacionados à energia, que, entre os pontos A e B, existe atrito entre o bloco e a superfície.
- Determinar o trabalho realizado pela força de atrito que atua no bloco entre os pontos A e B.
- Determinar o valor do coeficiente de atrito entre a superfície horizontal e o bloco, sabendo-se que este chega ao repouso no ponto C, distante 90 cm de B.

Resolução:

A) Se existe atrito na rampa, então a energia mecânica tem seu valor reduzido. Vamos determinar o valor da energia mecânica nos pontos A e B e comparar seus valores:

$$E_{mA} = E_c + E_{pg} = \frac{mv^2}{2} + mgh \Rightarrow$$

$$\frac{0,2 \cdot 2^2}{2} + 0,2 \cdot 10 \cdot 0,6$$

$$E_{mA} = 0,4 \text{ J} + 1,2 \text{ J} = 1,6 \text{ J}$$

$$E_{mB} = E_c = \frac{mv^2}{2} = \frac{0,2 \cdot 3^2}{2} = 0,9 \text{ J}$$

Tendo em vista que a energia mecânica do bloco não se conserva, conclui-se que há atrito entre os pontos A e B da superfície.

B) O trabalho realizado pela força de atrito é dado pela diferença entre os valores da energia mecânica do bloco nos pontos A e B. Logo, o trabalho realizado pela força de atrito entre os pontos A e B é dado por:

$$W_{at} = E_m - E_{m0} = -0,7 \text{ J}$$

C) O trabalho realizado pela força de atrito, que é a força resultante, sobre o bloco entre os pontos B e C é igual à variação da energia cinética do bloco entre os pontos B e C. Logo:

$$W_{at} = \Delta E_{CBC} \Rightarrow -N \cdot \mu \cdot (0,90) = 0 - 0,9 \Rightarrow$$

$$-0,20 \cdot 10 \cdot \mu \cdot (0,90) = -0,9 \Rightarrow \mu = \frac{1}{2} = 0,5$$

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



01. (CEFET-MG) Referindo-se à relação entre trabalho e energia, afirma-se:



- I. A energia total de um sistema fechado é sempre conservada.
- II. A energia cinética é igual ao trabalho realizado pela força resultante.
- III. O trabalho realizado por forças conservativas independe da trajetória.
- IV. O trabalho realizado por forças dissipativas, numa trajetória fechada, é nulo.

O princípio da conservação da energia é obedecido nos itens

- A) I e III. C) II e III. E) III e IV.
 B) I e IV. D) II e IV.

02. (UEL-PR) A figura 1 representa um sistema composto de três esferas de mesma massa unidas por três molas idênticas. O sistema é posto a oscilar, deslocando-se entre as posições indicadas nas figuras 2 e 3.

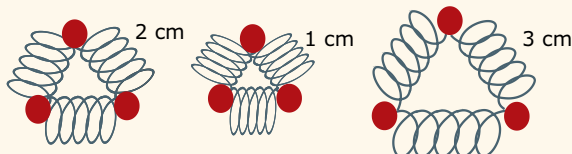


Figura 1

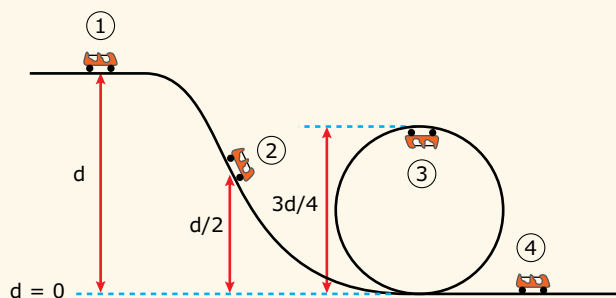
Figura 2

Figura 3

Pode-se dizer que a energia potencial elástica máxima do sistema ocorre

- A) somente na posição da figura 1.
- B) somente na posição da figura 2.
- C) somente na posição da figura 3.
- D) nas posições das figuras 1 e 2.
- E) nas posições das figuras 2 e 3.

03. (CMMG) Uma montanha-russa tem a forma da figura a seguir. Um carrinho desliza em seus trilhos, considerados com atrito desprezível, passando pelos diversos pontos 1, 2, 3 e 4, cujas alturas são, respectivamente, d , $d/2$, $3d/4$ e 0 . O carrinho tem massa m e passa pelo ponto 1 com energia cinética igual a $mgd/2$.



Três alunos fizeram as seguintes afirmações sobre essa situação:

Josefina – A energia cinética do carrinho no ponto 2 é igual a mgd .

Gabriel – A energia potencial gravitacional do carrinho no ponto 3 é igual à sua energia cinética.

Rosana – A energia mecânica do carrinho no ponto 4 é igual a $3mgd/2$.

Pode-se afirmar que

- A) apenas Gabriel fez afirmação correta.
- B) apenas Josefina fez afirmação correta.
- C) apenas Josefina e Rosana fizeram afirmações corretas.
- D) os três alunos fizeram afirmações corretas.

04.



(UFSCar-SP-2016) Um homem manejou seu trator, descendo por uma estrada retilínea. Ele observou que, mesmo acionando os freios, o trator manteve constante sua velocidade durante o deslocamento. É correto afirmar que, entre os pontos inicial e final do deslocamento, a energia mecânica do trator

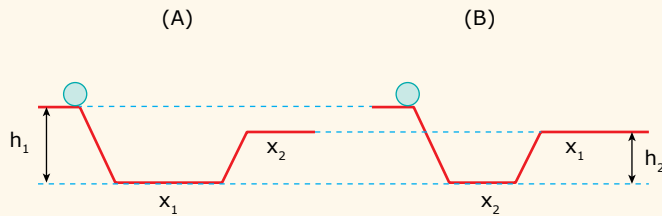
- A) manteve-se constante, com aumento da energia cinética e diminuição da energia potencial gravitacional.
- B) diminuiu, com diminuição das energias cinética e potencial gravitacional.
- C) diminuiu, com diminuição da energia potencial gravitacional e manutenção da energia cinética.
- D) aumentou, pois o aumento da energia cinética foi maior do que a diminuição da energia potencial gravitacional.
- E) aumentou, pois a diminuição da energia potencial gravitacional foi menor do que a manutenção da energia cinética.

05.

(IFSC-SC-2016) A senhora Zimmerman, uma agricultora da região de Santo Amaro da Imperatriz, colheu em seu pomar vários tipos de frutas: bananas, laranjas, abacaxis, maracujás etc. Ao largar as frutas sobre a mesa, um maracujá rolou com velocidade constante e caiu no chão. Considerando que o maracujá tenha caído sem a interferência do ar, analise as afirmações a seguir e assinale a alternativa correta.

- A) A energia cinética do maracujá permaneceu constante durante o evento.
- B) Após o maracujá perder contato com a mesa, sua velocidade horizontal diminuiu e a velocidade vertical aumentou.
- C) Após o maracujá perder o contato com a mesa, sua aceleração aumentou.
- D) Houve conservação de energia mecânica nesse evento.
- E) A energia potencial do maracujá permaneceu constante durante o evento.

06. (FUVEST-SP-2019) Dois corpos de massas iguais são soltos, ao mesmo tempo, a partir do repouso, da altura h_1 e percorrem os diferentes trajetos (A) e (B), mostrados na figura, onde $x_1 > x_2$ e $h_1 > h_2$.



Considere as seguintes afirmações:

- I. As energias cinéticas finais dos corpos em (A) e em (B) são diferentes.
- II. As energias mecânicas dos corpos, logo antes de começarem a subir a rampa, são iguais.
- III. O tempo para completar o percurso independe da trajetória.
- IV. O corpo em (B) chega primeiro ao final da trajetória.
- V. O trabalho realizado pela força peso é o mesmo nos dois casos.

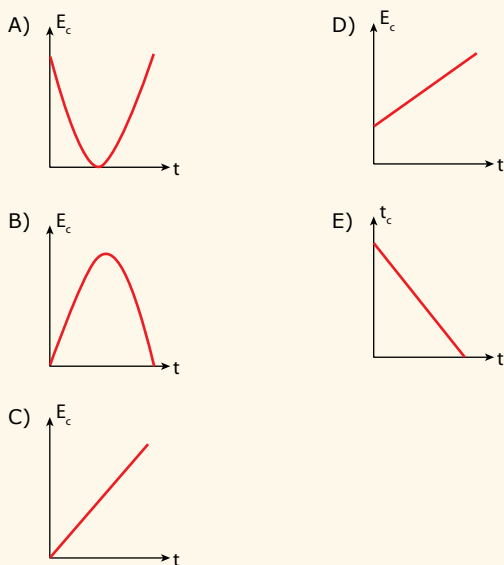
É correto somente o que se afirma em

Node e adote:

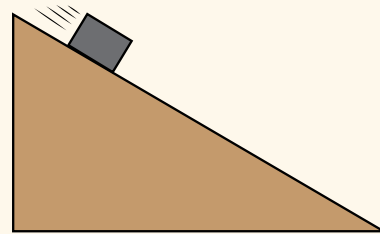
Desconsidere forças dissipativas.

- A) I e III.
- B) II e V.
- C) IV e V.
- D) II e III.
- E) I e V.

07. (Mackenzie-SP-2016) Uma partícula de massa m é lançada com uma velocidade inicial v_0 , vertical e para cima. O gráfico que melhor representa a energia cinética (E_c) em função do tempo (t) é:



08. (CEFET-MG) Um corpo desce escorregando, partindo do repouso do ponto mais alto de uma rampa, conforme mostrado na figura.



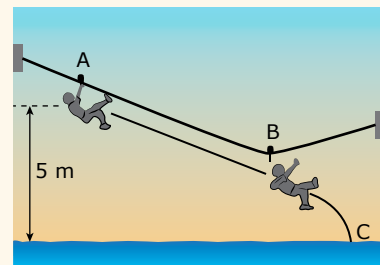
Durante esse trajeto até o solo, 20% de sua energia mecânica é dissipada na forma de calor. Se a velocidade de chegada ao solo foi igual a $8,0 \text{ m/s}$, então a altura (h) da rampa de lançamento, em metros, é

- A) 8,0.
- B) 6,4.
- C) 5,2.
- D) 4,0.
- E) 2,0.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS



01. (Unesp) A figura ilustra um brinquedo oferecido por alguns parques, conhecido por tirolesa, no qual uma pessoa desce de determinada altura segurando-se em uma roldana apoiada numa corda tensionada. Em determinado ponto do percurso, a pessoa se solta e cai na água de um lago.

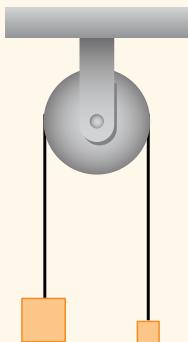


Considere que uma pessoa de 50 kg parta do repouso no ponto A e desça até o ponto B segurando-se na roldana, e que nesse trajeto tenha havido perda de 36% da energia mecânica do sistema, devido ao atrito entre a roldana e a corda. No ponto B ela se solta, atingindo o ponto C na superfície da água. Em seu movimento, o centro de massa da pessoa sofre o desnível vertical de 5 m mostrado na figura.

Desprezando a resistência do ar e a massa da roldana, e adotando $g = 10 \text{ m/s}^2$, pode-se afirmar que a pessoa atinge o ponto C com uma velocidade, em m/s , de módulo igual a

- A) 8.
- B) 10.
- C) 6.
- D) 12.
- E) 4.

- 08.** (PUC-SP-2016) Em uma máquina de Atwood ideal, são presas duas massas, tais que $M_1 > M_2$. Inicialmente as massas estão em repouso e niveladas. Após o abandono simultâneo das massas, verifica-se que a energia total do sistema é de 100 J, após elas terem percorrido 5 m em 2 s, alcançando uma velocidade de 5,0 m/s. Sabendo que o módulo da aceleração da gravidade é de 10 m/s², determine, em kg, os valores de cada uma das massas.



- A) $M_1 = 6,0$ e $M_2 = 2,0$
- B) $M_1 = 6,5$ e $M_2 = 1,5$
- C) $M_1 = 4,5$ e $M_2 = 3,5$
- D) $M_1 = 5,0$ e $M_2 = 3,0$

- 09.** (FGV-2016) Uma pequena bola de borracha cai, verticalmente, da janela de um apartamento, a partir do repouso, de uma altura de 12,8 m em relação ao solo. A cada colisão com o chão, sua velocidade cai para a metade. O número de colisões da bola com o solo em que ela atinge altura maior que 10 cm é igual a
- Desconsidere a resistência do ar.

- A) 5.
- B) 2.
- C) 3.
- D) 6.
- E) 4.

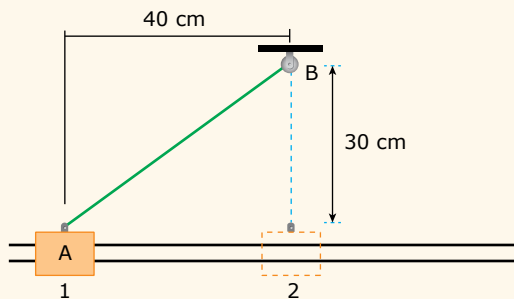
- 10.** (UERJ-2016) No solo da floresta amazônica, são encontradas partículas ricas em fósforo, trazidas pelos ventos, com velocidade constante de 0,1 m.s⁻¹, desde o deserto do Saara.

Admita que uma das partículas contenha 2,0% em massa de fósforo, o que equivale a $1,2 \cdot 10^{15}$ átomos desse elemento químico.

A energia cinética de uma dessas partículas, em joules, ao ser trazida pelos ventos, equivale a:

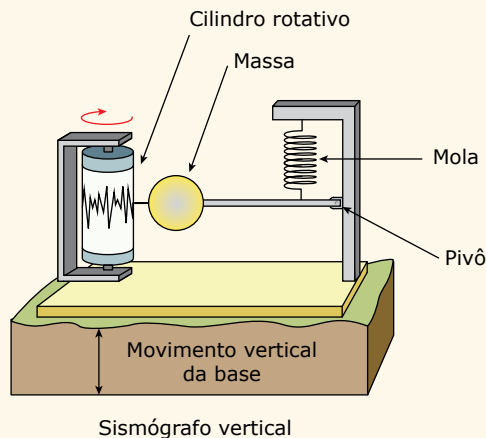
- A) $0,75 \cdot 10^{-10}$
- B) $1,55 \cdot 10^{-11}$
- C) $2,30 \cdot 10^{-12}$
- D) $3,10 \cdot 10^{-13}$

- 11.** (Unioeste-PR-2015) Uma peça cilíndrica A, com 1,00 kg de massa, possui um furo central que desliza sem atrito e a peça está encaixada em uma haste horizontal. Um elástico, que se comporta como uma mola e possui constante elástica igual a 200 N.m⁻¹, é atado à peça em um suporte fixo B como indica a figura seguinte. O comprimento do elástico é igual a 20,0 cm quando não esticado e sua massa é desprezível. A peça cilíndrica é abandonada em repouso na posição 1 e inicia-se um movimento para a direita que passa pela posição 2 exatamente abaixo do suporte B. Considerando-se o sistema exposto, assinale a alternativa correta.



- A) A força que o elástico exerce na peça A quando na posição 1 possui intensidade igual a 100 N.
- B) Na posição 2, o elástico não exerce força na peça A.
- C) A aceleração instantânea da peça A, exatamente no instante em que é abandonada, é igual a 60,0 m.s⁻².
- D) A peça A passa na posição 2 com velocidade igual a 4,00 m.s⁻¹.
- E) O trabalho realizado pela força elástica no deslocamento da posição 1 para a posição 2 é igual a 16,0 J.

- 12.** (UEL-PR-2016) É possível relacionar o caos de um desastre natural com o fenômeno de um terremoto. O sismógrafo vertical, representado na imagem a seguir, é um dos modelos utilizados para medir a intensidade dos tremores.



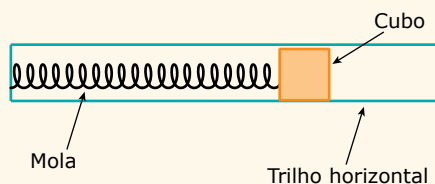
A massa que está na ponta da haste tem 100 g e o comprimento da haste, da ponta até o pivô de articulação, é de 20 cm. Durante um tremor, a haste se move para baixo e isso causa um deslocamento de $\frac{\pi}{6}$ rad entre a sua posição de equilíbrio e a nova posição.

Considerando que $\sin\left(\frac{\pi}{6}\right) = \frac{1}{2}$, assinale a alternativa que apresenta, corretamente, a energia despendida no processo.

- A) 000,01 J.
- B) 000,10 J.
- C) 001,10 J.
- D) 010,01 J.
- E) 100,10 J.

SEÇÃO ENEM

- 01.** (Enem-2018) Um projetista deseja construir um brinquedo que lance um pequeno cubo ao longo de um trilho horizontal, e o dispositivo precisa oferecer a opção de mudar a velocidade de lançamento. Para isso, ele utiliza uma mola e um trilho onde o atrito pode ser desprezado. Conforme a figura.



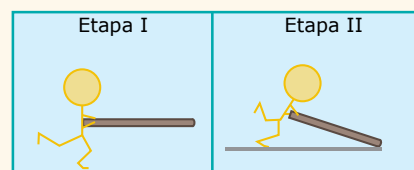
Para que a velocidade de lançamento do cubo seja aumentada quatro vezes, o projetista deve

- A) manter a mesma mola e aumentar duas vezes a sua deformação.
 - B) manter a mesma mola e aumentar quatro vezes a sua deformação.
 - C) manter a mesma mola e aumentar dezesseis vezes a sua deformação.
 - D) trocar a mola por outra de constante elástica duas vezes maior e manter a deformação.
 - E) trocar a mola por outra de constante elástica quatro vezes maior e manter a deformação.
- 02.** (Enem) Os carrinhos de brinquedo podem ser de vários tipos. Entre eles, há os movidos a corda, em que uma mola em seu interior é comprimida quando a criança puxa o carrinho para trás. Ao ser solto, o carrinho entra em movimento enquanto a mola volta à sua forma inicial.

O processo de conversão de energia que ocorre no carrinho descrito também é verificado em

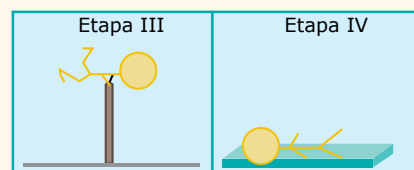
- A) um dínamo.
- B) um freio de automóvel.
- C) um motor a combustão.
- D) uma usina hidroelétrica.
- E) uma atiradeira (estilingue).

- 03.** (Enem) Uma das modalidades presentes nas Olimpíadas é o salto com vara. As etapas de um dos saltos de um atleta estão representadas na figura:



Atleta corre com a vara

Atleta apoia a vara no chão



Atleta atinge certa altura

Atleta cai em um colchão

Desprezando-se as forças dissipativas (resistência do ar e atrito), para que o salto atinja a maior altura possível, ou seja, o máximo de energia seja conservada, é necessário que

- A) a energia cinética, representada na etapa I, seja totalmente convertida em energia potencial elástica, representada na etapa IV.
 - B) a energia cinética, representada na etapa II, seja totalmente convertida em energia potencial gravitacional, representada na etapa IV.
 - C) a energia cinética, representada na etapa I, seja totalmente convertida em energia potencial gravitacional, representada na etapa III.
 - D) a energia potencial gravitacional, representada na etapa II, seja totalmente convertida em energia potencial elástica, representada na etapa IV.
 - E) a energia potencial gravitacional, representada na etapa I, seja totalmente convertida em energia potencial elástica, representada na etapa III.
- 04.** (Enem) A energia geotérmica tem sua origem no núcleo derretido da Terra, onde as temperaturas atingem 4 000 °C. Essa energia é primeiramente produzida pela decomposição de materiais radiativos dentro do planeta. Em fontes geotérmicas, a água, aprisionada em um reservatório subterrâneo, é aquecida pelas rochas ao redor e fica submetida a altas pressões, podendo atingir temperaturas de até 370 °C sem entrar em ebulição.

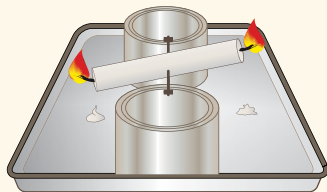
Ao ser liberada na superfície, à pressão ambiente, ela se vaporiza e se resfria, formando fontes ou gêiseres. O vapor de poços geotérmicos é separado da água e é utilizado no funcionamento de turbinas para gerar eletricidade. A água quente pode ser utilizada para aquecimento direto ou em usinas de dessalinização.

HINRICHS, Roger A.; KLEINBACH, Merlin. *Energia e meio ambiente*. Ed. ABDR (Adaptação).

Depreende-se das informações anteriores que as usinas geotérmicas

- A) utilizam a mesma fonte primária de energia que as usinas nucleares, sendo, portanto, semelhantes os riscos decorrentes de ambas.
- B) funcionam com base na conversão de energia potencial gravitacional em energia térmica.
- C) podem aproveitar a energia química transformada em térmica no processo de dessalinização.
- D) assemelham-se às usinas nucleares no que diz respeito à conversão de energia térmica em cinética e, depois, em elétrica.
- E) transformam inicialmente a energia solar em energia cinética e, depois, em energia térmica.

05. (Enem) A figura a seguir ilustra uma gangorra de brinquedo feita com uma vela. A vela é acesa nas duas extremidades e, inicialmente, deixa-se uma das extremidades mais baixa que a outra. A combustão da parafina da extremidade mais baixa provoca a fusão. A parafina da extremidade mais baixa da vela pinga mais rapidamente que na outra extremidade. O pingar da parafina fundida resulta na diminuição da massa da vela na extremidade mais baixa, o que ocasiona a inversão das posições. Assim, enquanto a vela queima, oscilam as duas extremidades.



Nesse brinquedo, observa-se a seguinte sequência de transformações de energia:

- A) Energia resultante de processo químico → energia potencial gravitacional → energia cinética
- B) Energia potencial gravitacional → energia elástica → energia cinética
- C) Energia cinética → energia resultante de processo químico → energia potencial gravitacional
- D) Energia mecânica → energia luminosa → energia potencial gravitacional
- E) Energia resultante do processo químico → energia luminosa → energia cinética

06. (Enem) Observe a situação descrita na tirinha a seguir.



CARUSO, Francisco; DAOU, Luisa. *Tirinhas de Física*, v. 2, CBPF, Rio de Janeiro, 2000.

Assim que o menino lança a flecha, há transformação de um tipo de energia em outra. A transformação, nesse caso, é de energia

- A) potencial elástica em energia gravitacional.
- B) gravitacional em energia potencial.
- C) potencial elástica em energia cinética.
- D) cinética em energia potencial elástica.
- E) gravitacional em energia cinética.

GABARITO

Meu aproveitamento

Aprendizagem

Acertei _____ Errei _____

- 01. A
- 02. E
- 03. D
- 04. C
- 05. D
- 06. B
- 07. A
- 08. D

Propostos

Acertei _____ Errei _____

- 01. A
- 02. C
- 03. D
- 04. D
- 05. A
- 06. A
- 07. D
- 08. D
- 09. C
- 10. B
- 11. D
- 12. B

Seção Enem

Acertei _____ Errei _____

- 01. B
- 02. E
- 03. C
- 04. D
- 05. A
- 06. C



Total dos meus acertos: _____ de _____ . _____ %

Teoremas de Torricelli e Stevin

Finalizada a Mecânica dos Sólidos, vamos, neste e no próximo módulo, abordar a Hidrostática, área da Física reservada ao estudo do equilíbrio nos líquidos. Diversos aparelhos e situações do nosso dia a dia são explicados com base nos princípios da Hidrostática, como o sistema de distribuição de água em uma cidade, o freio hidráulico de um carro, a flutuação de uma embarcação no mar, etc.

Iniciaremos o módulo apresentando dois conceitos importantes para o estudo da Hidrostática: densidade e pressão. Em seguida, vamos explicar o que é pressão atmosférica e como Torricelli mediu, originalmente, o seu valor. Por último, vamos estudar a equação fundamental da Hidrostática.

DENSIDADE

Você já deve ter notado que as pessoas se referem ao chumbo como exemplo de algo pesado. Entretanto, tratando a situação com rigor físico, é impreciso dizer que o chumbo é mais pesado do que, por exemplo, a madeira. Pense em um pequeno pedaço de chumbo que você sustenta na palma da mão. Certamente, ele é muito mais leve do que uma grande tora de madeira sobre o solo, a qual você mal consegue mover. O chumbo, na verdade, é mais denso do que a madeira. Isso significa que a quantidade de massa presente em certo volume de chumbo é maior do que a quantidade de massa presente em um mesmo volume de madeira.

A densidade, também denominada massa específica, é uma propriedade física intensiva da matéria que indica o quanto a massa de uma substância se acha compactada em dado volume. Por exemplo, à temperatura ambiente, a densidade do chumbo é $11,3 \text{ g/cm}^3$, e a do carvalho (um tipo de madeira) é cerca de $0,70 \text{ g/cm}^3$. Esses valores indicam que um volume de 1 cm^3 de chumbo tem massa de $11,3 \text{ g}$, enquanto 1 cm^3 da madeira tem massa de apenas $0,70 \text{ g}$.

A densidade dos materiais depende da temperatura, pois o volume de certa quantidade de matéria varia com a temperatura. Com raras exceções (a água, entre $0 \text{ }^\circ\text{C}$ e $4 \text{ }^\circ\text{C}$, é uma delas), a matéria se dilata quando a temperatura aumenta. Por isso, para a maioria dos corpos, quando a temperatura aumenta, a massa, que é constante, fica distribuída em um volume maior, de forma que a matéria torna-se menos compactada, isto é, menos densa.

A tabela a seguir apresenta o valor da densidade de algumas substâncias. Para os gases, que são substâncias compressíveis, a densidade depende, além da temperatura, também da pressão. Os sólidos e os líquidos são praticamente incompressíveis e, por isso, suas densidades dependem essencialmente da temperatura. No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de densidade é o kg/m^3 . Para converter os valores de densidade dessa tabela para o SI, basta multiplicar os valores por 10^3 . Assim, por exemplo, a densidade da água, no SI, é $1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.

Estado	Substância	Densidade (g/cm^3)
Sólidos à temperatura ambiente	Chumbo	11,3
	Alumínio	2,7
	Osso	1,7 a 2,0
	Carvalho	0,60 a 0,90
Líquidos à temperatura ambiente	Gasolina	0,70
	Etanol	0,80
	Água	1,0
	Mercúrio	13,6
Gases a 1 atm e $25 \text{ }^\circ\text{C}$	Ar	0,0012
	Hélio	0,00016

Podemos calcular a densidade de um corpo por meio da razão mostrada a seguir, em que m e V são a massa e o volume do corpo, respectivamente. A massa pode ser medida facilmente em uma balança. O volume pode ser calculado utilizando uma expressão específica quando o corpo possuir uma geometria padrão, como a de um cubo ou a de uma esfera. Para geometrias não convencionais, como a de uma pedra, o volume pode ser determinado mergulhando o corpo em um recipiente com água e coletando / medindo o volume de água deslocado, que será numericamente igual ao volume do corpo. Na figura 1, que ilustra essa técnica, você saberia calcular a densidade da pedra, sabendo que a sua massa vale 800 g ?

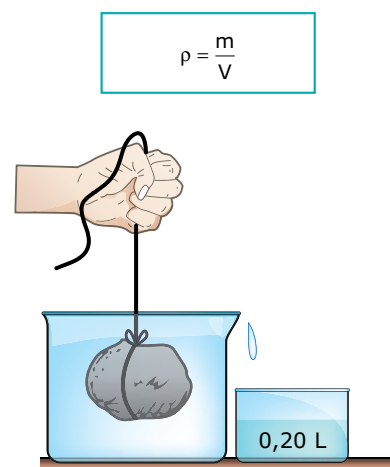


Figura 1. Técnica experimental para se medir o volume de um corpo.

PRESSÃO



Algumas pessoas confundem força com pressão. Para entender a diferença que há entre essas grandezas, considere a figura 2. Nela, há dois tijolos iguais, um em pé, apoiado sobre a face menor, e o outro deitado sobre a face maior. É claro que as forças de compressão que os dois tijolos exercem sobre a mesa são iguais, pois eles apresentam o mesmo peso. Porém, o tijolo que está de pé exerce maior pressão sobre a mesa, pois a força de compressão exercida por esse tijolo está distribuída sobre uma área menor. Cada cm^2 de área debaixo desse tijolo sofre ação de uma força de maior intensidade do que a força que age sobre cada cm^2 de área que está sob o outro tijolo. Quanto menor a área de apoio, maior é a pressão que certa força exerce sobre essa área. Se um dos tijolos for inclinado, de forma a ficar apoiado sobre uma das arestas, a área de apoio será muito pequena, a pressão será muito grande e talvez a quina do tijolo se quebre em algum ponto caso o material do tijolo não seja de boa qualidade. Isso revela que, da mesma forma que o tijolo exerce uma pressão sobre a mesa, esta também exerce uma pressão sobre o tijolo. Isso nada mais é do que uma decorrência da lei da ação e reação.

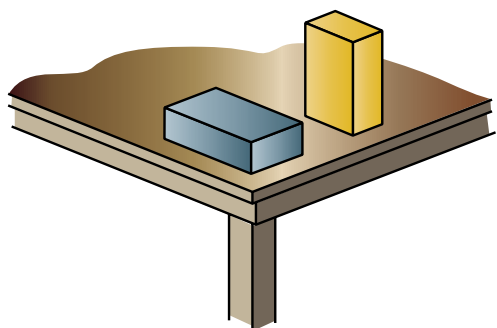


Figura 2. Tijolos iguais exercem pressões diferentes sobre uma superfície dependendo da base sobre a qual estão apoiados.

Para calcular a pressão que uma força exerce sobre uma superfície, usamos o quociente a seguir, em que F é a intensidade da força e A é a área sobre a qual a força está atuando. De acordo com essa equação, a unidade de pressão, no SI, é N/m^2 , também denominada Pascal (Pa), em homenagem ao francês Blaise Pascal, por suas contribuições em Mecânica dos Fluidos. Neste módulo, além do Pascal, usaremos duas outras unidades de pressão: a atmosfera (atm) e o milímetro de coluna de mercúrio (mmHg).

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

A discussão anterior de que uma mesma força, dependendo da área sobre a qual atua, pode exercer diferentes pressões está de acordo com essa equação, a qual mostra que, para uma mesma força, quanto maior a área, menor a pressão, e vice-versa. Uma experiência simples para confirmar esse fato está representada na figura 3, que mostra as pontas e as cabeças de dois pregos pressionando dois cadernos (de grande espessura para evitar acidentes).

Usando a condição de equilíbrio translacional e a lei da ação e reação, podemos mostrar que as intensidades das forças que os pregos exercem sobre os cadernos são iguais nos quatro pontos de contato. Contudo, tendo áreas muito pequenas, as pontas exercem pressões sobre os cadernos muito maiores do que as pressões exercidas pelas cabeças dos pregos. Isso pode ser constatado observando que as pontas dos pregos perfuram os cadernos, mas que as cabeças não perfuram.

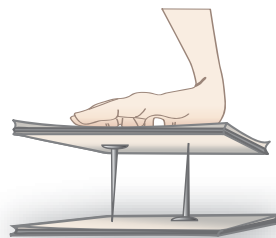


Figura 3. Experiência para mostrar que forças iguais podem exercer pressões diferentes.

A dependência entre a pressão e a área é verificada em várias situações do nosso dia a dia. Às vezes, desejamos exercer uma pressão pequena e, para conseguir isso, usamos uma área grande. Um exemplo desse caso ocorre quando nos sentamos em uma cadeira anatômica. O grande conforto que sentimos decorre do fato de exercermos uma pequena pressão sobre o assento, uma vez que a força de compressão do nosso corpo sobre a cadeira é distribuída sobre uma área muito maior do que a área do assento das cadeiras comuns. Outras vezes, queremos exercer uma pressão grande e, para isso, usamos uma área pequena. Esse é o caso, por exemplo, de um bisturi cirúrgico. A área de apoio do instrumento é tão pequena que uma mínima força exercida sobre o bisturi produz uma pressão grande o suficiente para cortar a pele do paciente. Preste atenção em outros objetos e fatos do seu dia a dia. Certamente, você perceberá muitas situações em que a pressão desejada (grande ou pequena) é obtida por meio da utilização de uma área adequada para a superfície de apoio da força.



PARA REFLETIR

Para um carro atravessar um terreno arenoso e fofo, por que é conveniente esvaziar um pouco os pneus?

PRESSÃO ATMOSFÉRICA



Como você sabe, o ar atmosférico é constituído por partículas que se movem caoticamente em todas as direções. Por isso, as paredes, o solo, as pessoas e todos os outros corpos imersos na atmosfera terrestre ficam sujeitos às forças de impacto dessas partículas. A pressão atmosférica é, portanto, a soma das pressões que as partículas constituintes do ar exercem sobre um objeto que se acha imerso na atmosfera.

O ar atmosférico está mais comprimido ao nível do mar do que em altitudes mais elevadas. Esse fato pode ser visualizado por meio de uma analogia com um catálogo telefônico, deitado sobre uma mesa, que apresenta as folhas de baixo mais compactadas do que as folhas de cima. Ao nível do mar, a pressão atmosférica vale:

$$p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$$

Com boa aproximação, para cada aumento de 5,5 km na altitude, a pressão atmosférica é reduzida à metade. Esse tipo de comportamento caracteriza uma redução exponencial de uma grandeza. A figura 4 mostra a variação da pressão atmosférica com a altitude. Observe que, para altitudes de 10 km, típica de aviões de grande porte, a pressão atmosférica é, aproximadamente, 0,4 atm, e por isso o interior desses aviões deve ser pressurizado.

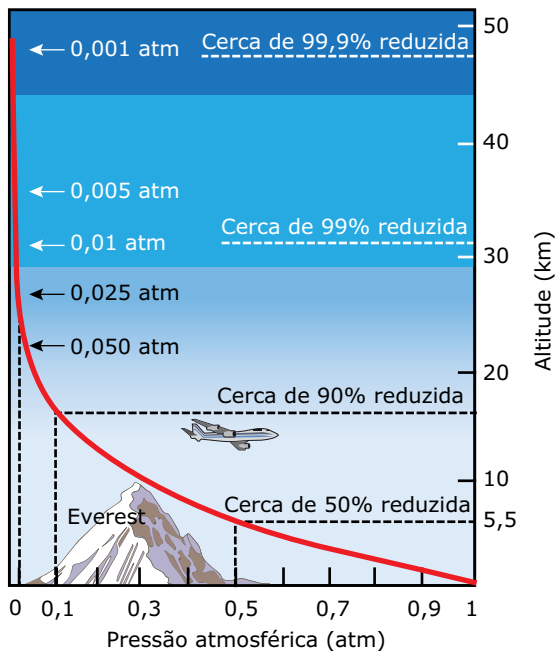


Figura 4. Variação da pressão atmosférica com a altitude.

Em 1664, o italiano Evangelista Torricelli mediu a pressão atmosférica ao nível do mar por meio de uma experiência extraordinariamente simples. Torricelli encheu um longo tubo de ensaio com mercúrio. Em seguida, com o dedo, ele fechou a boca do tubo, colocou-o de cabeça para baixo e mergulhou-o em uma bacia também com mercúrio. Retirando o dedo, ele observou que a coluna de mercúrio desceu um pouco, estabilizando-se a uma altura de 760 mm, conforme mostra a figura 5. Como no espaço vazio criado pela descida do mercúrio no tubo havia vácuo, Torricelli concluiu que a pressão exercida pela coluna de 760 mm de mercúrio foi equilibrada pela pressão atmosférica exercida pelo ar sobre a superfície livre do mercúrio na bacia. Repetindo a experiência acima do nível do mar, Torricelli verificou que a coluna equilibrada era menor do que 760 mm, revelando que a pressão atmosférica é máxima ao nível do mar, e que ela diminui com a altitude. O mais simples dos barômetros, aparelho usado para medir a pressão atmosférica, é baseado na montagem da figura 5.

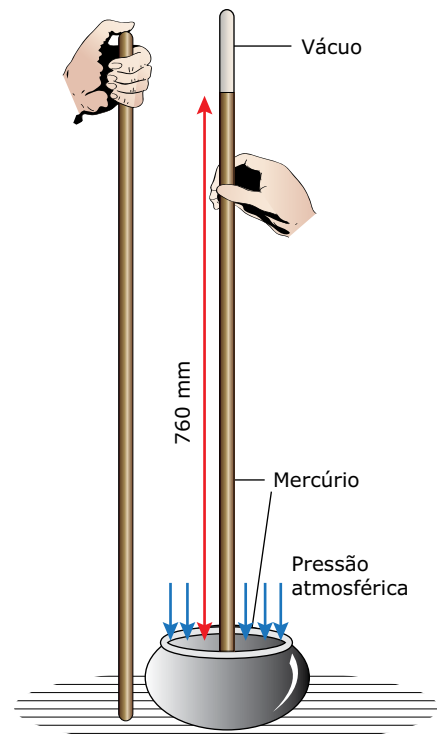


Figura 5. Experimento de Torricelli para medir a pressão atmosférica.



PARA REFLETIR

Para medir a pressão atmosférica, por que Torricelli optou por usar o mercúrio, e não a água, que é um líquido muito mais acessível?



CONTEÚDO NO
Bernoulli Play

Circulação atmosférica

Nesse vídeo você verá a influência da presença de atmosfera em alguns planetas, quais fatores influenciam na circulação atmosférica, e as diferenças na dinâmica dos ventos no planeta Terra. Note como a inclinação do eixo da Terra e seu movimento de rotação influenciam na dinâmica dos ventos.

PRESSÃO DE UM LÍQUIDO

Os líquidos diferem dos sólidos por não serem resistentes aos esforços de cisalhamento, isto é, aos esforços cortantes. Por isso, ao ser derramado em um vaso, um líquido se deforma e se adapta à forma do recipiente, qualquer que ela seja. Mais do que isso, um líquido exerce pressão não apenas sobre o fundo do recipiente, mas também sobre as suas paredes.

As forças de compressão que geram tais pressões são sempre perpendiculares ao fundo e às paredes do recipiente, independentemente de as paredes serem verticais ou inclinadas. Isso pode ser facilmente verificado colocando-se água em uma lata amassada e com alguns furos, como mostra a figura 6. Observe que a água sai através de todos os furos, formando ângulos retos com as paredes.

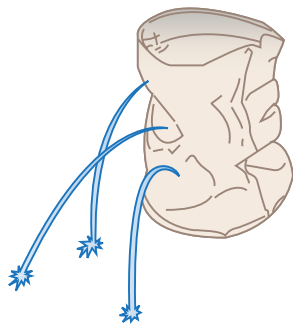


Figura 6. A pressão da água age perpendicularmente às paredes do recipiente.

Observe, na figura 6, que os dois jatos que partem dos dois furos superiores se encurvam prontamente para baixo, enquanto o jato que sai do furo inferior tem uma curvatura bem mais acentuada. Essas curvaturas diferenciadas sugerem que a velocidade de lançamento do jato aumente com a profundidade dentro da água, o que pode ser justificado pelo fato de que a pressão da água aumenta com a profundidade. Isso parece bastante lógico, uma vez que, quanto maior for a profundidade de certo ponto dentro da água, maior será a quantidade de água sobre esse ponto e, conseqüentemente, maior será a pressão exercida pela coluna de água acima dele.

Outra característica importante dos líquidos é que a pressão exercida por eles comprime todos os pontos de seu interior e age em todas as direções e sentidos. A figura 7 representa uma experiência simples para confirmar esse comportamento. Note nessa figura que todos os medidores de pressão se encontram à mesma profundidade (ao mesmo nível) e registram o mesmo valor independentemente da orientação do funil. Para um mesmo nível, além de a pressão ser igual, ela atua em todas as direções e sentidos, seja de cima para baixo, de baixo para cima ou lateralmente.

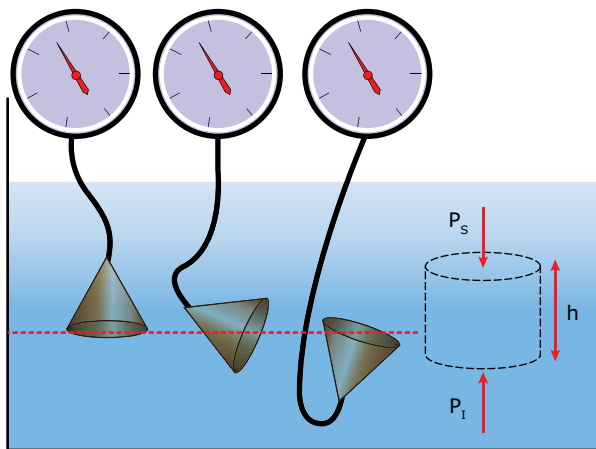


Figura 7. A pressão exercida por um líquido atua em todos os sentidos.

A expressão que fornece o valor da pressão p em um ponto no interior de um líquido de densidade ρ , a uma profundidade h , é:

$$p - p_0 = \rho gh \Rightarrow p = p_0 + \rho gh$$

Vamos deduzir essa equação. Na figura 7, observe o volume de líquido delimitado pelo cilindro de altura h , representado por um traço pontilhado. De acordo com a discussão apresentada, a pressão do líquido comprime esse cilindro em todas as direções. Lateralmente, as pressões no lado esquerdo e no lado direito se cancelam. Porém, o mesmo não ocorre com a pressão p_s na face superior e com a pressão p_i na face inferior. Como a profundidade é maior na face de baixo, temos $p_i > p_s$. Lembrando que a força exercida pela água sobre as faces do cilindro pode ser calculada por meio do produto entre cada uma das pressões p_i e p_s e a área A das faces, concluímos que a força exercida pela água sobre a face inferior é maior do que a força exercida pela água sobre a face superior. Como o cilindro está em equilíbrio, a diferença entre essas forças deve ser igual ao peso do líquido contido no cilindro. Logo:

$$p_i \cdot A - p_s \cdot A = m \cdot g = \rho \cdot V \cdot g$$

O segundo lado dessa equação expressa o peso do líquido dentro do cilindro, dado pelo produto entre a massa do líquido e a aceleração da gravidade. Por sua vez, essa massa pode ser expressa como o produto entre a densidade do líquido, ρ , e o volume do cilindro, V . Já o volume, V , pode ser substituído por $A \cdot h$. Finalmente, cancelando A , que aparece nos dois lados da equação, obtemos a expressão desejada, $p_i - p_s = \rho gh$, que também é conhecida como o Teorema de Stevin.

Segundo essa equação, a pressão no interior de um líquido é a soma de duas parcelas. Uma é a pressão atmosférica, p_0 , que atua na superfície livre do líquido e se transmite para todas as partes internas dele. A outra parcela, ρgh , é a pressão exercida pela própria coluna de líquido acima do ponto considerado. A título de exemplo, vamos usar a equação anterior para calcular a pressão em um ponto a uma profundidade $h = 10$ m abaixo da superfície do mar. Considerando $p_0 = 1,0 \cdot 10^5$ N/m² (1 atm), $\rho_{\text{água}} = 1,0 \cdot 10^3$ kg/m³ e $g = 10$ m/s² e substituindo esses valores na equação, obtemos:

$$p = 1,0 \cdot 10^5 + 1,0 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10 \Rightarrow 1,0 \cdot 10^5 + 1,0 \cdot 10^5 = 2,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

Ou ainda, $p = 1 \text{ atm} + 1 \text{ atm} = 2,0 \text{ atm}$.

Veja que o valor da pressão exercida pela coluna de 10 m de água coincide com o valor da própria pressão atmosférica ao nível do mar, isto é, uma coluna de 10 m de água exerce uma pressão de 1 atm.

Memorize esse resultado, pois ele pode ser útil para você calcular rapidamente o valor da pressão em um ponto dentro da água. Por exemplo, em um lago com 30 m de profundidade, a pressão no fundo vale 4 atm, pois 1 atm é devido à pressão atmosférica (isso se o lago estiver ao nível do mar), e 3 atm são devidos aos 30 m de coluna de água.

Outra conclusão muito importante que podemos tirar da equação anterior é a seguinte:

Todos os pontos situados em um mesmo nível, no interior de um mesmo líquido, em equilíbrio, estão sujeitos a pressões de mesmos valores.

Essa igualdade de pressões é válida mesmo para situações em que o líquido é encontrado em recipientes curvos ou com geometrias especiais, como o recipiente mostrado na figura 8. Esse recipiente é conhecido pelo nome de vasos comunicantes. Quando colocamos um líquido em um recipiente desse tipo, e desde que todas as bocas estejam expostas à mesma pressão externa (por exemplo, a pressão atmosférica), observamos que o líquido atinge níveis iguais em todas as bocas dos vasos. Assim, na figura 8, as pressões nos pontos M, N, O e P são iguais à pressão atmosférica p_0 . Os pontos R, S, T e U também estão sujeitos a pressões iguais, cujo valor é a soma da pressão atmosférica p_0 com a pressão exercida pela coluna de líquido, de altura h , indicada na figura. As pressões nos pontos X, Y e Z também são iguais, sendo iguais à soma de p_0 com a pressão exercida pela coluna de líquido de altura H .

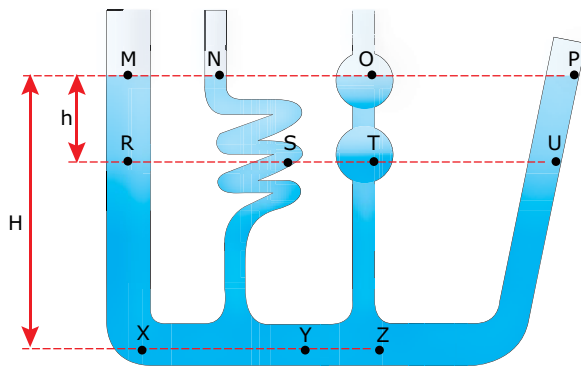


Figura 8. No interior de um líquido em repouso, as pressões em um mesmo nível são iguais.

Quando dois líquidos não miscíveis e de densidades diferentes são colocados em dois vasos comunicantes, cujas bocas estão expostas a um mesmo ambiente, observamos que os níveis atingidos nos dois ramos são diferentes. Esse é o caso ilustrado na figura 9, em que um pouco de água e um pouco de óleo foram colocados em um tubo, na forma de U, aberto para a atmosfera.

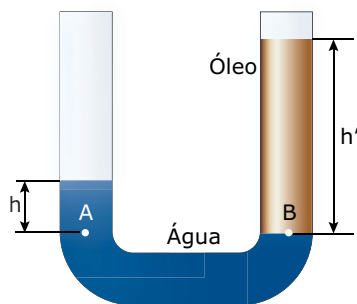


Figura 9. O óleo e a água não atingem o mesmo nível dentro do tubo em U.

De acordo com a teoria exposta anteriormente, as pressões p_A e p_B nos pontos A e B são iguais, pois esses pontos estão sobre uma mesma linha horizontal e ambos se situam na água (o ponto B também está em contato com o óleo). De acordo com a figura, podemos concluir que a densidade (ρ') do óleo é menor do que a densidade (ρ) da água, pois, para haver a igualdade entre as pressões p_A e p_B , a coluna de maior altura (h') sobre o ponto B deve ser compensada pela maior densidade da água, cuja coluna (h) sobre o ponto A é menor. Para obter a relação matemática entre h e h' , devemos igualar as pressões p_A e p_B e utilizar a equação de Stevin.

$$p_A = p_B \Rightarrow p_0 + \rho gh = p_0 + \rho' gh' \Rightarrow \rho h = \rho' h'$$

Podemos usar essa relação para determinar a densidade do óleo a partir da densidade da água ($\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$) e das alturas h e h' . Por exemplo, para $h = 15 \text{ cm}$ e $h' = 18 \text{ cm}$, temos:

$$1,0 \cdot 15 = \rho' \cdot 18 \Rightarrow \rho' = 0,83 \text{ g/cm}^3$$

Vamos finalizar esta seção analisando a figura 10, que mostra um manômetro de tubo em U usado para medir a pressão de um gás encerrado em um recipiente. Dentro do tubo em U, existe mercúrio. No lado esquerdo do tubo, o mercúrio sofre a ação da pressão p_G , exercida pelo gás. No lado direito do tubo, o mercúrio sofre a ação da pressão atmosférica p_0 . Observe que o gás empurra o mercúrio para baixo, forçando a elevação da coluna de mercúrio no lado oposto. Os valores de pressão em pontos situados em um mesmo nível do mercúrio são iguais. Então, a pressão no ponto 1 (p_G) é igual à pressão no ponto 2, imposta pelos efeitos do peso da coluna de mercúrio sobre o ponto 2 e da pressão atmosférica sobre a superfície livre do líquido. Assim, concluímos que $p_G > p_0$. Para calcular esses efeitos, é conveniente usar, como unidade de pressão, o mmHg (milímetros de mercúrio). Digamos que a coluna h seja igual a 400 mm e que a pressão atmosférica seja igual a 680 mmHg (como p_0 é menor do que 760 mmHg, o ambiente deve estar acima do nível do mar). Então, a pressão do gás é:

$$p_G = (400 + 680) \text{ mmHg} \Rightarrow p_G = 1080 \text{ mmHg} = 1,42 \text{ atm}$$

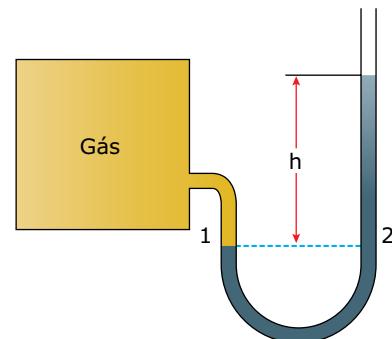


Figura 10. Manômetro de tubo em U.

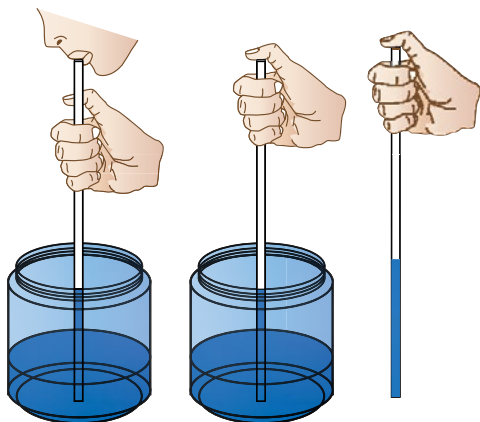


PARA REFLETIR

Considere uma garrafa PET com água, aberta na boca e com um furo na parede. Por que você interrompe o jato de água que sai pelo furo quando você tampa a boca da garrafa? Por que o jato também é interrompido caso você deixe a garrafa cair em queda livre?

EXERCÍCIO RESOLVIDO

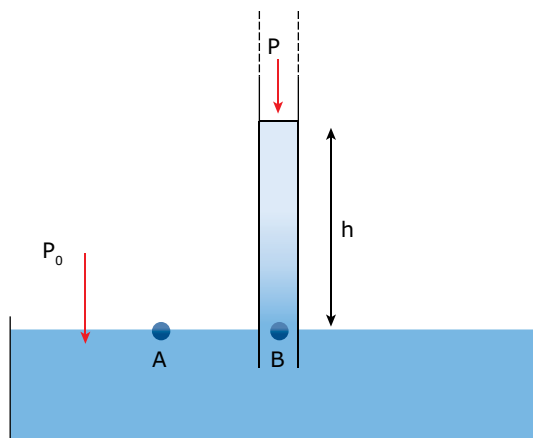
01. Durante uma aula de laboratório, um professor realizou a experiência ilustrada na figura a seguir. Primeiramente, ele sugou a água de um recipiente utilizando um tubo transparente, aberto nas extremidades, e com cerca de 1 m de comprimento. Em seguida, ele tampou rapidamente a extremidade superior do tubo com a mão. Por último, o professor retirou o tubo do recipiente e mostrou aos alunos que a água no tubo continuou em repouso, sem derramar nem um pouco pela extremidade inferior.



- A) Avaliar a pressão do ar no interior do tubo.
- B) Explicar por que a água coletada no tubo não derrama depois que esse é retirado do recipiente.

Resolução:

A) A água está em equilíbrio tanto no interior do tubo quanto dentro do recipiente. Logo, podemos afirmar que as pressões em dois pontos do interior do líquido, que se encontram em um mesmo nível, são iguais. Esse é o caso da pressão na superfície livre da água (ponto A da figura a seguir) e da pressão da água dentro do tubo, na posição em que o nível é o mesmo da superfície livre (ponto B).



A pressão no ponto A é igual à pressão atmosférica, ($p_0 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$, ao nível do mar). A pressão em B é a soma da pressão do ar dentro do tubo (valor pedido) com a pressão exercida pela coluna de água no tubo. Essa última parcela é dada por ρgh , em que ρ é a densidade da água ($1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$), g é a aceleração da gravidade (10 m/s^2) e h é a altura da coluna de água no tubo. O tubo tem 1 m de comprimento, de forma que 40 cm (0,40 m) é uma boa estimativa para h . Igualando as pressões em A e B e substituindo os valores citados, obtemos:

$$p_B = p_A \Rightarrow p + \rho gh = p_0 \Rightarrow$$

$$p + 1,0 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 0,40 = 1,0 \cdot 10^5 \Rightarrow$$

$$p = 0,96 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

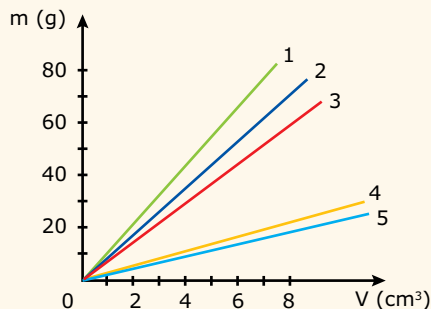
Observe que o valor da pressão P é igual a 96% da pressão atmosférica. Em outras palavras, ao sugar a água, o professor reduziu 4% da pressão do ar dentro do tubo. Por isso, a pressão atmosférica, que atua na superfície livre da água do recipiente, “empurrou” o líquido para dentro do tubo. É dessa forma que conseguimos tomar uma bebida com um canudinho. De fato, é a pressão atmosférica que empurra a bebida para dentro da nossa boca.

B) Depois que o tubo é retirado do recipiente, a água não derrama pela extremidade de baixo do tubo porque a pressão atmosférica atua de baixo para cima sobre a água, impedindo-a de cair. Nessa situação, de forma semelhante àquela discutida no item (A), a pressão atmosférica que age externamente é equilibrada pela soma da pressão do ar dentro do tubo com a pressão exercida pela coluna de água.

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



- 01.** (UFRGS-RS) Em uma aula de laboratório, os alunos realizam um experimento para demonstrar a relação linear existente entre a massa e o volume de diferentes cilindros maciços feitos de vidro. Em seguida, repetem o mesmo experimento com cilindros de aço, alumínio, chumbo e cobre. No gráfico a seguir, cada reta corresponde ao resultado obtido para cada um dos cinco materiais citados.



A reta que corresponde ao resultado obtido para o chumbo é a de número

- A) 1.
B) 2.
C) 3.
D) 4.
E) 5.

- 02.** (UEL-PR) Quando as dimensões de uma fossa são alteradas, o aumento da pressão em qualquer ponto de sua base, quando cheia, deve-se, exclusivamente, à mudança de

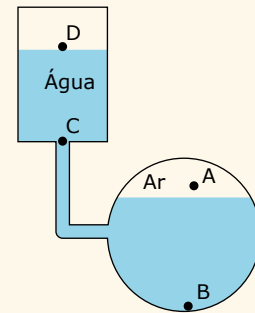
- A) área da base.
B) diâmetro.
C) formato da base.
D) profundidade.
E) perímetro da base.

- 03.** (UECE-2016) A pressão atmosférica ao nível do mar em um dado local da superfície da Terra é função do peso P da coluna de ar vertical sobre o local. Em um modelo simplificado, suponha que a aceleração da gravidade g é constante e que uma coluna de ar exerça uma força sobre a área A da base da coluna.

Considerando-se esses dados, pode-se estimar corretamente que a pressão atmosférica é:

- A) P/A
B) $P/(gA)$
C) Pg/A
D) A/P

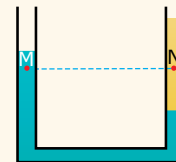
- 04.** (UFTM-MG) No interior de dois vasos comunicantes, foi colocada água, assumindo, após o repouso, os níveis indicados pelo desenho.



Considerando que um dos vasos é aberto para o ar atmosférico e que a água se comporte como um fluido ideal, é correta a comparação:

- A) $P_A > P_B > P_C > P_D$
B) $P_B > P_A > P_C > P_D$
C) $P_B > P_A = P_D > P_C$
D) $P_B = P_C > P_A = P_D$
E) $P_D > P_C > P_B > P_A$

- 05.** (PUCPR) A figura mostra um tubo em U, aberto nas duas extremidades. Esse tubo contém dois líquidos que não se misturam e que têm densidades diferentes. Sejam p_M e p_N as pressões nos pontos M e N, respectivamente. Esses pontos estão no mesmo nível, como indicado pela linha tracejada, e as densidades dos dois líquidos são tais que $d_M = 2d_N$.



Nessas condições, é correto afirmar que:

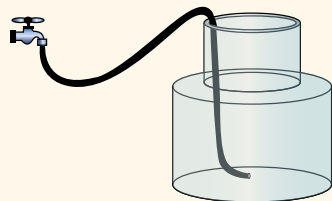
- A) $p_M = 2p_N$
B) $p_M = p_N$
C) $p_M > p_N$
D) $p_M < p_N$
E) Nada se pode afirmar a respeito das pressões.

- 06.** (UEG-GO) Em 15 de abril de 1875, na França, o balão Zenith voou a uma altitude de 8 600 m. Dois dos seus tripulantes morreram em decorrência das mudanças funcionais promovidas pela altitude. Sobre esses tipos de mudanças numa pessoa saudável e normal, é correto afirmar:

- A) Os efeitos apenas serão sentidos em altitudes superiores a 8 000 m, quando a frequência respiratória aumenta drasticamente.
B) O que ocasionou a morte dos dois tripulantes foi um efeito conhecido como hipoxia, ou seja, o alto fornecimento de oxigênio.
C) Os efeitos se devem essencialmente à diminuição da pressão atmosférica, o que é consequência da diminuição da densidade do ar.
D) Já em baixas altitudes, próximas de 1 000 m, surgem uma série de distúrbios, como dificuldade de respirar, taquicardia, náusea, vômito e insônia.

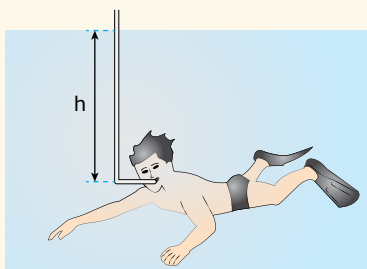
07. (UFMG) Um reservatório de água é constituído de duas partes cilíndricas, interligadas, como mostrado na figura. A área da seção reta do cilindro inferior é maior que a do cilindro superior. Inicialmente, esse reservatório está vazio. Em certo instante, começa-se a enchê-lo com água, mantendo-se uma vazão constante.

Assinale a alternativa cujo gráfico melhor representa a pressão, no fundo do reservatório, em função do tempo, desde o instante em que se começa a enchê-lo até o instante em que ele começa a transbordar.



- A) Pressão vs Tempo
- B) Pressão vs Tempo
- C) Pressão vs Tempo
- D) Pressão vs Tempo

08. (Unesp) A diferença de pressão máxima que o pulmão de um ser humano pode gerar por inspiração é em torno de $0,1 \cdot 10^5$ Pa ou 0,1 atm. Assim, mesmo com a ajuda de um *snorkel* (respirador), um mergulhador não pode ultrapassar uma profundidade máxima, já que a pressão sobre os pulmões aumenta à medida que ele mergulha mais fundo, impedindo-os de inflarem.



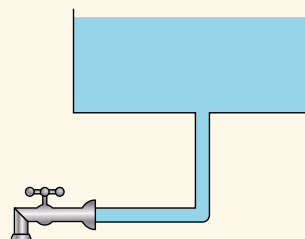
Considerando a densidade da água $\rho \cong 10^3$ kg/m³ e a aceleração da gravidade $g \cong 10$ m/s², a profundidade máxima estimada, representada por h , a que uma pessoa pode mergulhar respirando com a ajuda de um *snorkel* é igual a

- A) $1,1 \cdot 10^2$ m.
- B) $1,0 \cdot 10^2$ m.
- C) $1,1 \cdot 10^1$ m.
- D) $1,0 \cdot 10^1$ m.
- E) $1,0 \cdot 10^0$ m.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS



01. (FGV-SP) A figura seguinte mostra o esquema de um reservatório de água e o encanamento que conduz a água até uma torneira fechada. A água exerce sobre a torneira uma força de intensidade 80 N. A área da seção transversal do cano mede 4 cm² e a pressão atmosférica local sobre a superfície livre da água é de $1,0 \cdot 10^5$ Pa. A densidade da água é de $1,0 \cdot 10^3$ kg/m³ e a aceleração da gravidade local é de 10 m/s².



Nessas condições, a coluna de água mede, em metros:

- A) 1,0.
- B) 5,0.
- C) 8,0.
- D) 9,0.
- E) 10.

02. (UFG-GO) Quando uma garrafa de espumante é balançada vigorosamente, a rolha pode ser expelida com alta velocidade, sem qualquer outro auxílio. Suponha que a pressão do interior da garrafa atinja 33 atm e que o diâmetro do gargalo seja de 1,5 cm. Nessas condições, a rolha é expelida porque

Dados: $\pi \cong 3$ e $1 \text{ atm} \cong 10^5 \text{ N/m}^2$

- A) o gás anidrido sulfuroso dissolvido na bebida é liberado, aumenta a pressão e causa uma força de 540 N, que supera o atrito estático entre a rolha e o vidro.
- B) o gás carbônico dissolvido na bebida é liberado, aumenta a pressão e causa uma força de 540 N, que supera o atrito estático entre a rolha e o vidro.
- C) o gás carbônico dissolvido na bebida é liberado, aumenta a pressão e causa uma força de 540 N, que supera o atrito cinético entre a rolha e o vidro.
- D) o gás anidrido sulfuroso dissolvido na bebida é expandido, aumenta a pressão e causa uma força de 1 080 N, que supera o atrito cinético entre a rolha e o vidro.
- E) o gás anidrido carbônico dissolvido na bebida é liberado, aumenta a pressão e causa uma força de 1 080 N, que supera o atrito estático entre a rolha e o vidro.

03. (UEL-2015) Considere que uma prensa aplica sobre uma chapa metálica uma força de $1,0 \cdot 10^6$ N, com o intuito de gravar e cortar 100 moedas.

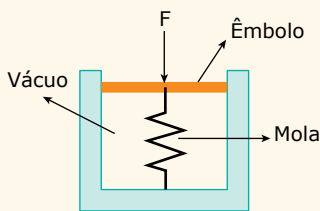
Supondo que cada moeda possui raio igual a 1 cm, assinale a alternativa que apresenta, corretamente, a pressão total da prensa sobre a área de aplicação na chapa.

- A) 33
- B) 66
- C) π
- D) $\frac{10^{10}}{\pi}$ Pa
- E) $\frac{10^{12}}{\pi}$ Pa

04. (EEAR-SP-2017) Um paralelepípedo de dimensões $5 \times 10 \times 20$ cm e massa igual a 2 kg será colocado sobre uma mesa, num local onde $g = 10$ m/s². A pressão exercida pelo paralelepípedo sobre a mesa, quando apoiado sobre sua base de menor área (p_1), em função da pressão exercida quando apoiado sobre a base de maior área (p_2), será:

- A) $2p_2$
- B) $4p_2$
- C) $\frac{p_2}{2}$
- D) $\frac{p_2}{4}$

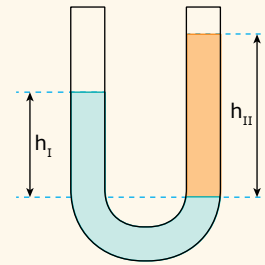
05. (UDESC) A pressão absoluta em um fluido pode ser medida utilizando-se o dispositivo mostrado na figura. O dispositivo consiste basicamente de uma câmara cilíndrica sob vácuo e um êmbolo que pode se mover sem atrito. No êmbolo é conectada uma mola de constante elástica 1 000 N/m. Quando o dispositivo é submerso em um fluido, as forças exercidas pela mola e pelo fluido sobre o êmbolo são equilibradas. O êmbolo possui uma área de 3,0 cm². Considere a situação em que o dispositivo é submerso em um poço de água. Como consequência, a mola sofre uma compressão de 5,0 cm.



Assinale a alternativa que apresenta a profundidade em que o dispositivo se encontra.

- A) $6,7 \cdot 10^0$ m.
- B) $1,7 \cdot 10^0$ m.
- C) $7,0 \cdot 10^{-1}$ m.
- D) $9,8 \cdot 10^0$ m.
- E) $1,7 \cdot 10^1$ m.

06. (UECE) Um tubo em formato de U está parcialmente cheio de um fluido I com densidade ρ_I . Um fluido II, com densidade $\rho_{II} < \rho_I$, é colocado em um dos ramos do tubo de modo a formar uma coluna de altura h_{II} , conforme a figura seguinte.



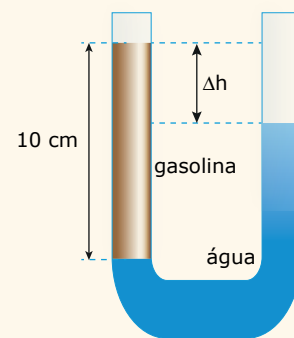
Considerando-se os fluidos imiscíveis entre si e denotando-se por g o módulo da aceleração da gravidade, a razão h_I / h_{II} entre as alturas é dada por:

- A) $\frac{g\rho_I}{\rho_{II}}$
- B) $\frac{\rho_I}{\rho_{II}}$
- C) $\frac{\rho_{II}}{\rho_I}$
- D) $\frac{g\rho_{II}}{\rho_I}$

07. (Mackenzie-2017) A pressão exercida por uma coluna de água de 10 m de altura é igual a 1,0 atm. Um mergulhador encontra-se a uma profundidade H , da superfície livre da água, onde a pressão atmosférica é 1,0 atm. A pressão absoluta sobre o mergulhador é de 5,0 atm. A profundidade que o mergulhador se encontra é

- A) 50 m.
- B) 40 m.
- C) 30 m.
- D) 20 m.
- E) 10 m.

08. (PUC Rio-2017) Um tubo em forma de U, aberto nos dois extremos e de seção reta constante, tem em seu interior água e gasolina, como mostrado na figura.

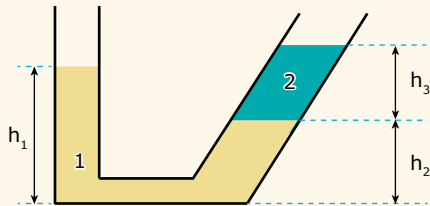


Sabendo que a coluna de gasolina (à esquerda) é de 10 cm, qual é a diferença de altura Δh , em cm, entre as duas colunas?

- Dados:** Densidade volumétrica da água $\rho_{\text{água}} = 1$ g/cm³
 Densidade volumétrica da gasolina $\rho_{\text{gasolina}} = 0,75$ g/cm³
- A) 0,75
 - B) 2,5
 - C) 7,5
 - D) 10
 - E) 25

09. (UEL) A figura a seguir apresenta um vaso preenchido com dois fluidos diferentes não miscíveis. O fluido 1 apresenta densidade de 1 g/cm^3 e o fluido 2, densidade de $0,7 \text{ g/cm}^3$.

Se $h_1 = h + h_2$, qual a razão h/h_3 ?



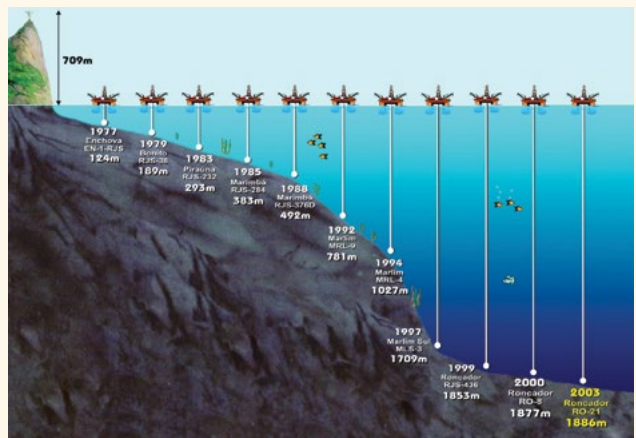
- A) 0,7
- B) 1
- C) 5
- D) 3,2
- E) 100

10. (UFSC) Assinale a(s) proposição(ões) correta(s).

- 01. Usando um canudinho, seria muito mais fácil tomar um refrigerante na Lua do que na Terra, porque a força de atração gravitacional na Lua é menor.
- 02. É possível a medida aproximada da altitude pela variação da pressão atmosférica.
- 04. Uma pessoa explodiria se fosse retirada da atmosfera terrestre para o vácuo. A pressão interna do corpo seria muito maior do que a pressão externa (nula, no vácuo) e “empurraria” as moléculas para fora do corpo. Esse é um dos motivos pelos quais os astronautas usam roupas especiais para missões fora do ambiente pressurizado de suas naves.
- 08. Para repetir a experiência realizada por Evangelista Torricelli, comparando a pressão atmosférica com a pressão exercida por uma coluna de mercúrio, é necessário conhecer o diâmetro do tubo, pois a pressão exercida por uma coluna líquida depende do seu volume.
- 16. Vários fabricantes, para facilitar a retirada da tampa dos copos de requeijão e de outros produtos, introduziram um furo no seu centro, selado com plástico. Isso facilita tirar a tampa, porque, ao retirar o selo, permitimos que o ar penetre no copo e a pressão atmosférica atue, também, de dentro para fora.
- 32. Quando se introduz a agulha de uma seringa numa veia do braço, para se retirar sangue, este passa da veia para a seringa devido à diferença de pressão entre o sangue na veia e o interior da seringa.
- 64. Sendo correta a informação de que São Joaquim se situa a uma altitude de $1\,353 \text{ m}$ e que Itajaí está ao nível do mar (altitude = 1 m), podemos concluir que a pressão atmosférica é maior em São Joaquim, já que ela aumenta com a altitude.

Soma ()

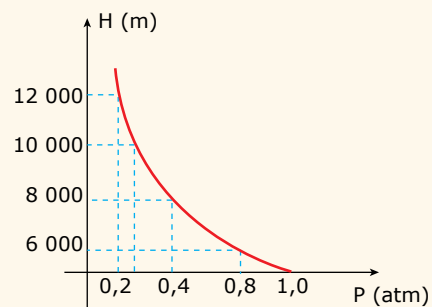
11. (UERJ–2015) Observe o aumento da profundidade de prospecção de petróleo em águas brasileiras com o passar dos anos, registrado na figura a seguir:



Disponível em: <cmqv.org> (Adaptação).

Considerando os dados anteriores, calcule, em atm, a diferença entre a pressão correspondente à profundidade de prospecção de petróleo alcançada no ano de 1977 e aquela alcançada em 2003.

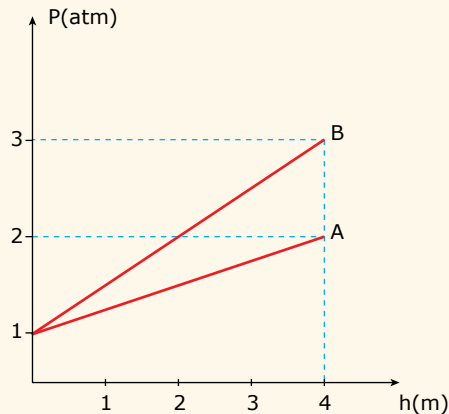
12. (IFCE–2016) O avião é considerado o segundo meio de transporte mais seguro que existe, perdendo apenas para o elevador. No entanto é recomendado conhecer os procedimentos de segurança em caso de falha mecânica. Uma despressurização, por exemplo, consiste no escape do ar, devido a uma falha na vedação em uma porta ou janela. Em virtude da diferença de pressão haverá um enorme fluxo de ar e o pânico pode, inclusive, tomar conta dos passageiros.



Observando os conhecimentos de Física e do gráfico anterior, em caso de despressurização é indicado(a)

- A) o uso das máscaras de oxigênio pelos passageiros para evitar a inalação de monóxido de carbono.
- B) o uso de máscaras de oxigênio pelos passageiros, já que a mesma tem efeito tranquilizante e o pânico só piora a situação.
- C) o uso das máscaras de oxigênio pelos passageiros e tripulação devido à baixa concentração de oxigênio em altas altitudes.
- D) a descida rápida do avião para zona de pressão atmosférica negativa.
- E) a subida rápida do avião para zona de menor turbulência, permitindo uma melhor respiração para os passageiros.

13. (UFJF-MG-2017) João estava em seu laboratório, onde grandes cilindros cheios de líquidos são usados para se medir viscosidade dos mesmos. Para tal, é necessário saber a densidade de cada um deles. Para identificar os líquidos, João mediu a pressão absoluta dentro dos cilindros em diferentes profundidades, obtendo o gráfico a seguir, para os cilindros A e B. Usando as informações do gráfico, ele calculou as densidades de cada líquido, identificando-os.



Marque a alternativa correta que fornece as densidades dos líquidos contidos em A e B, respectivamente:

- A) $5,0 \cdot 10^{-2} \text{ kg / m}^3$ e $2,5 \cdot 10^{-2} \text{ kg / m}^3$.
 B) $2,5 \cdot 10^3 \text{ kg / m}^3$ e $5,0 \cdot 10^3 \text{ kg / m}^3$.
 C) $2,5 \cdot 10^{-2} \text{ kg / m}^3$ e $5,0 \cdot 10^{-2} \text{ kg / m}^3$.
 D) $7,5 \cdot 10^3 \text{ kg / m}^3$ e $5,0 \cdot 10^3 \text{ kg / m}^3$.
 E) $5,0 \cdot 10^{-2} \text{ kg / m}^3$ e $7,5 \cdot 10^{-2} \text{ kg / m}^3$.

14. (UFPR-2017) Uma minúscula bolha de ar sobe até a superfície de um lago. O volume dessa bolha, ao atingir a superfície do lago, corresponde a uma variação de 50 % do seu volume em relação ao volume que tinha quando do início do movimento de subida. Considerando a pressão atmosférica como sendo de 10^5 Pa , a aceleração gravitacional de 10 m/s^2 e a densidade da água de 1 g/cm^3 , assinale a alternativa que apresenta a distância percorrida pela bolha durante esse movimento se não houve variação de temperatura significativa durante a subida da bolha.

- A) 2 m. C) 5 m. E) 8,4 m.
 B) 3,6 m. D) 6,2 m.

15. (FUVEST-SP) Num espetáculo de circo, um homem deita-se no chão do picadeiro e sobre seu peito é colocada uma tábua, de $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$, na qual foram cravados 400 pregos, de mesmo tamanho, que atravessam a tábua. No clímax do espetáculo, um saco com 20 kg de areia é solto, a partir do repouso, de 5 m de altura em relação à tábua, e cai sobre ela. Suponha que as pontas de todos os pregos estejam igualmente em contato com o peito do homem. Determine:

- A) A velocidade do saco de areia ao tocar a tábua de pregos.
 B) A força média total aplicada no peito do homem se o saco de areia parar 0,05 s após seu contato com a tábua.
 C) A pressão, em N/cm^2 , exercida no peito do homem por cada prego d, cuja ponta tem 4 mm^2 de área.

Note e adote:

Aceleração da gravidade no local: $g = 10 \text{ m/s}^2$

Despreze o peso da tábua com os pregos.

Não tente reproduzir esse número de circo!

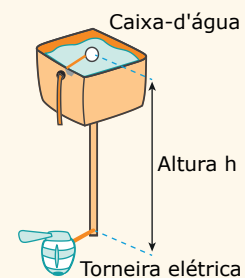
SEÇÃO ENEM

01. (Enem-2018) Talvez você já tenha bebido suco usando dois canudinhos iguais. Entretanto, pode-se verificar que, se colocar um canudo imerso no suco e outro do lado de fora do líquido, fazendo a sucção simultaneamente em ambos, você terá dificuldade em bebê-lo. Essa dificuldade ocorre porque o(a)
- A) força necessária para a sucção do ar e do suco simultaneamente dobra de valor.
 B) densidade do ar é menor que a do suco, portanto, o volume de ar aspirado é muito maior que o volume de suco.
 C) velocidade com que o suco sobe deve ser constante nos dois canudos, o que é impossível com um dos canudos fora.
 D) peso da coluna de suco é consideravelmente maior que o peso da coluna de ar, o que dificulta a sucção do líquido.
 E) pressão no interior da boca assume praticamente o mesmo valor daquela que atua sobre o suco
02. (Enem-2015) No manual de uma torneira elétrica são fornecidas instruções básicas de instalação para que o produto funcione corretamente:

Se a torneira for conectada à caixa-d'água domiciliar, a pressão da água na entrada da torneira deve ser no mínimo 18 kPa e no máximo 38 kPa.

Para pressões da água entre 38 kPa e 75 kPa ou água proveniente diretamente da rede pública, é necessário utilizar o redutor de pressão que acompanha o produto. Essa torneira elétrica pode ser instalada em um prédio ou em uma casa.

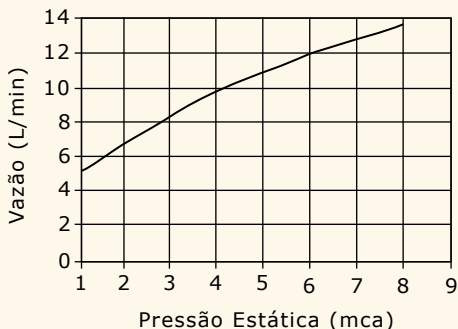
Considere a massa específica da água $1\,000 \text{ kg/m}^3$ e a aceleração da gravidade 10 m/s^2 .



Para que a torneira funcione corretamente, sem o uso do redutor de pressão, quais deverão ser a mínima e a máxima altura entre a torneira e a caixa-d'água?

- A) 1,8 m e 3,8 m. D) 18 m e 38 m.
 B) 1,8 m e 7,5 m. E) 18 m e 75 m.
 C) 3,8 m e 7,5 m.

03. (Enem) Uma pessoa, lendo o manual de uma ducha que acabou de adquirir para a sua casa, observa o gráfico, que relaciona a vazão na ducha com a pressão, medida em metros de coluna de água (mca).



Nessa casa residem quatro pessoas. Cada uma delas toma um banho por dia, com duração média de 8 minutos, permanecendo o registro aberto com vazão máxima durante esse tempo. A ducha é instalada em um ponto seis metros abaixo do nível da lâmina de água, que se mantém constante dentro do reservatório.

Ao final de 30 dias, esses banhos consumirão um volume de água, em litros, igual a:

- A) 69 120
- B) 17 280
- C) 11 520
- D) 8 640
- E) 2 880

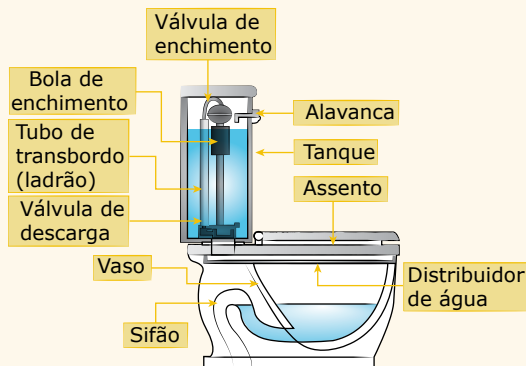
04. (Enem) Para realizar um experimento com uma garrafa PET cheia d'água, perfurou-se a lateral da garrafa em três posições a diferentes alturas. Com a garrafa tampada, a água não vazou por nenhum dos orifícios, e, com a garrafa destampada, observou-se o escoamento da água conforme ilustrado na figura.



Como a pressão atmosférica interfere no escoamento da água, nas situações com a garrafa tampada e destampada, respectivamente?

- A) Impede a saída de água, por ser maior que a pressão interna; não muda a velocidade de escoamento, que só depende da pressão da coluna de água.
- B) Impede a saída de água, por ser maior que a pressão interna; altera a velocidade de escoamento, que é proporcional à pressão atmosférica na altura do furo.
- C) Impede a entrada de ar, por ser menor que a pressão interna; altera a velocidade de escoamento, que é proporcional à pressão atmosférica na altura do furo.
- D) Impede a saída de água, por ser maior que a pressão interna; regula a velocidade de escoamento, que só depende da pressão atmosférica.
- E) Impede a entrada de ar, por ser menor que a pressão interna; não muda a velocidade de escoamento, que só depende da pressão da coluna de água.

05. (Enem) Um tipo de vaso sanitário que vem substituindo as válvulas de descarga está esquematizado na figura. Ao acionar a alavanca, toda a água do tanque é escoada e aumenta o nível no vaso, até cobrir o sifão. De acordo com o Teorema de Stevin, quanto maior a profundidade, maior a pressão. Assim, a água desce levando os rejeitos até o sistema de esgoto. A válvula da caixa de descarga se fecha e ocorre o seu enchimento. Em relação às válvulas de descarga, esse tipo de sistema proporciona maior economia de água.



Disponível em: <<http://www.facavocemesmo.net>>. Acesso em: 22 jul. 2010.

A característica de funcionamento que garante essa economia é devida

- A) à altura do sifão de água.
- B) ao volume do tanque de água.
- C) à altura do nível de água no vaso.
- D) ao diâmetro do distribuidor de água.
- E) à eficiência da válvula de enchimento do tanque.

GABARITO

Meu aproveitamento

Aprendizagem

Acertei _____ Errei _____

- 01. A
- 02. D
- 03. A
- 04. B
- 05. D
- 06. C
- 07. C
- 08. E

Propostos

Acertei _____ Errei _____

- 01. E
- 02. B
- 03. C
- 04. B
- 05. A
- 06. C
- 07. B
- 15.
 - A) $v = 10 \text{ m/s}$
 - B) $F_{\text{média}} = 4\,200 \text{ N}$
 - C) $\rho = 262,5 \text{ N/cm}^2$
- 08. B
- 09. A
- 10. Soma = 54
- 11. $\Delta P \cong 176 \text{ atm}$
- 12. C
- 13. B
- 14. C

Seção Enem

Acertei _____ Errei _____

- 01. E
- 02. A
- 03. C
- 04. A
- 05. B

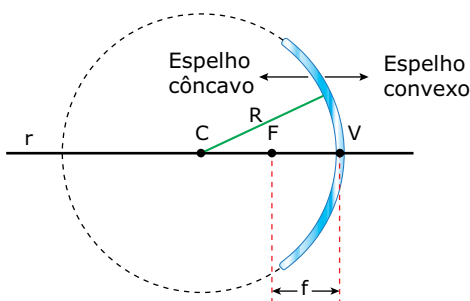


Total dos meus acertos: _____ de _____ . _____ %

Espelhos Esféricos

ESPELHO ESFÉRICO

Considere uma esfera oca espelhada interna e externamente. Se retirarmos uma fatia dessa esfera, obteremos uma calota esférica. A parte interna da calota é um espelho esférico côncavo, e a externa é um espelho esférico convexo. A figura a seguir mostra os elementos básicos de um espelho esférico.



r = eixo principal do espelho;

C = centro de curvatura do espelho (centro da esfera que originou a calota);

V = vértice do espelho (ponto central da calota esférica);

F = foco do espelho (ponto médio do segmento CV);

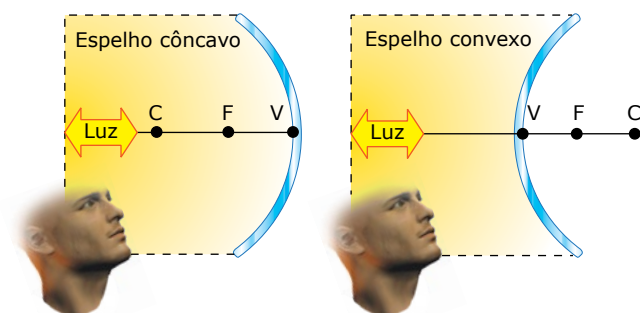
f = FV : distância focal do espelho;

R = CV : raio de curvatura do espelho.

O foco é o ponto médio do segmento CV , que é o raio de curvatura (R) do espelho. Assim, a distância focal (f) é metade desse segmento, ou seja:

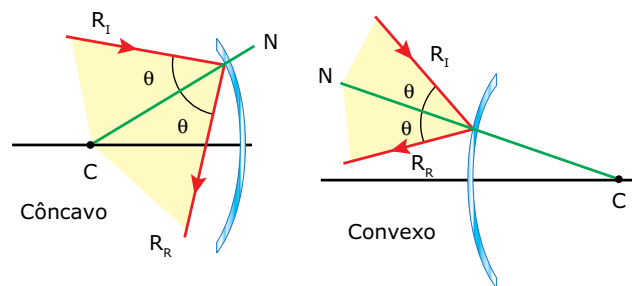
$$f = \frac{R}{2}$$

Embora os espelhos côncavo e convexo apresentem os mesmos elementos, eles diferem totalmente em relação ao tipo de imagem que formam. Para perceber o motivo dessa diferença, analise as figuras a seguir, que representam os perfis de um espelho côncavo e de um espelho convexo e, também, os elementos que estão à frente dos espelhos (a luz que incide sobre os espelhos e é refletida por eles e o observador).



Observe, na primeira figura, que a luz pode passar pelo centro de curvatura e pelo foco do espelho côncavo. Tais pontos estão à frente do espelho. Já no espelho convexo, o centro de curvatura e o foco estão atrás do espelho. Nenhum raio luminoso, seja incidente ou refletido, passa por esses pontos, no espelho convexo.

As Leis da Reflexão são também obedecidas pelos espelhos côncavos e convexas. Como são esféricos, a normal (N), em qualquer ponto desses espelhos, deve passar pelo centro de curvatura. Veja as figuras a seguir:



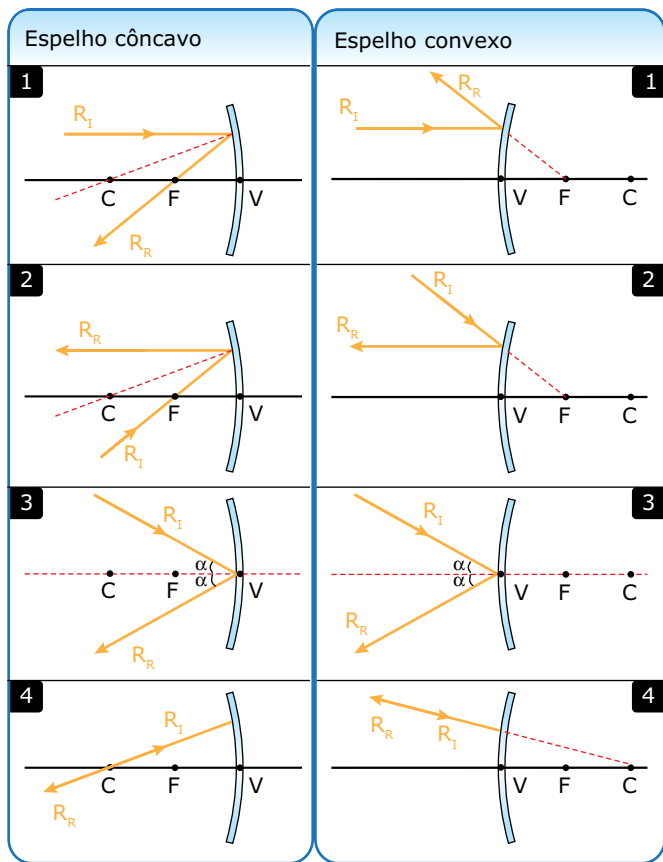
Observe que o raio incidente (R_I), a normal (N) e o raio refletido (R_R) estão no mesmo plano e que os ângulos de incidência e de reflexão são iguais.

Existem quatro raios, chamados de raios notáveis, que você deve conhecer bem. São eles:

1. **O raio que incide paralelamente ao eixo principal** é refletido na direção do foco. No espelho côncavo, o raio refletido passa pelo foco e, no espelho convexo, é o prolongamento do raio refletido que passa pelo foco.
2. **O raio que incide na direção do foco** é refletido paralelamente ao eixo principal. No espelho côncavo, o raio incide passando pelo foco e, no convexo, o raio deve incidir na direção do foco, que está atrás do espelho.

- O raio que incide no vértice do espelho é refletido para o outro lado do eixo principal, formando, com este, um ângulo igual ao ângulo de incidência (o eixo principal coincide com a normal).
- O raio que incide na direção do centro de curvatura é refletido sobre si mesmo – os ângulos de incidência e de reflexão são iguais a zero (a normal passa pelo centro dos espelhos).

O quadro a seguir mostra o comportamento dos raios notáveis. Compare a forma como os raios são refletidos pelos dois espelhos.



Observe no quadro anterior que as situações 1 e 2, no espelho côncavo e no espelho convexo, ilustram um princípio óptico importante: a **reversibilidade dos raios luminosos**. Veja, ainda, que, no espelho convexo, são os prolongamentos dos raios de luz que passam pelo foco, ou pelo centro do espelho.

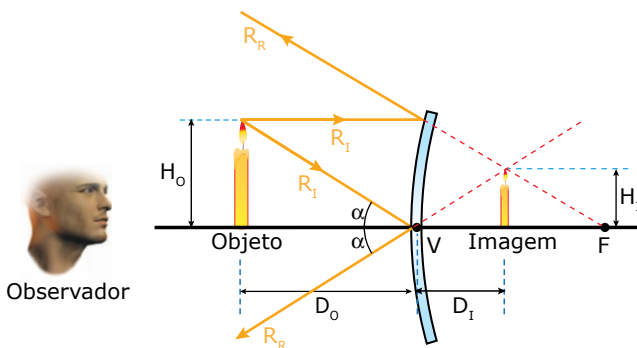
Os raios de luz representados no quadro anterior apresentam aquele comportamento somente se os espelhos forem **parabólicos** e obedecerem às condições de Gauss. Os espelhos esféricos de pequena abertura (espelhos com curvatura pouco acentuada) têm comportamento semelhante ao dos espelhos parabólicos – dizemos que eles se aproximam das condições de Gauss. Por esse motivo, todos os espelhos do nosso livro serão considerados esféricos e de pequena abertura.

DETERMINAÇÃO GRÁFICA DAS IMAGENS

Em todas as situações apresentadas a seguir, vamos considerar o objeto retilíneo, vertical e com o “pé” (parte inferior do objeto) apoiado sobre o eixo principal. Para determinarmos a posição em que a imagem do objeto será formada, traçamos dois raios incidentes, quaisquer dos quatro notáveis, saindo da “cabeça” (parte superior) do objeto. Desenhamos, a seguir, os raios **refletidos** e, no encontro deles (ou dos seus prolongamentos), obtemos a imagem da “cabeça” do objeto. A imagem do “pé” estará apoiada sobre o eixo principal do espelho e na mesma vertical que a imagem da “cabeça”.

Espelho convexo

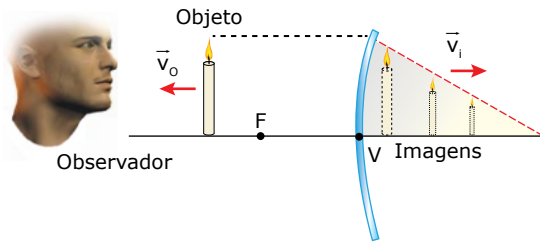
O espelho convexo apresenta um único tipo de imagem, independentemente da posição do objeto em relação ao espelho. Veja a seguir.



Observe que os raios refletidos não se cruzam. Entretanto, prolongando cada um deles (linhas vermelhas), podemos determinar a posição em que a imagem da extremidade superior do objeto será formada, que será aquela em que se encontram esses prolongamentos. O observador, à frente do espelho, vê a imagem no local indicado, pois tem a sensação de que a luz saiu daquela posição. A imagem formada pelo espelho convexo é **sempre**

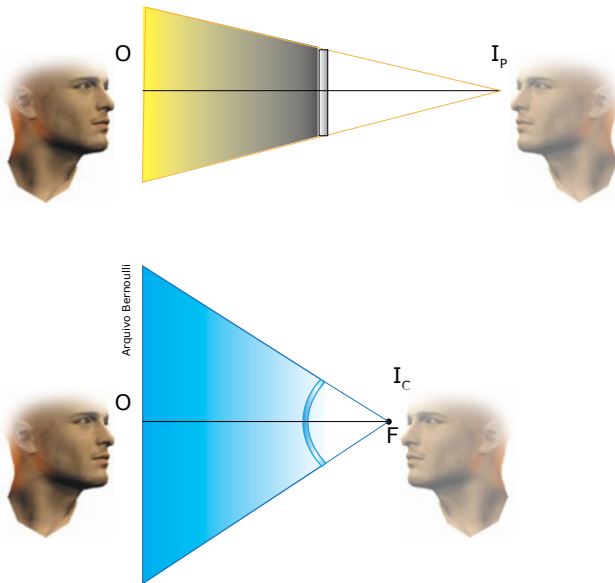
- virtual (formada pelos prolongamentos dos raios refletidos);
- direta (objeto e imagem de cabeças para cima);
- mais perto do espelho do que o objeto ($D_1 < D_0$);
- de dimensões menores que o objeto ($H_1 < H_0$; $L_1 < L_0$);
- localizada entre o foco e o vértice do espelho;
- com inversão lateral e de profundidade.

Se o objeto se aproxima (ou se afasta) do espelho, a imagem também se aproxima (ou se afasta) dele. Veja a seguir que, independentemente da posição do objeto, o raio que incide sobre o espelho paralelamente ao eixo principal será refletido de forma que seu prolongamento passe pelo foco. Assim, a imagem estará sempre dentro do “triângulo” destacado.



No caso de o objeto se colocar muito distante do espelho ("infinito"), a sua imagem estará praticamente sobre o foco.

Se a imagem formada pelo espelho convexo é sempre menor que o objeto, qual a sua utilidade? A resposta é simples: o espelho convexo fornece um campo visual maior, e, com isso, um número maior de objetos pode ser visto, simultaneamente, através dele. Daí a sua aplicação em garagens, lojas, supermercados, retrovisores de motos e automóveis, etc. Veja, a seguir, a comparação do campo visual de um espelho plano com o de um espelho convexo de mesmas dimensões, para um observador (O).



Na figura, I_c e I_p são as imagens do observador formadas pelos espelhos convexo e plano, respectivamente. O campo visual foi traçado a partir da imagem do observador e das extremidades dos espelhos. Compare agora os campos visuais dos dois espelhos.

Observe, na ilustração a seguir, a imagem formada por um espelho convexo.

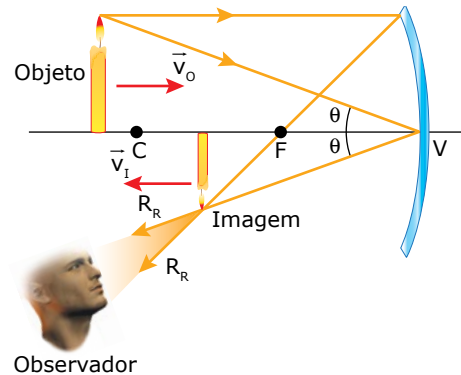


Viviane Fonseca

Espelho côncavo

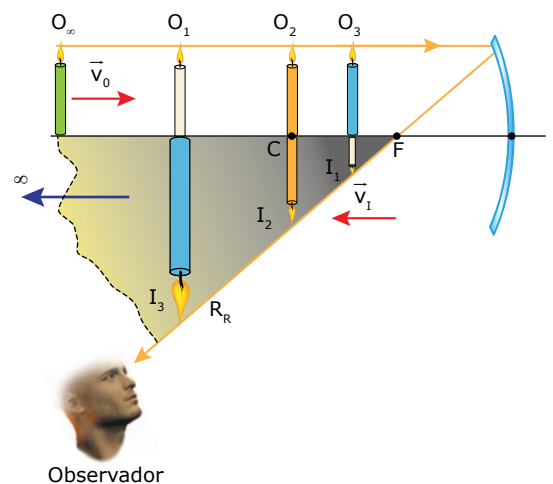
O espelho côncavo, ao contrário do convexo, pode formar diversos tipos de imagens, dependendo da posição do objeto em relação ao foco e ao centro de curvatura do espelho. Assim, a imagem pode ser real ou virtual e pode ser maior, menor ou de mesmas dimensões que o objeto. Veja os casos a seguir:

Objeto entre o infinito e o foco ($\infty > D_o > f$)



Veja que, nesse caso, os próprios raios que saíram da "cabeça" do objeto, e que foram refletidos pelo espelho, se encontram. No ponto de cruzamento dos raios refletidos, ocorre a formação de uma **imagem real** da "cabeça" do objeto (a luz está chegando realmente a esse ponto). Os "pés" do objeto e da imagem do objeto estão sobre o eixo principal. Logo, a imagem é **invertida**, tanto vertical quanto lateralmente. Se houvesse uma tela (folha de papel, por exemplo) na posição da imagem, esta seria projetada nessa tela.

Uma característica importante de toda imagem **real** se refere aos deslocamentos da imagem em relação ao objeto. Ao contrário da imagem virtual, a imagem real se desloca no sentido oposto ao do objeto (em relação ao dispositivo óptico). Se o objeto se **aproxima** do espelho, a sua imagem se **afasta** deste, e vice-versa. A figura a seguir mostra um objeto sendo deslocado sobre o eixo principal de um espelho, aproximando-se deste. Observe que a imagem do objeto se afasta do espelho.



Em todas as situações representadas na figura anterior, a imagem do objeto é **real e invertida**. As únicas diferenças entre essas imagens se referem às suas dimensões e às suas respectivas localizações. Em qualquer um dos casos, a imagem estará localizada dentro do “triângulo” destacado na figura anterior.

Veja, a seguir, as ilustrações das imagens mencionadas.



Veja, a seguir, as particularidades de cada imagem.

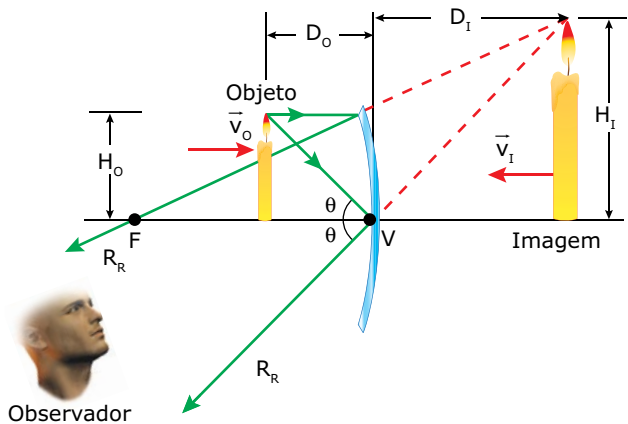
Posição do objeto	Natureza, posição e dimensões da imagem
Além de C (O_1), $D_o > 2f$	Imagem real, invertida e localizada entre C e F (I_1). $D_i < D_o$, $H_i < H_o$ e $L_i < L_o$
Sobre C (O_2), $D_o = 2f$	Imagem real, invertida e localizada sob C (I_2). $D_i = D_o$, $H_i = H_o$ e $L_i = L_o$
Entre C e F (O_3), $2f > D_o > f$	Imagem real, invertida e localizada entre C e o infinito (I_3). $D_i > D_o$, $H_i > H_o$ e $L_i > L_o$

Todas as imagens citadas apresentam inversão lateral e de profundidade.

Observe que, à medida que o objeto se aproxima do **foco**, a posição da imagem **tende** a chegar ao infinito. Dois destaques importantes a respeito das imagens reais formadas pelo espelho côncavo são:

- Os objetos O_1 e O_3 foram colocados de modo que se perceba o princípio da reversibilidade dos raios luminosos. Se um objeto for colocado na posição I_3 , a sua imagem estará na posição de O_3 . Se I_1 fosse um objeto, a sua imagem estaria na posição de O_1 . Ou seja, para uma posição fixa de qualquer um dos elementos (objeto ou imagem), a posição do outro elemento independe do fato de este elemento ser objeto ou imagem.
- Uma situação prática importante acontece se o objeto estiver muito distante do espelho ($D_o \gg 2f$). Nesse caso, dizemos que o objeto está no “infinito” (O_∞). Assim, a imagem formada é real, invertida, muito pequena e se localiza, praticamente, sobre o foco ($D_i \cong f$). Os telescópios refletivos e algumas antenas receptoras de sinais de satélite são exemplos importantes que ilustram essa situação.

Objeto entre o foco e o vértice ($D_o < f$)



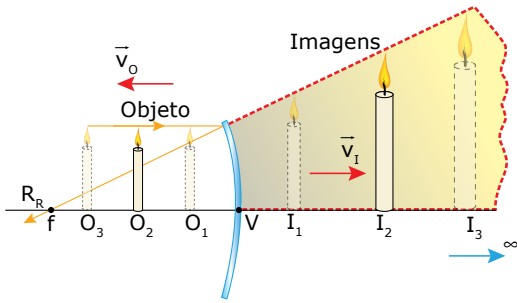
Veja que, nesse caso, os raios refletidos não se encontram. Os prolongamentos desses raios, porém, se cruzam atrás do espelho. No ponto desse cruzamento, é formada uma imagem do objeto. As suas características são:

- imagem virtual (formada pelos prolongamentos dos raios refletidos);
- imagem direta (objeto e imagem de cabeças para cima);
- a imagem apresenta inversão lateral e de profundidade;
- as dimensões (altura e largura) da imagem são maiores que as do objeto ($H_i > H_o$ e $L_i > L_o$);
- a imagem está sempre atrás do espelho e mais distante deste que o objeto ($D_i > D_o$).

A situação apresentada tem uma importante aplicação prática no dia a dia. Nesse caso, o espelho é chamado de “espelho de aumento” e é muito usado para se obter uma imagem direta e maior do rosto de uma pessoa, por exemplo. Veja a seguir:



Nesse caso, se o objeto (próximo ao vértice) se afasta do espelho, aproximando-se cada vez mais do foco, a imagem também se afasta do espelho e tende a chegar ao infinito. Veja, a seguir, algumas posições possíveis para a imagem no espelho côncavo, quando o objeto se desloca entre o vértice e o foco. As imagens virtuais estão sempre dentro do “triângulo” destacado na figura a seguir:



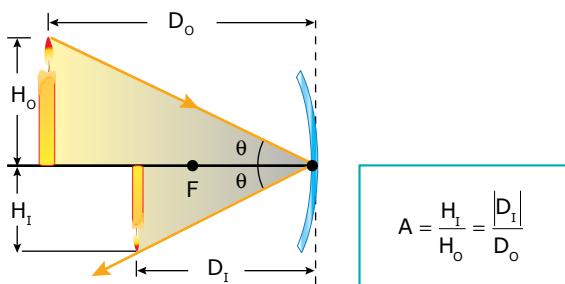
Veja uma comparação interessante. Analise as figuras anteriores, que mostram a região das possíveis imagens nos dois espelhos. As imagens virtuais, no espelho côncavo, vão do vértice ao infinito; e as imagens reais estão entre o foco e o infinito. Dessa forma, nenhuma imagem está localizada entre o foco e o vértice do espelho côncavo. No espelho convexo, ao contrário, as imagens estão, exclusivamente, localizadas entre o foco e o vértice.

Observe ainda que, se o objeto se aproxima do foco, seja vindo do centro de curvatura ou do vértice do espelho, a imagem do objeto tende ao infinito. Logo, se o objeto está **sobre o foco** do espelho côncavo, os raios de luz, refletidos pelo espelho, são paralelos entre si e não se cruzam na frente do espelho, e nem os seus prolongamentos atrás dele. Dessa forma, **não existe** imagem formada para essa posição do objeto. Alguns autores consideram que um objeto sobre o foco de um espelho côncavo tem a sua imagem formada no infinito. Nesse caso, ela é chamada de imagem **imprópria**.

Antes de finalizar a parte gráfica da determinação das imagens, vamos fazer uma constatação importante. Para objetos reais (colocados à frente dos espelhos), toda imagem **real** é **invertida** e qualquer imagem **virtual** é **direta**.

DETERMINAÇÃO ANALÍTICA DA IMAGEM

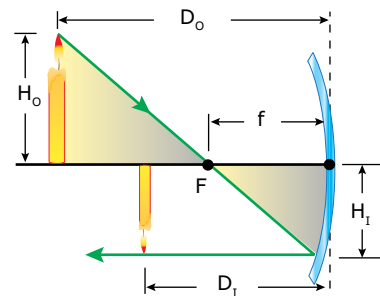
Vamos, agora, deduzir relações entre as grandezas H_o e H_i (alturas do objeto e da imagem), D_o e D_i (distâncias do objeto e da imagem ao vértice do espelho) e f (distância focal do espelho). Para isso, vamos considerar a figura a seguir. Lembre-se de que o raio de luz que incide sobre o vértice do espelho é refletido, formando, com o eixo principal, um ângulo igual ao ângulo de incidência. Uma vez que os dois triângulos destacados são semelhantes, podemos escrever:



Essa relação permite calcular a ampliação (A) fornecida pelo espelho. Observe a proporcionalidade entre as alturas da imagem e do objeto e as respectivas distâncias da imagem e do objeto ao espelho. Assim, se a distância da imagem ao espelho (D_i) é, por exemplo, o triplo da distância do objeto ao espelho (D_o), a altura da imagem (H_i) é também o triplo da altura do objeto (H_o). Da relação anterior, temos que:

- se $A > 1$, a imagem é **maior** do que o objeto e está **mais distante** do espelho do que o objeto.
- se $A = 1$, a imagem é do **mesmo tamanho** que o objeto e está à **mesma distância** do espelho que o objeto.
- se $A < 1$, a imagem é **menor** do que o objeto e está **mais próxima** do espelho do que o objeto.

Outra expressão importante pode ser deduzida a partir da figura a seguir. Ela representa a mesma situação anterior, porém a imagem foi obtida a partir de um raio de luz que passa pelo foco do espelho.



Para um espelho de pequena abertura (aproximação de Gauss), o arco do espelho é próximo de um segmento de reta. Nesse caso, os dois "triângulos" destacados são semelhantes. Neles, temos:

$$\frac{H_i}{H_o} = \frac{f}{(D_o - f)}$$

Como: $\frac{H_i}{H_o} = \frac{D_i}{D_o} \Rightarrow \frac{D_i}{D_o} = \frac{f}{(D_o - f)} \Rightarrow$

$$D_i \cdot (D_o - f) = f \cdot D_o \Rightarrow D_i \cdot D_o - f \cdot D_i = f \cdot D_o \Rightarrow D_i \cdot D_o = f \cdot D_i + f \cdot D_o$$

Dividindo por $(D_i \cdot D_o \cdot f)$, temos:

$$\frac{D_i \cdot D_o}{D_i \cdot D_o \cdot f} = \frac{f \cdot D_i}{D_i \cdot D_o \cdot f} + \frac{f \cdot D_o}{D_i \cdot D_o \cdot f} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{D_o} + \frac{1}{D_i}$$

A expressão anterior é conhecida como equação de Gauss ou equação dos pontos conjugados. Para usá-la, devemos considerar os sinais das grandezas envolvidas, quando forem dados do exercício (informações fornecidas), de acordo com o estabelecido a seguir:

- em qualquer situação $\rightarrow D_o > 0$ (positiva);
- espelho côncavo $\rightarrow f > 0$ (positiva);
- espelho convexo $\rightarrow f < 0$ (negativa);
- imagem real $\rightarrow D_i > 0$ (positiva);
- imagem virtual $\rightarrow D_i < 0$ (negativa).

OBSERVAÇÃO

Na equação de Gauss, uma das grandezas será, necessariamente, aquela a ser encontrada (incógnita). Para esta, **não** devemos colocar sinal prévio na equação. Agindo dessa forma, o sinal associado à incógnita será obtido pelo resultado.



Espelhos

Esse simulador mostra como são formadas as imagens nos espelhos planos, côncavos e convexos. Habilite / desabilite os raios de luz, acione a régua para realizar medições, varie o tamanho do objeto, etc. Fique atento para perceber as diferenças e semelhanças entre as imagens formadas. Boa atividade!



EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



01. (UFF-RJ) A figura mostra um objeto e sua imagem produzida por um espelho esférico.



Escolha a alternativa que identifica corretamente o tipo do espelho que produziu a imagem e a posição do objeto em relação a esse espelho.

- A) O espelho é convexo, e o objeto está a uma distância maior que o raio do espelho.
- B) O espelho é côncavo, e o objeto está posicionado entre o foco e o vértice do espelho.
- C) O espelho é côncavo, e o objeto está posicionado a uma distância maior que o raio do espelho.
- D) O espelho é côncavo, e o objeto está posicionado entre o centro e o foco do espelho.
- E) O espelho é convexo, e o objeto está posicionado a uma distância menor que o raio do espelho.

02. (UFRN) Deodora, aluna da 4ª série do Ensino Fundamental, ficou confusa na feira de ciências de sua escola, ao observar a imagem de um boneco em dois espelhos esféricos. Ela notou que, com o boneco colocado a uma mesma distância do vértice dos espelhos, suas imagens produzidas por esses espelhos apresentavam tamanhos diferentes, conforme mostrado nas figuras 1 e 2, reproduzidas a seguir.

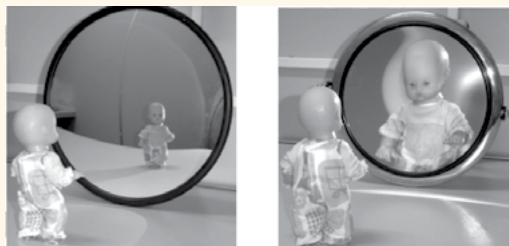


Figura 1

Figura 2

Observando-se as duas imagens, é correto afirmar que

- A) o espelho da figura 1 é côncavo, o da figura 2 é convexo, e o boneco está entre o foco e o vértice desse espelho.
- B) o espelho da figura 1 é convexo, o da figura 2 é côncavo, e o boneco está entre o centro de curvatura e o foco desse espelho.
- C) o espelho da figura 1 é convexo, o da figura 2 é côncavo, e o boneco está entre o foco e o vértice desse espelho.
- D) o espelho da figura 1 é côncavo, o da figura 2 é convexo, e o boneco está entre o centro de curvatura e o foco desse espelho.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

01. Um objeto de 10 cm de altura é colocado a 60 cm do vértice de um espelho côncavo, de raio de curvatura igual a 80 cm. Determinar a posição, a natureza e o tamanho da imagem fornecida pelo espelho.

Resolução:

Como $f = R/2$, temos: $f = 80 \text{ cm}/2 \Rightarrow f = 40 \text{ cm}$ (espelho côncavo tem distância focal positiva).

Usando a equação de Gauss, temos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{D_o} + \frac{1}{D_i} \Rightarrow \frac{1}{40} = \frac{1}{60} + \frac{1}{D_i} \Rightarrow D_i = 120 \text{ cm}$$

Observe que o resultado obtido para D_i foi positivo. Agora, utilizando a equação da ampliação, temos:

$$\frac{H_i}{H_o} = \frac{|D_i|}{D_o} \Rightarrow \frac{H_i}{10} = \frac{120}{60} \Rightarrow H_i = 20 \text{ cm}$$

De acordo com os resultados anteriores, conclui-se que a imagem está além do centro de curvatura ($D_i = 120 \text{ cm}$). Como D_i é positivo, a imagem é real e invertida e, conforme o resultado da ampliação, a altura da imagem é 20 cm. Observe que a altura da imagem é o dobro da altura do objeto.

02. A distância do Sol à Terra é, aproximadamente, 200 vezes o diâmetro do Sol. Este é observado através de um espelho côncavo, cuja distância focal é 30 m. Determinar a altura (diâmetro) da imagem obtida pelo espelho.

Resolução:

Uma vez que o Sol está muito distante, a sua imagem se forma praticamente sobre o foco do espelho. Assim, $D_i \cong f = 30 \text{ m}$. Conforme o enunciado, $D_o = 200 H_o$. Levando tais informações para a equação da ampliação, temos:

$$\frac{H_i}{H_o} = \frac{|D_i|}{D_o} \Rightarrow \frac{H_i}{H_o} = \frac{3000 \text{ cm}}{200 H_o} \Rightarrow H_i = 15 \text{ cm}$$

O resultado mostra que, mesmo para objetos muito distantes, a imagem não é pontual. Ela, porém, tem tamanho desprezível em relação ao objeto.

03. Um objeto é colocado 30 cm à frente de um espelho esférico. A imagem formada é virtual e sua altura é o dobro da altura do objeto. Determinar o tipo de espelho usado e o seu raio de curvatura.

Resolução:

Se $H_i = 2H_o \Rightarrow |D_i| = 2.30 = 60 \text{ cm}$. Como a imagem é virtual, D_i deve ser negativo. Assim, $D_i = -60 \text{ cm}$. Utilizando a equação de Gauss:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{D_o} + \frac{1}{D_i} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{30} + \frac{1}{-60} \Rightarrow f = 60 \text{ cm}$$

$$f = R/2 \Rightarrow R = 2f = 2 \cdot 60 = 120 \text{ cm} \Rightarrow R = 120 \text{ cm}$$

Veja, pelo resultado, que a distância focal é positiva. Assim, o espelho usado é côncavo e o seu raio é $R = 120 \text{ cm}$.

- 03.** (UFTM-MG) Sobre o comportamento dos espelhos esféricos, assinale a alternativa correta.
- A) Se um objeto real estiver no centro de curvatura de um espelho esférico, sua imagem será real, direita e de mesmo tamanho que a do objeto.
 - B) Os raios de luz que incidem, fora do eixo principal, sobre o vértice de um espelho esférico, refletem-se passando pelo foco desse espelho.
 - C) Os espelhos esféricos côncavos só formam imagens virtuais, sendo utilizados, por exemplo, em portas de garagens para aumentar o campo visual.
 - D) Os espelhos convexos, por produzirem imagens ampliadas e reais, são bastante utilizados por dentistas em seu trabalho de inspeção dental.
 - E) Os espelhos utilizados em telescópios são côncavos e as imagens por eles formadas são reais e se localizam, aproximadamente, no foco desses espelhos.

- 04.** (IFSul-RS-2016) Um objeto real é colocado perpendicularmente ao eixo principal de um espelho esférico convexo. Nota-se que, nesse caso, a altura da imagem virtual é i_1 . Em seguida, o mesmo objeto é aproximado do espelho, formando uma nova imagem com altura i_2 .

Quando se traz para mais perto o objeto, a imagem se

- A) aproxima do espelho, sendo $i_1 < i_2$.
- B) aproxima do espelho, sendo $i_1 > i_2$.
- C) afasta do espelho sendo $i_1 = i_2$.
- D) afasta do espelho sendo $i_1 < i_2$.

- 05.** (FGV-SP) Na "sala dos espelhos" de um parque, Pedro se diverte observando suas imagens em diferentes espelhos. No primeiro, a imagem formada é invertida e aumentada; no segundo, invertida e reduzida e, no terceiro, direita e reduzida. O primeiro, o segundo e o terceiro espelhos são, respectivamente,
- A) convexo, convexo e côncavo.
 - B) côncavo, convexo e convexo.
 - C) convexo, côncavo e côncavo.
 - D) côncavo, convexo e côncavo.
 - E) côncavo, côncavo e convexo.

- 06.** (IFCE-2016) Um jovem odontólogo, desejando montar um consultório, sai em busca de bons equipamentos por um preço que caiba em seu bolso. Diante da diversidade de instrumentos, pede orientação a um colega físico sobre qual tipo de instrumento óptico comprar para visualizar com maiores detalhes os dentes dos seus futuros pacientes. Irá atender às necessidades do dentista
- A) um espelho plano, por ser um material de produção em grande escala, seu valor é mais barato e o mesmo é capaz de produzir aumentos superiores a três vezes.
 - B) um espelho convexo, pois funciona como uma lupa, produzindo imagens ampliadas de ótima qualidade independentemente da posição do dente do paciente.
 - C) uma lente divergente, já que a mesma produz o maior tipo de aumento. No entanto, a posição do dente deve estar entre o foco e o centro óptico da lente para conseguir uma ampliação satisfatória.

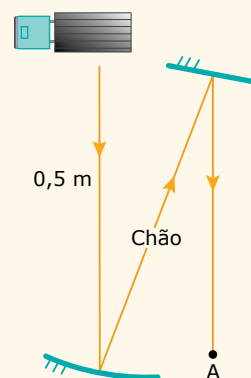
- D) um espelho côncavo, pois uma vez que coloque o dente do paciente entre o foco e o vértice desse espelho, a imagem produzida será maior, virtual e direita.
- E) uma lente multifocal. Assim, independentemente da posição em que se encontra o dente em relação ao espelho, a ampliação será satisfatória.

- 07.** (UFSCar-SP) Utilizando um espelho esférico côncavo de raio de curvatura 2 m e um espelho plano, um caminhãozinho de brinquedo, colocado com suas rodinhas apoiadas sobre o chão a 0,5 m do espelho côncavo, é observado por uma pessoa posicionada no ponto A, conforme a montagem óptica esquematizada. Do mesmo ponto A, a pessoa também pode observar o caminhãozinho diretamente.

Imagem vista diretamente do ponto A (sem espelhos)



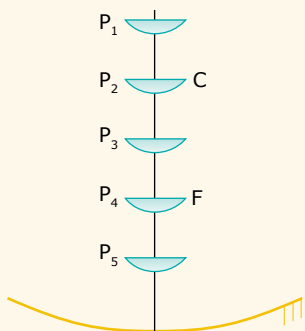
Posições dos espelhos, caminhão e observador (vista superior)



A imagem observada com o uso do arranjo de espelhos ideais, comparada à obtida diretamente pelo observador, está melhor representada por

- A)
- B)
- C)
- D)
- E)

- 08.** (UNIFESP) Os elevados custos da energia, aliados à conscientização da necessidade de reduzir o aquecimento global, fazem ressurgir antigos projetos, como é o caso do fogão solar. Utilizando as propriedades reflexivas de um espelho esférico côncavo, devidamente orientado para o Sol, é possível produzir aquecimento suficiente para cozinhar ou fritar alimentos. Suponha que um desses fogões seja constituído de um espelho esférico côncavo ideal e que, num dado momento, tenha seu eixo principal alinhado com o Sol.



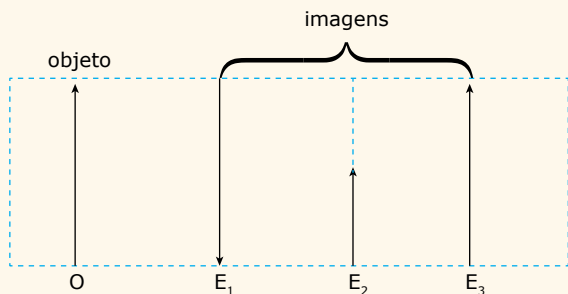
Na figura, P_1 a P_5 representam cinco posições igualmente espaçadas sobre o eixo principal do espelho, nas quais uma pequena frigideira pode ser colocada. P_2 coincide com o centro de curvatura do espelho e P_4 , com o foco. Considerando que o aquecimento em cada posição dependa exclusivamente da quantidade de raios de luz refletidos pelo espelho que atinja a frigideira, a ordem decrescente de temperatura que a frigideira pode atingir em cada posição é:

- A) $P_4 > P_1 = P_3 = P_5 > P_2$
- B) $P_4 > P_3 = P_5 > P_2 > P_1$
- C) $P_2 > P_1 = P_3 = P_5 > P_4$
- D) $P_5 = P_4 > P_3 = P_2 > P_1$
- E) $P_5 > P_4 > P_3 > P_2 > P_1$

EXERCÍCIOS PROPOSTOS



- 01.** (Uni-FACEF-SP-2016) Um objeto O é colocado em três momentos distintos diante de três espelhos, E_1 , E_2 e E_3 , sendo observadas imagens cujas características, comparadas com as do próprio objeto, estão ilustradas na figura.



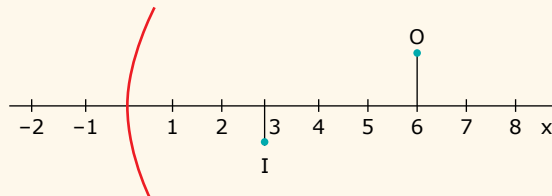
Os sistemas óticos E_1 , E_2 e E_3 correspondem, respectivamente, aos seguintes tipos de espelhos:

- A) plano, convexo e côncavo.
- B) convexo, côncavo e plano.
- C) convexo, plano e côncavo.
- D) côncavo, plano e convexo.
- E) côncavo, convexo e plano.

- 02.** (PUC-SP-2016) Determine o raio de curvatura, em cm, de um espelho esférico que obedece às condições de nitidez de Gauss e que conjuga de um determinado objeto uma imagem invertida, de tamanho igual a $1/3$ do tamanho do objeto e situada sobre o eixo principal desse espelho. Sabe-se que distância entre a imagem e o objeto é de 80 cm.

- A) 15
- B) 30
- C) 60
- D) 90

- 03.** (UFF-RJ) A figura a seguir representa um objeto O e sua imagem I formada por um espelho côncavo. O eixo do espelho coincide com o eixo x , que está graduado em centímetros.



Se o objeto for deslocado para a posição $x = 1$ cm, a posição de sua nova imagem será, em cm,

- A) -2.
- B) -1.
- C) 0,5.
- D) 1.
- E) 2.

- 04.** (CMMG) Dois espelhos esféricos côncavos de 40 cm de raio são colocados a um metro de distância, um de frente para o outro. Uma vela acesa é posicionada a 60 cm de um dos espelhos. A distância entre as duas primeiras imagens formadas da vela é de

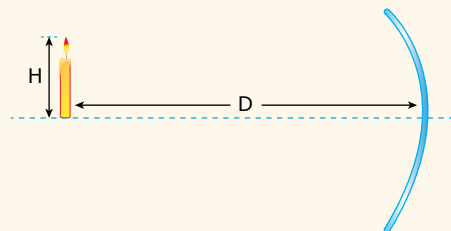
- A) 10 cm.
- B) 20 cm.
- C) 30 cm.
- D) 40 cm.

- 05.** (PUC-Campinas-SP-2016) Uma vela acesa foi colocada a uma distância p do vértice de um espelho esférico côncavo de 1,0 m de distância focal. Verificou-se que o espelho projetava em uma parede uma imagem da chama desta vela, ampliada 5 vezes.

O valor de p , em cm, é:

- A) 60.
- B) 90.
- C) 100.
- D) 120.
- E) 140.

- 06.** (UFGD-MS-2016) Uma vela, de altura H , é colocada diante de um espelho côncavo com raio de curvatura de 10 cm. A vela encontra-se a uma distância D do vértice do espelho, como mostra a figura seguinte, e produz uma imagem real, invertida e com altura $h = H/2$



Pode-se afirmar que a distância D é igual a

- A) 15,0 cm.
- B) 12,0 cm.
- C) 7,5 cm.
- D) 8,0 cm.
- E) 20,0 cm.

- 07.** (USF-SP-2016) Em um número de ilusionismo, um mágico projetou na parede do teatro a imagem de uma lagartixa quatro vezes maior, assustando os espectadores. Para isso, ele usou um espelho esférico que se encontrava a 12 m da parede. O tipo de espelho esférico utilizado e o módulo do raio de curvatura do espelho são, respectivamente,
- A) convexo; 2,4 m. D) côncavo; 4,8 m.
 B) côncavo; 2,4 m. E) côncavo; 3,6 m.
 C) convexo; 4,8 m.

- 08.** (ULBRA-RS-2016) Um objeto está à frente de um espelho e tem sua imagem aumentada em quatro vezes e projetada em uma tela que está a 2,4 m do objeto, na sua horizontal. Que tipo de espelho foi utilizado e qual o seu raio de curvatura?
- A) Côncavo; 64 cm.
 B) Côncavo; 36 cm.
 C) Côncavo; 128 cm.
 D) Convexo; -128 cm.
 E) Convexo; 64 cm.

- 09.** (FGV) Ao estacionar seu carro, o motorista percebeu a projeção da imagem da pequena lâmpada acesa de um dos faroletes, ampliada em 5 vezes, sobre a parede vertical adiante do carro. Em princípio, o faroleta deveria projetar raios de luz paralelos, já que se tratava de um farol de longo alcance.



Percebeu, então, que o conjunto lâmpada-soquete tinha se deslocado da posição original, que mantinha a lâmpada a 10,0 cm da superfície espelhada do espelho esférico côncavo existente no farol. Considerando que o foco ocupa uma posição adiante do vértice do espelho, sobre o eixo principal, é possível concluir que, agora, a lâmpada se encontra a

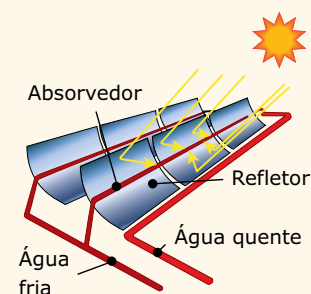
- A) 2,0 cm atrás do foco.
 B) 1,0 cm atrás do foco.
 C) 0,5 cm atrás do foco.
 D) 0,5 cm adiante do foco.
 E) 2,0 cm adiante do foco.

- 10.** (Mackenzie-SP) A imagem de um objeto que está a 40 cm de um espelho esférico côncavo tem a mesma altura do objeto. Colocando o objeto à grande distância do espelho, a sua imagem estará a
- A) 60 cm do espelho. D) 30 cm do espelho.
 B) 50 cm do espelho. E) 20 cm do espelho.
 C) 40 cm do espelho.

- 11.** (UESPI) Um lápis de altura 16 cm encontra-se diante de um espelho esférico convexo, com distância focal de valor absoluto 40 cm. A imagem do lápis tem a mesma orientação deste e altura igual a 3,2 cm. A que distância do espelho encontra-se o lápis?
- A) 10 cm. C) 40 cm. E) 160 cm.
 B) 20 cm. D) 140 cm.

SEÇÃO ENEM

- 01.** A energia solar, cada vez mais, vem sendo utilizada para substituir a energia obtida pela queima de combustíveis fósseis. Uma de suas aplicações está no uso de concentradores solares, dispositivos utilizados para o aquecimento de água e de óleo que posteriormente podem ser aproveitados para diversas finalidades. Um concentrador solar típico capta a energia solar que incide em um espelho cilíndrico côncavo e a concentra sobre um cano, no qual há água ou óleo. Considere que tal espelho seja esférico. A fotografia e o esquema de funcionamento do dispositivo estão mostrados a seguir. Observe que a energia solar que atinge o concentrador é refletida pelo espelho e se dirige para o cano absorvedor, por onde passam a água ou o óleo a serem aquecidos.



Preocupada com o aquecimento global, a diretoria de um grande clube esportivo decidiu instalar concentradores solares para aquecer a água de suas piscinas. Os projetos apresentados ofereciam duas alternativas:

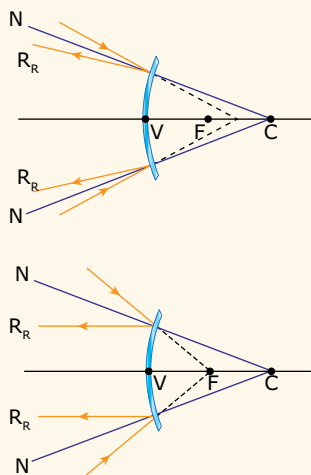
1. espelhos concentradores com vários painéis, totalizando 50 m de comprimento, possuindo distância focal de 2,0 m e canos transportadores de água com 1,0 cm de diâmetro;
2. espelhos concentradores com vários painéis, totalizando 50 m de comprimento, possuindo distância focal de 4,0 m e canos transportadores de água com 1,0 cm de diâmetro.

Considere que a distância do Sol à Terra seja 200 vezes o diâmetro do Sol, que a vazão de água pelos canos seja sempre constante e que os concentradores têm eficiência de 100%. Nas duas propostas apresentadas, há um dispositivo para girar o concentrador, de modo que a energia solar sempre chegue aos espelhos na direção do eixo principal, e os concentradores têm a mesma seção reta retangular, isto é, eles recebem a mesma quantidade de energia solar a cada instante.

Com o objetivo de conseguir o melhor aproveitamento da energia solar, de modo que a água seja aquecida o mais rapidamente possível, a diretoria do clube deve optar

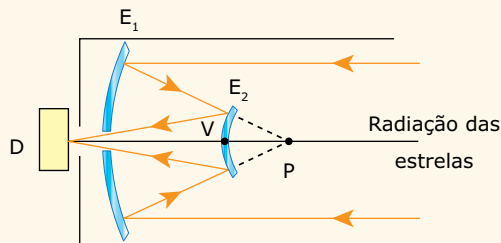
- A) pela alternativa 1 e exigir que o cano absorvedor fique a 1,0 m da linha central do concentrador.
- B) pela alternativa 1 e exigir que o cano absorvedor fique a 2,0 m da linha central do concentrador.
- C) pela alternativa 2 e exigir que o cano absorvedor fique a 1,0 m da linha central do concentrador.
- D) pela alternativa 2 e exigir que o cano absorvedor fique a 2,0 m da linha central do concentrador.
- E) por qualquer das alternativas, desde que o cano absorvedor fique a 1,0 m e a 2,0 m da linha central do concentrador, respectivamente, nas propostas 1 e 2.

02. De acordo com a óptica geométrica, quando uma imagem é formada pelo encontro de raios refletidos, ela é real. Caso seja formada por cruzamento de prolongamentos de raios refletidos, ela será virtual. As figuras a seguir mostram dois raios de luz que incidem em um espelho, de pequena abertura, convexo e de vértice V, centro de curvatura C e foco F. Como a normal N, no ponto de incidência, deve passar pelo centro C, os raios incidentes e refletidos obedecem à 2ª Lei da Reflexão (ângulos de incidência e reflexão congruentes).



O primeiro telescópio refletor – que usava espelhos em vez de lentes – foi inventado, em 1668, por Isaac Newton. Os grandes telescópios modernos possuem um grande espelho côncavo (E_1) capaz de captar a luz e os raios infravermelhos e ultravioletas emitidos por estrelas distantes. Esse espelho, que possui uma pequena abertura na parte central, reflete a radiação para outro espelho convexo (E_2), menor, que finalmente vai produzir a imagem que será gravada nos detectores de radiação (D).

A figura a seguir mostra os raios que incidem num telescópio com tais características. Este é o princípio básico de funcionamento do Hubble, o mais famoso dos telescópios atuais.



Como o astro observado está muito distante, a radiação emitida por ele chega ao telescópio paralelamente ao eixo comum dos espelhos. Observe que a luz refletida pelo espelho E_1 se dirige para o ponto P do espelho E_2 . Considere que V e f sejam, respectivamente, o vértice e a distância focal do espelho secundário (E_2). Dessa forma, a imagem formada nos detectores de radiação (D) será

- A) real, e, para que isso aconteça, VP deve ser menor que f.
- B) real, e, para que isso aconteça, VP deve ser maior que f.
- C) virtual, e, para que isso aconteça, VP deve ser maior que f.
- D) virtual, e, para que isso aconteça, VP deve ser menor que f.
- E) real, se VP for maior que f e virtual, se VP for menor que f.

GABARITO

Meu aproveitamento

Aprendizagem

Acertei _____ Errei _____

- 01. D
- 02. C
- 03. E
- 04. A
- 05. E
- 06. D
- 07. C
- 08. B

Propostos

Acertei _____ Errei _____

- 01. E
- 02. C
- 03. A
- 04. C
- 05. D
- 06. A
- 07. D
- 08. C
- 09. E
- 10. E
- 11. E

Seção Enem

Acertei _____ Errei _____

- 01. B
- 02. A

Total dos meus acertos: _____ de _____ . _____ %

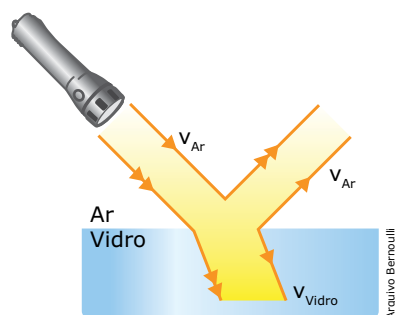
Refração da Luz

A velocidade com que a luz de determinada cor se propaga em um meio transparente é, na maioria das vezes, específica de cada meio. A refração é o fenômeno pelo qual a luz, ao passar de um meio de propagação para outro, diferente do primeiro, altera, necessariamente, o módulo de sua velocidade de propagação. Podemos enxergar um objeto através de uma substância transparente, como uma lente, uma placa de vidro ou uma porção de água, em decorrência da refração. Esse fenômeno é responsável pelo funcionamento das lentes, de alguns aparelhos de observação e de projeção e, também, pelo funcionamento dos instrumentos que usam a fibra óptica, para citar apenas alguns exemplos. O fenômeno de refração pode, também, explicar a formação e as cores de um arco-íris.

Já vimos que cada radiação luminosa (cor de luz) é caracterizada por uma frequência (f), e sabemos que um objeto vermelho, por exemplo, mantém a sua cor dentro de qualquer substância transparente. Assim, podemos inferir que a frequência da luz não é alterada quando esta sofre refração. Uma grandeza importante de cada onda luminosa é o comprimento de onda (λ). Para o estudo deste módulo, devemos saber, inicialmente, que o comprimento de onda (λ) da luz, dentro de certa substância, é inversamente proporcional à sua frequência (f).

Vamos considerar, por ora, que a luz é constituída de uma só radiação (única cor), ou seja, ela é monocromática. Alguns fenômenos só ocorrem com a presença de luz policromática (formada por radiações de várias cores) e, quando for o caso, isso será especificado.

A figura a seguir mostra a luz amarela de uma lanterna que incide em uma placa de vidro. Veja que parte da luz sofre reflexão (continua se propagando no ar) após atingir a superfície do vidro. Os feixes incidente e refletido apresentam a mesma velocidade de propagação (v_{Ar}).



Observe, ainda, que uma parcela da luz passa do ar para o vidro, ou seja, sofre refração. Dentro do vidro, a velocidade de propagação da luz (v_{Vidro}) é diferente da sua velocidade de propagação no ar.

A velocidade da luz no vácuo (c) é constante e possui o maior valor em relação a qualquer outro meio de propagação, sendo igual a, aproximadamente, $c = 3,0 \times 10^8$ m/s.

Dessa forma, quando a luz adentrar em uma substância qualquer, vinda do vácuo, a sua velocidade será reduzida. A grandeza que caracteriza a influência de determinado meio na redução da velocidade de propagação da luz, de certa frequência, é o **índice de refração absoluto (n)** da substância. Esse índice é definido como a razão entre as velocidades da luz no vácuo (c) e na substância (v), ou seja:

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

Conforme a definição, o índice de refração absoluto do vácuo é $n = 1$. A tabela a seguir mostra os valores aproximados da velocidade da luz e dos índices de refração absolutos de alguns meios (para a luz amarela do sódio). Os valores podem variar com as impurezas e com as misturas contidas no material e, para os fluidos, também com a temperatura.

Meio	Velocidade da luz (v)	Índice de refração absoluto (n)
Ar	$\cong 3,0 \cdot 10^8$ m/s	$\cong 1,0$
Água	$2,250 \cdot 10^8$ m/s	1,333
Vidro	$\cong 1,980 \cdot 10^8$ m/s	1,515
Diamante	$1,241 \cdot 10^8$ m/s	2,417
Rutilo	$1,073 \cdot 10^8$ m/s	2,795

Três conclusões importantes devem ser tiradas da definição e tabela anteriores.

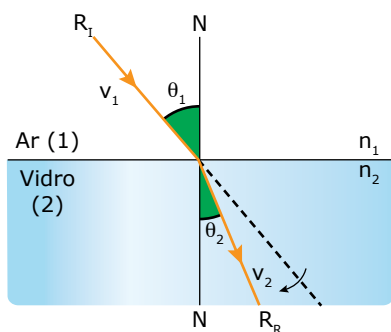
1. A velocidade da luz em qualquer meio (v) é **inversamente** proporcional ao índice de refração (n) desse meio, uma vez que a velocidade da luz no vácuo é constante.
2. O **ar** pode ser considerado como apresentando o **menor** índice de refração entre todas as substâncias. O seu valor ($n_{Ar} \cong 1,0$) é importante e deve ser conhecido.
3. O índice de refração (n) é um número adimensional (sem unidade de medição acompanhando seu valor numérico), uma vez que é a razão entre duas velocidades.

O índice de refração absoluto (n) de um meio indica o quanto a velocidade de propagação da luz é reduzida, em relação a seu valor no vácuo, quando a luz se propaga nesse meio. Considere uma substância de índice de refração $n = 3$. Isso quer dizer que a velocidade da luz nessa substância é três vezes menor que no vácuo. Ou seja, a velocidade será $v = 1,0 \cdot 10^8$ m/s.

É comum usar o termo “meio muito refringente” para expressar que o índice de refração de um meio apresenta um valor elevado. Para se referir a um meio cujo índice de refração seja pequeno, é usado o termo “meio pouco refringente”. Assim, o rutilo é o meio mais refringente entre aqueles listados na tabela anterior.

As leis da refração

Quando um feixe de luz incide em uma substância, ele sofre, na maioria das vezes, refração, reflexão e absorção. Neste módulo, vamos considerar apenas a refração da luz, quando esta incide sobre a superfície de separação de dois meios. Se a reflexão ou a absorção forem importantes para a situação em questão, isso será especificado. A figura a seguir mostra um raio de luz que passa do **ar** (meio 1) para o **vidro** (meio 2). Observe, nesse caso, que os raios incidente e refratado têm direções diferentes.



Na figura, temos, respectivamente:

- Ar (1) e vidro (2) – meios 1 e 2;
- R_1 e R_2 – raios incidente e refratado;
- v_1 e v_2 – velocidade da luz nos meios 1 e 2;
- θ_1 e θ_2 – ângulos de incidência e de refração (em relação à normal);
- N – reta normal (perpendicular à superfície no ponto de incidência da luz).

As leis que regem a refração são:

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

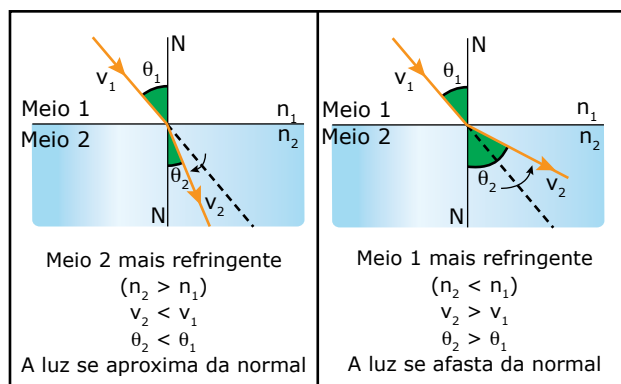
2ª: (Lei de Snell): Os ângulos formados pelos raios incidente e refratado com a reta normal (θ_1 e θ_2), os índices de refração (n_1 e n_2) e os módulos das velocidades de propagação (v_1 e v_2) nos meios 1 e 2, respectivamente, se relacionam pelas equações:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \text{ ou } \begin{cases} n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2 \\ v_2 \cdot \sin \theta_1 = v_1 \cdot \sin \theta_2 \end{cases}$$

Analisando as equações anteriores, verificamos que o seno do ângulo formado pelo raio de luz com a reta normal, em determinado meio, é proporcional à velocidade de propagação da luz nesse meio e inversamente proporcional ao índice de refração do respectivo meio. O seno de um ângulo agudo é tanto maior quanto maior for o ângulo em questão. Assim, podemos dizer que quanto maior o ângulo formado com a normal, maior a velocidade de propagação da luz e menor o índice de refração absoluto daquele meio. Na figura anterior, temos:

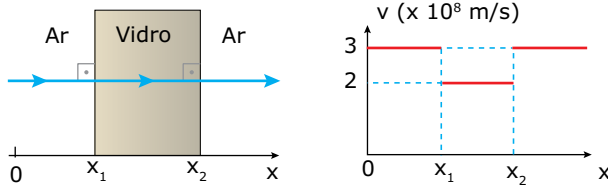
$$\theta_2 < \theta_1 \Rightarrow \begin{cases} v_2 < v_1 \\ n_2 > n_1 \end{cases}$$

A luz, ao sofrer refração, pode se **aproximar** ou se **afastar** da normal, dependendo dos meios envolvidos. Veja as figuras a seguir:



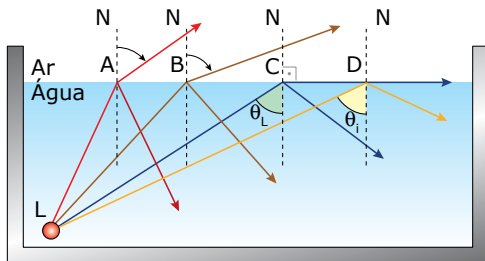
Um caso especial de refração ocorre quando $\theta_1 = 0^\circ$ (a luz incide perpendicularmente à superfície). Assim, a incidência ocorre sobre a normal, e a **luz se refrata sem sofrer desvio**. Em outras palavras, a luz transmitida muda de meio, altera o módulo de sua velocidade de propagação, porém não sofre o desvio mostrado na figura anterior. Vamos ilustrar essa situação através da figura a seguir. Ela mostra um raio de luz atravessando uma placa de vidro imersa no ar. O raio, ao entrar na placa de vidro ou ao sair dela, sofre refrações sem desvio, pois incidiu sempre perpendicularmente às superfícies de separação dos meios.

Veja, também, o gráfico da velocidade da luz em função da posição desta ao longo do trajeto.



REFLEXÃO TOTAL

Um fenômeno óptico muito útil é chamado **reflexão total**. Para entendê-lo, consideremos um recipiente largo contendo água. Uma pequena lâmpada L, que irradia luz monocromática, está afixada no canto inferior do recipiente, conforme mostrado na figura a seguir. As linhas pontilhadas representam as normais (N) nos pontos A, B, C e D. A figura mostra raios de luz em cores distintas para indicar ângulos de incidência diferentes. Observe que o raio **LA** (vermelho), ao incidir sobre a superfície de separação entre a água e o ar, sofre os fenômenos de reflexão e de refração. O raio refratado afasta-se da normal, pois o índice de refração do ar é menor que o da água. O mesmo fato ocorre com o raio incidente **LB** (marrom). Nesse caso, porém, o raio refratado afasta-se da normal de forma mais acentuada do que o raio **LA**. Isso ocorre porque, de acordo com a Lei de Snell, quanto maior for o ângulo de incidência, maior será o ângulo de refração.



Existe um raio **LC** (azul), cujo ângulo de incidência θ_L , chamado de **ângulo limite**, é o maior ângulo para o qual ainda ocorre o fenômeno de refração. Observe a figura com atenção e veja que o raio refratado em C se propaga no ar, porém, rasante à superfície da água. Assim, o ângulo de refração é 90° .

Qualquer raio que incida da água para o ar com um ângulo de incidência (θ_i) maior que θ_L será totalmente refletido pela interface água-ar, como aconteceu com o raio **LD** (alaranjado). Por isso, dizemos que esse raio sofreu reflexão total. É importante que você perceba a condição de existência do ângulo limite e, portanto, da reflexão total. Para tal, é necessário que a luz esteja se propagando em uma substância de índice de refração **maior**, na qual a velocidade da luz é **menor** (mais refringente), e se dirija a outro meio de índice de refração **menor**, onde a velocidade da luz é **maior** (menos refringente). Para ocorrer a reflexão total, é necessário, além disso, que o ângulo de incidência (θ_i) seja maior que o ângulo limite (θ_L).

Podemos determinar o seno do ângulo limite θ_L (e, assim, o ângulo limite) entre um meio mais refringente (índice de refração n_1 , maior) e outro menos refringente (índice de refração n_2 , menor) utilizando a Lei de Snell:

$$n_1 \cdot \text{sen } \theta_1 = n_2 \cdot \text{sen } \theta_2 \Rightarrow n_1 \cdot \text{sen } \theta_L = n_2 \cdot \text{sen } 90^\circ \Rightarrow$$

$$n_1 \cdot \text{sen } \theta_L = n_2 \cdot 1 \Rightarrow \text{sen } \theta_L = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_{\text{menor}}}{n_{\text{maior}}}$$

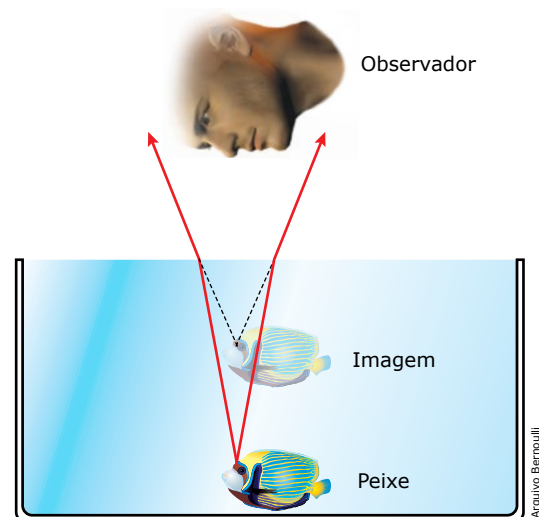
No que diz respeito às velocidades de propagação, a equação anterior pode ser escrita como:

$$v_2 \cdot \text{sen } \theta_L = v_1 \cdot \text{sen } 90^\circ \Rightarrow \text{sen } \theta_L = \frac{v_1}{v_2} = \frac{v_{\text{menor}}}{v_{\text{maior}}}$$

APLICAÇÕES DA REFRAÇÃO E DA REFLEXÃO TOTAL

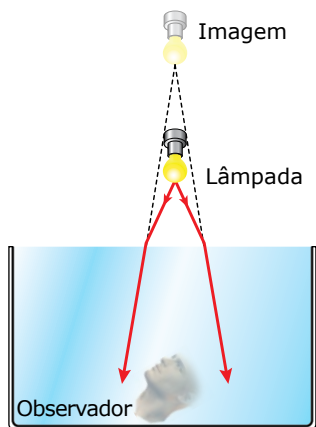
Formação de imagem por refração

Imagine um aquário com água cristalina e um peixe próximo ao fundo. Se olhar o aquário por cima, próximo à vertical em que se encontra o objeto (peixe), você não o verá. No entanto, será vista uma imagem virtual do objeto, **acima** de sua posição real (mais **perto** do observador), conforme mostrado a seguir:



Veja que os dois raios de luz que partem do peixe afastam-se da normal (não mostrada na figura) ao passar da água para o ar. Prolongando os raios refratados, encontramos a posição na qual nosso sistema óptico formará a imagem do peixe (figura fora de escala).

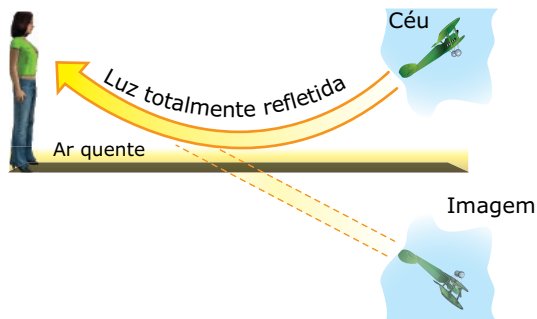
Agora, imagine que você está mergulhado na água de uma piscina. Se olhar uma lâmpada, por exemplo, fora dela, você não verá a lâmpada, mas uma imagem virtual dela **acima** de sua posição real (mais **longe** do observador), conforme mostrado a seguir (figura fora de escala).



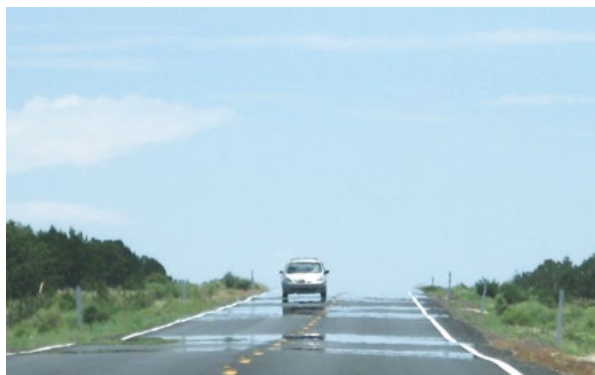
Os raios de luz emitidos pela lâmpada, em direção ao observador, que está dentro da água, aproximam-se da normal (não mostrada na figura) ao entrarem na água. Note que a luz que chega ao observador é divergente e que a imagem é formada no ponto em que os prolongamentos dos raios refratados se encontraram. Fenômeno análogo ocorre quando percebemos a imagem de uma estrela vista aqui da Terra (chamada de “posição aparente” da estrela). Devido ao fenômeno de refração, a imagem é observada acima da posição real da estrela.

Aplicações da reflexão total

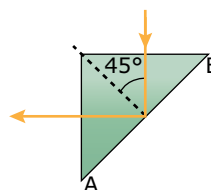
Agora, vamos entender o fenômeno da “estrada molhada” e da formação de imagens pelo asfalto, que acontece nos dias muito quentes, por exemplo. Nessas condições, a película de ar em contato com o asfalto está a uma temperatura muito alta (a luz se propaga com maior velocidade), e o ar acima dela está mais frio (a luz se propaga com menor velocidade). Vimos que pode ocorrer reflexão total quando a luz vai de uma região de menor velocidade para outra de maior velocidade. A luz que se propaga em direção ao solo aumenta de velocidade, pois o ar é rarefeito, e sofre reflexão total ao incidir sobre as camadas de ar mais quentes, desviando-se. Para o cérebro humano, a luz sempre se desloca em linha reta. Assim, é sensato para um observador interpretar que essa luz está sendo refletida por uma poça de água existente no solo. Porém, na verdade, a luz alterou sua trajetória e a “água” nada mais é do que a imagem do céu. A figura a seguir mostra raios de luz sofrendo reflexão total em uma película de ar em contato com uma pista quente:



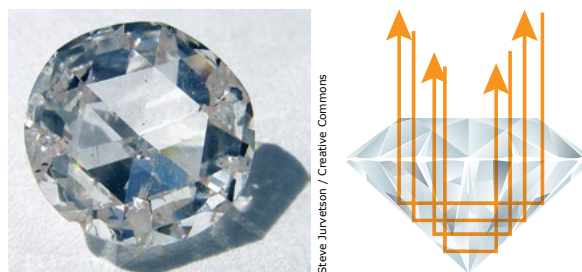
Isso explica a visão de água que os viajantes têm no deserto, por exemplo. A fotografia a seguir mostra a imagem do carro no asfalto formada pela reflexão total que ocorre no ar aquecido próximo ao asfalto.



Outra aplicação da reflexão total é o prisma de reflexão. A figura a seguir representa um prisma de vidro de base triangular, apresentando dois ângulos internos iguais a 45° . Os índices de refração do vidro e do ar são iguais a 1,5 e 1,0, respectivamente. Assim, o seno do ângulo limite, entre o ar e o vidro, é $\text{sen } \theta_L = 1,0 / 1,5 = 0,667$. Consultando a tabela trigonométrica, encontraremos um ângulo limite $\theta_L \cong 42^\circ$. Por isso, todo raio que incide perpendicularmente às laterais do prisma, conforme representado na figura, sofre reflexão total ao atingir a face **AB**.

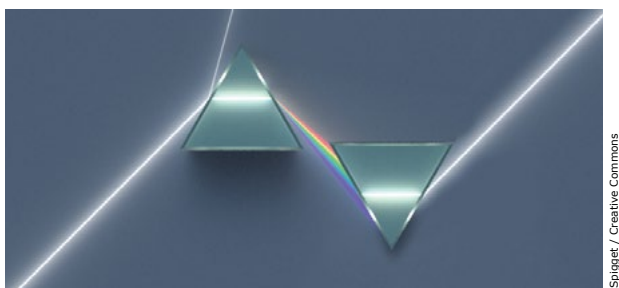


Um diamante lapidado se comporta como um prisma de reflexão total. Ele apresenta um brilho característico devido às várias reflexões totais da luz que ocorrem em seu interior. Veja a seguir.

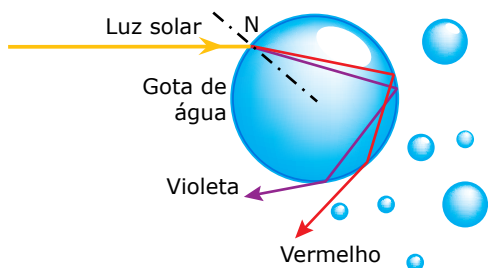


O prisma de reflexão total é muito utilizado em dispositivos ópticos como binóculos e periscópios. Isso se deve ao fato de a face **AB** do prisma se comportar como um espelho plano, refletindo totalmente grande parte da luz. As figuras a seguir mostram, de forma esquemática, o trajeto da luz através de um binóculo e de um periscópio de submarino, bem como a reflexão total nos respectivos prismas.

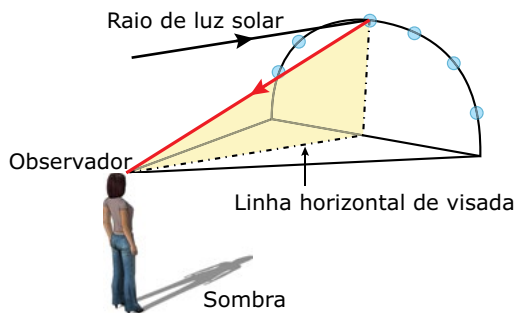
Veja a fotografia a seguir.



A formação do arco-íris envolve a combinação de vários fenômenos ópticos já estudados. Observe que um arco-íris somente é visível quando o Sol está às nossas costas. Portanto, os raios de luz do Sol que atingem nossos olhos estão sendo refletidos por gotas de água dispersas na atmosfera. Veja, a seguir, a trajetória da luz branca (luz policromática emitida pelo Sol) e das radiações coloridas dispersas em uma gota de água. Nesta figura, com o objetivo de simplificar, foram desenhadas apenas as cores vermelha e violeta. As demais cores se distribuem entre as duas citadas. A luz branca, ao incidir sobre a gota, sofre uma refração e, conseqüentemente, se dispersa. No lado direito da gota, a luz sofre uma reflexão total e, posteriormente, ao sair para o ar, a luz sofre uma segunda refração.



O ângulo entre a luz refletida pela gota e a linha horizontal de visada deve ser sempre o mesmo para determinada cor. Veja a figura a seguir. Se você girar o triângulo destacado em torno da linha horizontal de visada, o seu vértice superior descreve um arco de círculo, conforme mostrado. As gotas que ocupam esse arco, e apenas elas, refletem a luz vermelha, por exemplo, para os olhos do observador. Por esse motivo, o arco-íris tem a forma de um arco.



Veja a seguir a fotografia de um arco-íris.



CONTEÚDO NO Bernoulli Play

Refração da luz

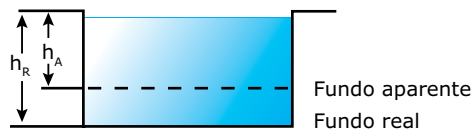
A velocidade com que a luz de uma determinada frequência se propaga é específica para cada meio. Esse objeto de aprendizagem permite que você realize diferentes experimentos virtuais modificando o ângulo de incidência e o índice de refração do vidro. Tente compreender os valores numéricos apresentados utilizando a Lei de Snell. Verifique o ângulo crítico para ocorrer reflexão interna total para meios com diferentes índices de refração.



EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

01. Alice, após a aula de refração, foi ao clube e, estando ao lado da piscina, olha verticalmente para o fundo dela. Alice percebe que o fundo parece estar mais perto dela do que encontra-se na realidade. A piscina tem 4,0 m de profundidade e está cheia de água. O índice de refração da água é $n_A = 4/3$. Determinar a profundidade aparente da piscina.

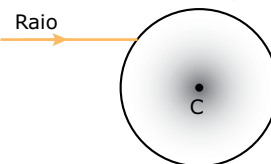
Resolução:



Sabemos que a imagem de um objeto mergulhado na água parece mais próxima da superfície do que realmente está. Assim, a imagem do fundo da piscina (fundo aparente) está mais perto de Alice do que o fundo real, conforme mostrado na figura. A relação entre as profundidades aparente (h_A) e real (h_R) é dada pela relação entre o menor e o maior índice de refração dos meios, ou seja:

$$\frac{h_A}{h_R} = \frac{n_{\text{menor}}}{n_{\text{maior}}} \Rightarrow \frac{h_A}{h_R} = \frac{n_{\text{ar}}}{n_{\text{água}}} \Rightarrow \frac{h_A}{4,0} = \frac{1,0}{4/3} \Rightarrow h_A = 3,0 \text{ m}$$

02. Um raio de luz monocromática incide numa "gota" de vidro, de centro C, conforme mostrado na figura a seguir.

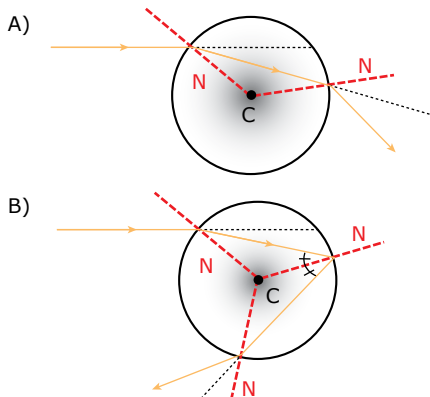


Determinar as trajetórias dos raios de luz que emergem da gota após

- A) duas refrações.
- B) uma refração, uma reflexão interna e outra refração.

Resolução:

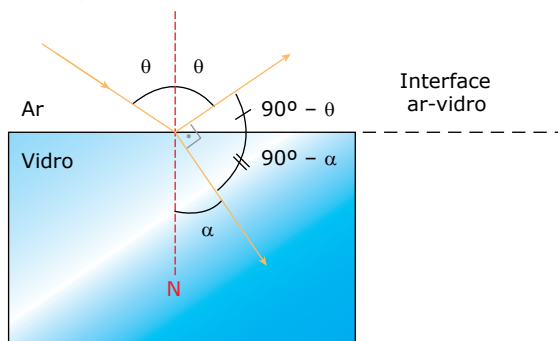
A normal, em qualquer ponto da superfície da gota, deve, necessariamente, passar pelo centro C dessa gota. Se a luz vai do ar para o vidro ($n_v > n_{Ar}$), ela deve se aproximar da normal e, quando sai do vidro para o ar, deve se afastar da normal. Assim, temos:



Observação: As figuras foram desenhadas separadas com o objetivo de tornar clara a solução. Na realidade, os dois raios emergentes podem existir simultaneamente.

- 03.** Um raio de luz monocromática, vindo do ar, incide numa placa de vidro ($n_v = 1,5$), sofrendo reflexão e refração. Determinar o ângulo de incidência (θ) para que os raios refletido e refratado formem um ângulo de 90° .

Resolução:



Observe a figura anterior. Lembre-se de que

- a normal (N) forma 90° com a interface ar-vidro;
- o ângulo de reflexão (θ) é igual ao de incidência (θ);
- os ângulos entre os raios refletido e refratado com a interface ar-vidro são complementares de θ e α , respectivamente;
- de acordo com a trigonometria, o seno de um ângulo é igual ao cosseno do seu complemento.

Assim, com base na figura e na Lei de Snell, temos:

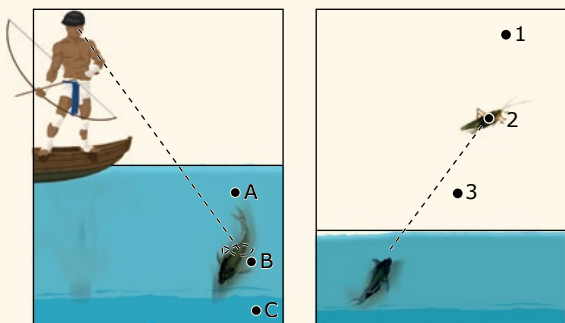
- $90^\circ = (90^\circ - \theta) + (90^\circ - \alpha) \Rightarrow \alpha = 90^\circ - \theta$ (α e θ são complementares) $\Rightarrow \text{sen } \alpha = \text{cos } \theta$;
- $n_{Ar} \cdot \text{sen } \theta = n_v \cdot \text{sen } \alpha \Rightarrow 1,0 \cdot \text{sen } \theta = 1,5 \cdot \text{cos } \theta \Rightarrow \text{tg } \theta = 1,5$.

Consultando a tabela trigonométrica, temos que $\theta = 56,3^\circ$.

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



- 01.** (UNIFESP) Um raio de luz monocromática provém de um meio mais refringente e incide na superfície de separação com outro meio menos refringente. Sendo ambos os meios transparentes, pode-se afirmar que esse raio,
- A) dependendo do ângulo de incidência, sempre sofre refração, mas pode não sofrer reflexão.
 - B) dependendo do ângulo de incidência, sempre sofre reflexão, mas pode não sofrer refração.
 - C) qualquer que seja o ângulo de incidência, só pode sofrer refração, nunca reflexão.
 - D) qualquer que seja o ângulo de incidência, só pode sofrer reflexão, nunca refração.
 - E) qualquer que seja o ângulo de incidência, sempre sofre refração e reflexão.
- 02.** (UECE-2016) Considere uma lâmpada emitindo luz monocromática sobre a superfície de um tanque com água. A luz que incide sobre a água se propaga até a superfície na forma de um cone com eixo perpendicular à água. Sendo o índice de refração da água superior ao do ar, pode-se afirmar corretamente que o cone de luz dentro da água
- A) terá a abertura aumentada.
 - B) não sofrerá alterações geométricas.
 - C) terá a abertura diminuída.
 - D) será um feixe cilíndrico.
- 03.** (UFU-MG-2016) Um famoso truque de mágica é aquele em que um ilusionista caminha sobre a água de uma piscina, por exemplo, sem afundar. O segredo desse truque é haver, sob a superfície da água da piscina, um suporte feito de acrílico transparente, sobre o qual o mágico se apoia, e que é de difícil detecção pelo público. Nessa situação, o acrílico é quase transparente porque
- A) seu índice de refração é muito próximo ao da água da piscina.
 - B) o ângulo da luz incidente sobre ele é igual ao ângulo de reflexão.
 - C) absorve toda a luz do meio externo que nele é incidida.
 - D) refrata toda a luz que vem do fundo da piscina.
- 04.** (UFPA) Os índios amazônicos comumente pescam com arco e flecha. Já na Ásia e na Austrália, o peixe-arqueiro captura insetos, os quais ele derruba sobre a água, acertando-os com jatos disparados de sua boca. Em ambos os casos a presa e o caçador encontram-se em meios diferentes. As figuras a seguir mostram qual é a posição da imagem da presa, conforme vista pelo caçador, em cada situação.



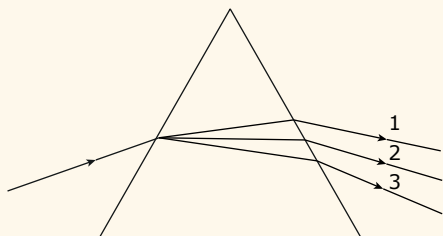
Identifique, em cada caso, em qual dos pontos mostrados, o caçador deve fazer pontaria para maximizar suas chances de acertar a presa.

- A) Homem em A; peixe-arqueiro em 1.
- B) Homem em A; peixe-arqueiro em 3.
- C) Homem em B; peixe-arqueiro em 2.
- D) Homem em C; peixe-arqueiro em 1.
- E) Homem em C; peixe-arqueiro em 3.

05. (UFRGS-RS-2016) Um feixe de luz branca incide em uma das faces de um prisma de vidro imerso no ar. Após atravessar o prisma, o feixe emergente exibe um conjunto de raios de luz de diversas cores.



Na figura a seguir, estão representados apenas três raios correspondentes às cores azul, verde e vermelha.



A partir dessa configuração, os raios 1, 2 e 3 correspondem, respectivamente, às cores

- A) vermelha, verde e azul.
- B) vermelha, azul e verde.
- C) verde, vermelha e azul.
- D) azul, verde e vermelha.
- E) azul, vermelha e verde.

06. (Unioeste-PR) Um periscópio, usado nos submarinos para observar o cenário acima do nível da água, poderia ser construído por dois prismas dispostos como na figura a seguir. Em relação a este periscópio, qual das afirmativas a seguir está correta?



- A) A imagem produzida é direita, os raios de luz provenientes do objeto sofrem duas refrações e duas reflexões totais.
- B) A imagem produzida é direita, os raios de luz provenientes do objeto sofrem quatro refrações e duas reflexões.
- C) A imagem produzida é direita, os raios de luz provenientes do objeto sofrem quatro refrações e duas reflexões totais.
- D) A imagem produzida é invertida, os raios de luz provenientes do objeto sofrem duas refrações e quatro reflexões totais.
- E) A imagem produzida é invertida, os raios de luz provenientes do objeto sofrem quatro refrações e duas reflexões totais.

07. (PUC Rio) Um feixe luminoso se propagando no ar incide em uma superfície de vidro. Calcule o ângulo que o feixe refratado faz com a normal à superfície sabendo que o ângulo de incidência θ , é de 60° e que os índices de refração do ar e do vidro, n_{ar} e n_{vidro} são respectivamente 1,0 e $\sqrt{3}$.



- A) 30° .
- B) 45° .
- C) 60° .
- D) 73° .
- E) 90° .

08. (UFMG) Um arco-íris forma-se devido à dispersão da luz do Sol em gotas de água na atmosfera. Após incidir sobre gotas de água na atmosfera, raios de luz são refratados; em seguida, eles são totalmente refletidos e novamente refratados. Sabe-se que o índice de refração da água para a luz azul é maior que para a luz vermelha. Considerando essas informações, assinale a alternativa em que estão melhor representados os fenômenos que ocorrem em uma gota de água e dão origem a um arco-íris.

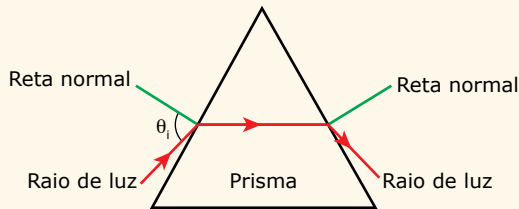


- A) Luz branca
- B) Luz branca
- C) Luz branca
- D) Luz branca

EXERCÍCIOS PROPOSTOS



01. (Unesp) Considere um raio de luz monocromático de comprimento de onda λ , que incide com ângulo θ_1 em uma das faces de um prisma de vidro que está imerso no ar, atravessando-o como indica a figura.



Sabendo que o índice de refração do vidro em relação ao ar diminui com o aumento do comprimento de onda do raio de luz que atravessa o prisma, assinale a alternativa que melhor representa a trajetória de outro raio de luz de comprimento $1,5\lambda$, que incide sobre esse mesmo prisma de vidro.

- A)
- B)
- C)
- D)
- E)

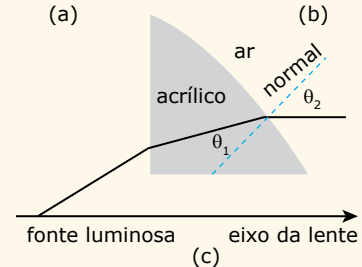
02. (UPF-RS-2018) Conta a história que Isaac Newton, trabalhando no polimento de algumas peças de vidro, conseguiu obter um prisma triangular, o qual utilizou para a sua famosa experiência da dispersão da luz branca, ilustrada na figura a seguir.



Utilizando-se da palavra latina *spectrum*, ele descreveu o conjunto de cores que resultou dessa dispersão da luz branca ao atravessar o prisma. A explicação para o observado por Newton encontra-se associada ao fato de que cada cor que compõe o *spectrum* sofre um desvio diferente em virtude

- A) da sua polarização.
- B) da sua difusão.
- C) do seu índice de refração.
- D) da sua velocidade no vácuo.
- E) da sua interferência.

03. (Unicamp-SP-2018) Uma lente de Fresnel é composta por um conjunto de anéis concêntricos com uma das faces plana e a outra inclinada, como mostra a figura (a). Essas lentes, geralmente mais finas que as convencionais, são usadas principalmente para concentrar um feixe luminoso em determinado ponto, ou para colimar a luz de uma fonte luminosa, produzindo um feixe paralelo, como ilustra a figura (b). Exemplos desta última aplicação são os faróis de automóveis e os faróis costeiros. O diagrama da figura (c) mostra um raio luminoso que passa por um dos anéis de uma lente de Fresnel de acrílico e sai paralelamente ao seu eixo. Se $\text{sen}(\theta_1) = 0,5$ e $\text{sen}(\theta_2) = 0,75$, o valor do índice de refração do acrílico é de



- A) 1,50.
- B) 1,41.
- C) 1,25.
- D) 0,66.

04. (UNISC-RS-2015) Uma luz monocromática verde e uma luz monocromática violeta propagam-se em um tipo de vidro com velocidades de $1,970 \cdot 10^8$ m/s e $1,960 \cdot 10^8$ m/s, respectivamente. Considerando que a velocidade da luz no vácuo é de $3,0 \cdot 10^8$ m/s, a relação entre o índice de refração do vidro para a luz verde (n_A) e o índice de refração do vidro para a luz violeta (n_B) será:

- A) $n_A = n_B$ C) $n_A < n_B$ E) $n_A > n_B$
 B) $n_A \leq n_B$ D) $n_A \geq n_B$

05. (UFRR-2015) Em um experimento, temos uma placa de vidro que é atravessada por um feixe de luz. Nesta placa de vidro, em especial, a velocidade da luz é $2,5 \cdot 10^8$ m/s. Considerando a velocidade da luz no vácuo como sendo igual a $3,0 \cdot 10^8$ m/s, marque a alternativa que corresponde ao índice de refração do vidro neste experimento.

- A) 7,5 C) 1,2 E) 5,5
 B) 1,5 D) 0,83

06. (PUC-SP-2015) O dióxido de titânio (TiO_2) é o pigmento branco mais importante usado na indústria de polímeros. Ele está comercialmente disponível em duas formas do cristal: rutilo e anatásio.



Os pigmentos de rutilo são preferidos porque dispersam de forma mais eficiente a luz, são mais estáveis e possuem um elevado índice de refração absoluto (2,73). Em geral, quanto maior a diferença entre o índice de refração de um pigmento e o da matriz de polímeros na qual é disperso, maior é a dispersão da luz. Determine a velocidade aproximada de um raio de luz, com velocidade de $3,00 \cdot 10^8$ m.s⁻¹ no vácuo, ao atravessar um pigmento de rutilo.

- A) $1,09 \cdot 10^8$ m.s⁻¹ D) $8,19 \cdot 10^8$ m.s⁻¹
 B) $1,09 \cdot 10^{-8}$ m.s E) $8,19 \cdot 10^{-8}$ m.s
 C) $3,00 \cdot 10^8$ m.s⁻¹

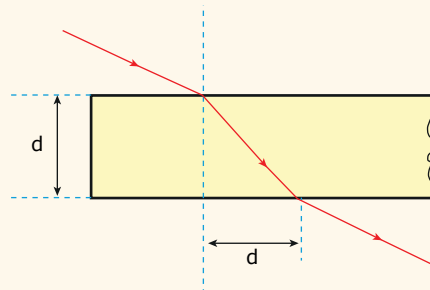
07. (PUC RS) O efeito causado pela incidência da luz solar sobre um vidro, dando origem a um feixe colorido, é conhecido como dispersão da luz branca. Este fenômeno é resultado da refração da luz ao atravessar meios diferentes, no caso, do ar para o vidro. Na superfície de separação entre os dois meios, a luz sofre um desvio em relação à direção original de propagação desde que incida no vidro em uma direção diferente da direção normal à superfície. A tabela a seguir informa os índices de refração de um tipo de vidro para algumas das diferentes cores que compõem a luz branca.

Cor	Índice de refração do vidro relativo ao ar
Vermelho	1,513
Verde	1,517
Amarelo	1,519
Azul	1,528
Violeta	1,532

A partir das informações e da tabela apresentadas, em relação a um raio de luz branca proveniente do ar que incide no vidro, é correto afirmar que

- A) as cores são percebidas porque o vidro apresenta aproximadamente o mesmo índice de refração para todas elas.
 B) há a predominância da luz verde porque o índice de refração do vidro para essa cor aproxima-se da média dos índices para todas as cores.
 C) a luz violeta é a que sofre menor desvio.
 D) a luz vermelha é a que sofre maior desvio.
 E) a luz azul sofre desvio maior do que a luz vermelha.

08. (FMP-RJ) A figura a seguir ilustra um raio monocromático que se propaga no ar e incide sobre uma lâmina de faces paralelas, delgada e de espessura d com ângulo de incidência igual a 60° . O raio sofre refração, se propaga no interior da lâmina e, em seguida, volta a se propagar no ar.



Se o índice de refração do ar é 1, então o índice de refração do material da lâmina é:

- A) $\frac{\sqrt{6}}{3}$
 B) $\frac{\sqrt{6}}{2}$
 C) $\frac{\sqrt{2}}{3}$
 D) $\sqrt{6}$
 E) $\sqrt{3}$

09. (UEPG-PR) O fenômeno da refração se caracteriza pelo fato da luz passar de um meio para outro. Sobre esse fenômeno, assinale o que for correto.



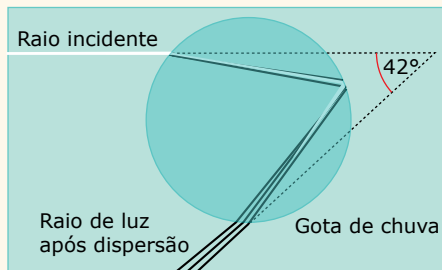
- 01. O desvio que um raio luminoso sofre ao passar de um meio para outro depende da frequência da luz.
- 02. Um raio luminoso refratado aproxima-se do normal para qualquer par de meios que se propague.
- 04. A luz se refrata integralmente quando atinge uma superfície de separação de dois meios transparentes.
- 08. Para qualquer ângulo de incidência um raio de luz monocromática tem propagação retilínea ao incidir sobre uma superfície de separação de dois meios transparentes.
- 16. A luz não sofre refração ao passar de um meio para outro, se os meios tiverem as mesmas propriedades físicas.

Soma ()

10. (UESPI) O arco-íris é um fenômeno ótico em que a luz do Sol é decomposta em seu espectro de cores (dispersão) pela interação com as gotas de chuva aproximadamente esféricas em suspensão na atmosfera. A figura a seguir mostra esquematicamente como isso ocorre no caso do arco-íris primário.

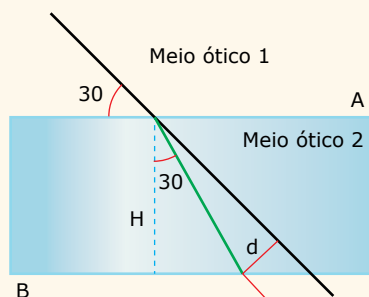


Nela encontram-se ilustradas



- A) duas refrações e uma reflexão.
- B) duas reflexões e uma refração.
- C) duas reflexões e duas refrações.
- D) três refrações.
- E) três reflexões.

11. (UNITAU-SP-2016) Um raio luminoso viaja no meio ótico 1 e atinge a superfície A, que divide os dois meios óticos da figura a seguir. Consequentemente, devido aos dois meios óticos serem totalmente distintos, o raio luminoso sofre uma refração, passando a viajar no meio ótico 2, que tem espessura H. Alcançando a superfície B, refrata mais uma vez, passando a viajar no meio ótico 1.

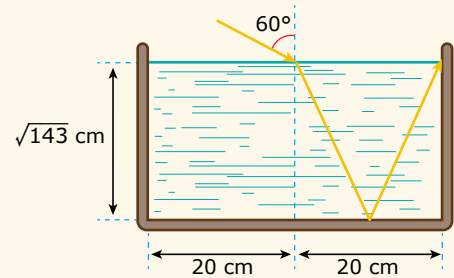


Dados: $\sin(30^\circ) = 1/2$ e $\cos(30^\circ) = \sqrt{3}/2$

Com relação à figura proposta, é correto afirmar que o desvio lateral d do raio incidente com o refratado é:

- A) $H/\sqrt{3}$
- B) $2H/\sqrt{3}$
- C) $H\sqrt{3}/2$
- D) $H\sqrt{3}$
- E) $H\sqrt{2}$

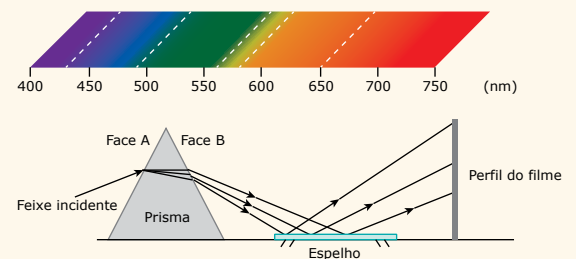
12. (IME-RJ) Um raio de luz monocromática incide em um líquido contido em um tanque, como mostrado na figura. O fundo do tanque é espelhado, refletindo o raio luminoso sobre a parede posterior do tanque exatamente no nível do líquido. O índice de refração do líquido em relação ao ar é



- A) 1,35.
- B) 1,44.
- C) 1,41.
- D) 1,73.
- E) 1,33.

SEÇÃO ENEM

01. (Enem-2018) A figura representa um prisma ótico, constituído de um material transparente, cujo índice de refração é crescente com a frequência da luz que sobre ele incide. Um feixe luminoso, composto por luzes vermelha, azul e verde, incide na face A, emerge na face B e, após ser refletido por um espelho, incide num filme para fotografia colorida, revelando três pontos.



Observando os pontos luminosos revelados no filme, de baixo para cima, constatam-se as seguintes cores:

- A) Vermelha, verde, azul.
- B) Verde, vermelha, azul.
- C) Azul, verde, vermelha.
- D) Verde, azul, vermelha.
- E) Azul, vermelha, verde.

02. (Enem) Uma proposta de dispositivo capaz de indicar a qualidade da gasolina vendida em postos e, conseqüentemente, evitar fraudes, poderia utilizar o conceito de refração luminosa. Nesse sentido, a gasolina não adulterada, na temperatura ambiente, apresenta razão entre os senos dos raios incidente e refratado igual a 1,4. Desse modo, fazendo incidir o feixe de luz proveniente do ar com um ângulo fixo e maior que zero, qualquer modificação no ângulo do feixe refratado indicará adulteração no combustível.

Em uma fiscalização rotineira, o teste apresentou o valor de 1,9. Qual foi o comportamento do raio refratado?

- A) Mudou de sentido.
- B) Sofreu reflexão total.
- C) Atingiu o valor do ângulo limite.
- D) Direcionou-se para a superfície de separação.
- E) Aproximou-se da normal à superfície de separação.

03. (Enem) Alguns povos indígenas ainda preservam suas tradições realizando a pesca com lanças, demonstrando uma notável habilidade. Para fisgar um peixe em um lago com águas tranquilas, o índio deve mirar abaixo da posição em que enxerga o peixe.

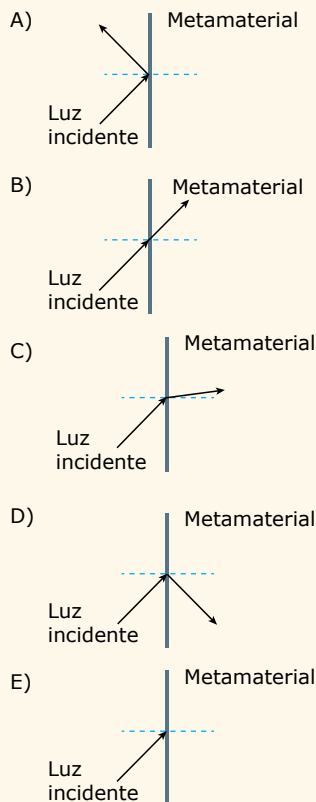
Ele deve proceder dessa forma porque os raios de luz

- A) refletidos pelo peixe não descrevem uma trajetória retilínea no interior da água.
- B) emitidos pelos olhos do índio desviam sua trajetória quando passam do ar para a água.
- C) espalhados pelo peixe são refletidos pela superfície da água.
- D) emitidos pelos olhos são espalhados pela superfície da água.
- E) refletidos pelo peixe desviam sua trajetória quando passam da água para o ar.

04. (Enem) Um grupo de cientistas liderado por pesquisadores do Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech), nos Estados Unidos, construiu o primeiro metamaterial que apresenta valor negativo do índice de refração relativo para a luz visível. Denomina-se metamaterial um material óptico artificial, tridimensional, formado por pequenas estruturas menores que o comprimento de onda da luz, o que lhe dá propriedades e comportamentos que não são encontradas em materiais naturais. Esse material tem sido chamado de "canhoto".

Disponível em: <<http://www.inivacaotecnologica.com.br>>. Acesso em: 28 abr. 2010 (Adaptação).

Considerando o comportamento atípico desse metamaterial, qual é a figura que representa a refração da luz ao passar do ar para esse meio?



GABARITO

Meu aproveitamento

Aprendizagem

Acertei _____ Errei _____

- 01. B
- 02. C
- 03. A
- 04. E
- 05. A
- 06. E
- 07. A
- 08. A

Propostos

Acertei _____ Errei _____

- 01. A
- 02. C
- 03. A
- 04. C
- 05. C
- 06. A
- 07. E
- 08. B
- 09. Soma = 25
- 10. A
- 11. A
- 12. A

Seção Enem

Acertei _____ Errei _____

- 01. A
- 02. E
- 03. E
- 04. D



Total dos meus acertos: _____ de _____ . _____ %

Lentes Esféricas

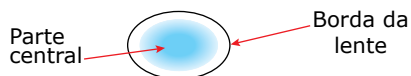
Uma lente, seja de vidro ou de qualquer outro material transparente, tem a função de refratar a luz, de modo a formar imagens dos objetos. Elas são usadas em dispositivos ópticos, tais como o olho humano, a máquina fotográfica, os óculos, o microscópio e muitos outros.

As figuras a seguir mostram alguns óculos. Observe que o formato das lentes, vistas de frente, depende apenas da armação na qual são usadas.

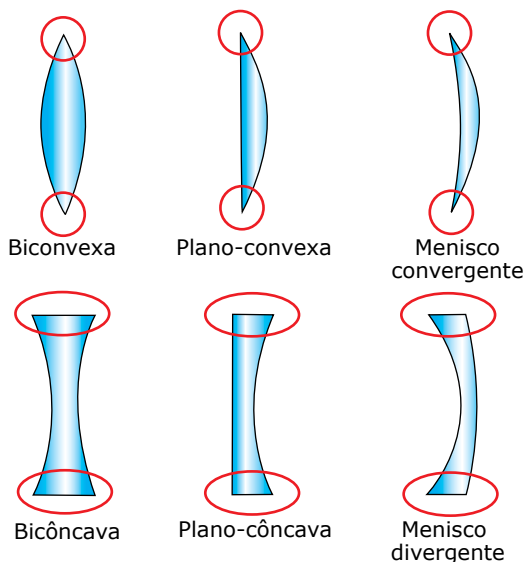


Imagens: iStockphoto

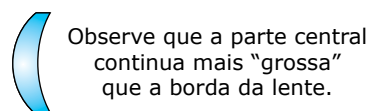
Imagine uma lente vista de frente. Ela possui uma borda e uma parte central. A figura a seguir mostra esses elementos. A parte central da lente está em destaque colorido. A borda da lente é mostrada na figura pela linha preta.



Se qualquer uma das lentes das figuras anteriores for vista de perfil, ou seja, se ela for colocada perpendicularmente a esta página, o formato das suas faces vai definir o tipo de lente em questão. Cada face de uma lente, quando olhada pela parte externa, pode ser plana, côncava ou convexa. Veja a seguir algumas lentes vistas de perfil e seus respectivos nomes. A borda de cada lente está em destaque, com linhas vermelhas.

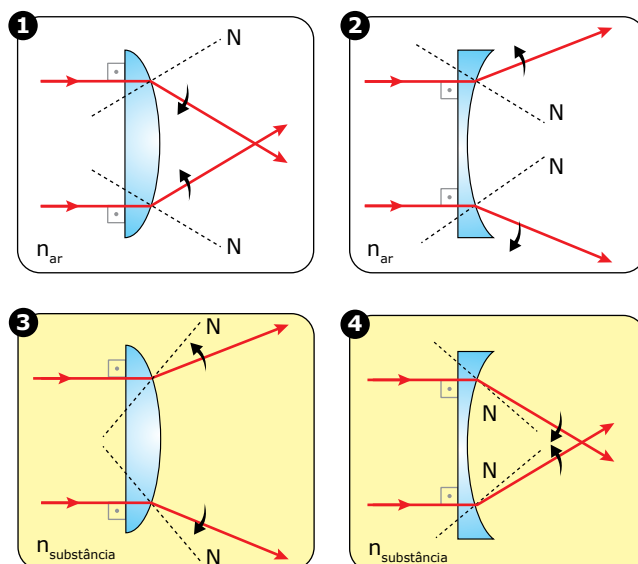


As três primeiras lentes mostradas têm bordas muito finas e podem quebrar com facilidade. Por isso, elas são aparadas nas bordas, de modo que tenham uma maior resistência mecânica no contato com a armação dos óculos. Assim, é importante você olhar a borda comparada com a parte central. Veja a seguir:



Observe que a parte central continua mais "grossa" que a borda da lente.

Vamos analisar o comportamento da luz que chega a uma lente. Veja as figuras a seguir. Em todas elas, a luz incide sobre a lente perpendicularmente à sua face plana e, por isso, penetra na lente sem sofrer desvio. Nas figuras, N representa a reta normal à superfície da lente no ponto em que a luz sai para o meio externo. As duas primeiras lentes (1 e 2) estão imersas no ar, que apresenta índice de refração menor que o da lente. Observe que a luz deve se afastar da normal (N) ao passar da lente para o ar. Dessa forma, a lente 1 converge os raios de luz, enquanto a lente 2 os diverge. Assim, podemos concluir que, quando imersas em substâncias de índice de refração **menor** que os seus, as lentes de bordas mais finas do que a parte central são **convergentes**, e as lentes de bordas mais largas que a parte central são **divergentes**.



Nas figuras 3 e 4, as lentes estão mergulhadas em uma substância que apresenta índice de refração maior que o da lente ($n_{\text{subst.}} > n_{\text{lente}}$). Dessa forma, a luz vai se aproximar da normal ao sair da lente para o meio externo. Olhe com atenção as figuras 3 e 4 e veja que as lentes inverteram as suas características em relação a seu uso em meios cujos índices de refração são menores que o da lente. Aquela de borda mais fina (3) está funcionando como lente divergente, e a de borda mais espessa (4) está convergindo a luz. Veja no quadro a seguir o resumo do comportamento das lentes.

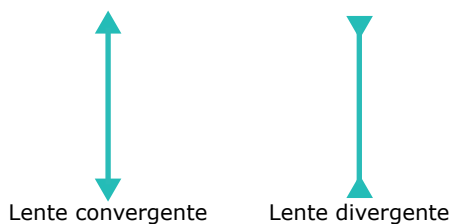
Lentes de bordas	Índices de refração	Funcionam como lentes
Finas	$n_{\text{lente}} > n_{\text{meio}}$	Convergentes
	$n_{\text{meio}} > n_{\text{lente}}$	Divergentes
Grossas	$n_{\text{lente}} > n_{\text{meio}}$	Divergentes
	$n_{\text{meio}} > n_{\text{lente}}$	Convergentes

Um caso particular a ser considerado ocorre se a lente e o meio em torno dela apresentam o mesmo índice de refração e ambos são transparentes. Nesse caso, não haverá refração quando a luz entra ou sai da lente (não existe mudança na velocidade da luz). Assim, os raios vão atravessar a lente sem sofrer qualquer desvio, e não é possível distinguir a lente do meio em que foi colocada. Dessa forma, ela ficará invisível dentro da substância.

Em nosso estudo, exceto quando for explicitado, vamos considerar os seguintes aspectos:

1. A lente é mais refringente que o meio no qual ela está imersa ($n_{\text{lente}} > n_{\text{meio}}$).
2. As lentes devem ter pequena espessura (delgadas). Por esse motivo, é usual traçar os raios como se eles refratassem, apenas uma vez, no meio da lente.
3. A luz que chega às lentes é monocromática.
4. A luz incide apenas na região central das lentes (formando pequenos ângulos com o eixo principal).
5. Os objetos serão sempre reais (colocados do lado oposto da lente em relação ao observador).

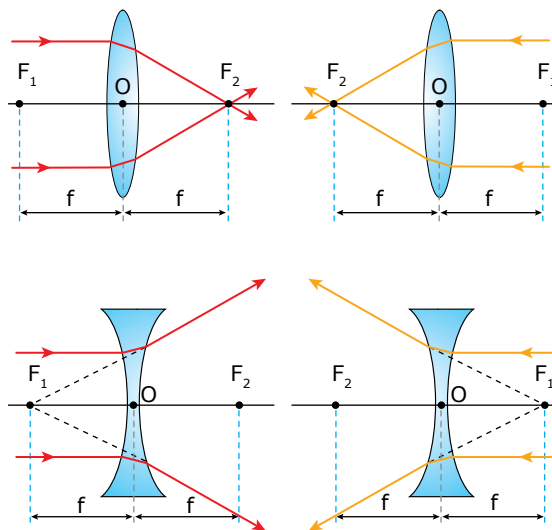
As lentes convergente e divergente costumam ser representadas pelos símbolos a seguir. Veja que a lente convergente é representada por uma dupla seta com as "pontas finas", e a lente divergente, por uma dupla seta com as "pontas largas". Não usaremos essa simbologia em nosso material.



ELEMENTOS PRINCIPAIS DE UMALENTE



Uma lente apresenta dois focos (F_1 e F_2), um de cada lado da lente e sempre equidistantes dela. Isso significa que qualquer lente esférica delgada pode ser usada de qualquer um dos seus lados. Vamos convencionar que o foco 1 está sempre do lado em que a luz incide na lente. O ponto central da lente é chamado de centro óptico e é representado pela letra O. A distância do foco ao centro óptico é a distância focal da lente (f). A linha que une os focos e o centro óptico da lente é o seu eixo principal. Comprove, pelas figuras a seguir, que os focos (e a distância focal) independem da região em que a luz incide sobre a lente.



Observe que os focos da lente convergente são os pontos para os quais convergem os raios que incidem sobre a lente paralelamente ao eixo óptico desta. Por isso, os focos das lentes convergentes são chamados de focos reais. Na lente divergente, os prolongamentos desses raios refratados pela lente definem os focos e, assim, estes são considerados virtuais.

RAIOS NOTÁVEIS NAS LENTES

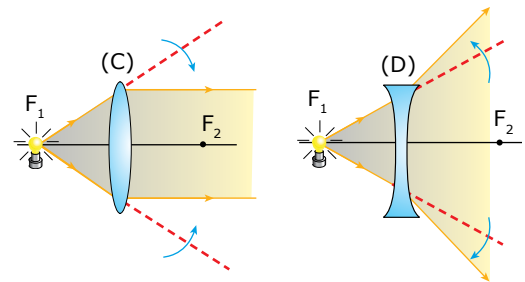
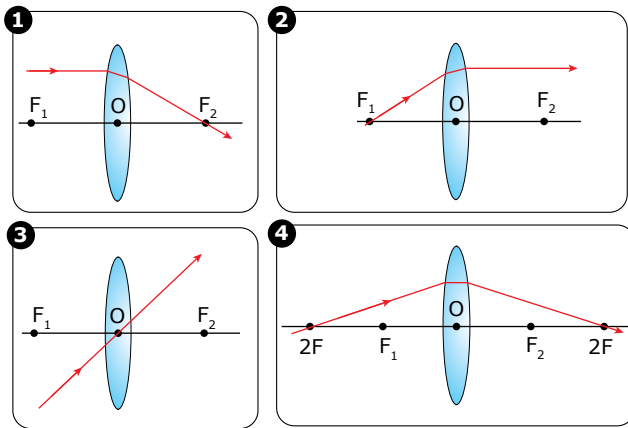


Lente convergente

Na lente convergente, existem dois pontos do eixo principal, cada um deles chamado de **ponto antiprincipal** ($2F$), cuja distância ao centro óptico da lente é igual a duas vezes a distância focal ($2f$). Podemos estabelecer uma analogia entre esses pontos e o centro de curvatura dos espelhos côncavos. Os raios de luz notáveis para esse tipo de lente são:

1. raio de luz que chega paralelo ao eixo principal e é refratado passando pelo foco 2;
2. raio de luz que chega passando pelo foco 1 e é refratado paralelamente ao eixo principal;
3. raio de luz que incide sobre a lente na direção do centro óptico (O) e atravessa a lente sem sofrer desvio;

4. raio de luz que incide sobre a lente passando pelo ponto antiprincipal ($2F$), atravessa a lente e é refratado em direção ao ponto $2F$, do outro lado desta.

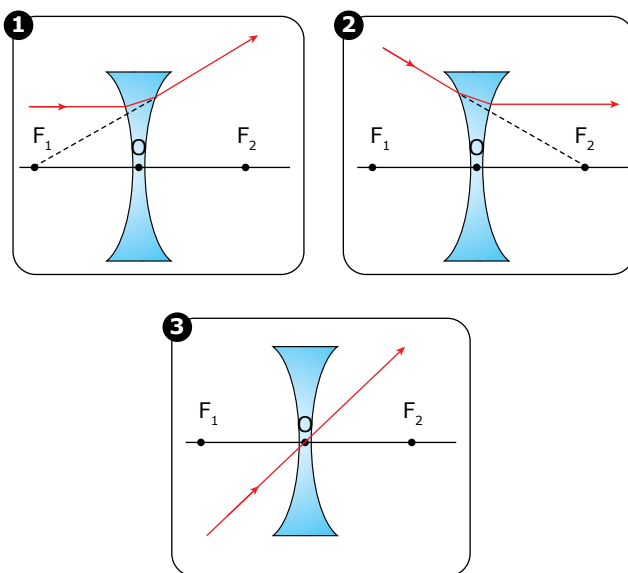


As linhas pontilhadas (vermelhas) representam o trajeto inicial dos raios extremos do feixe de luz. Após atravessar as lentes, os raios de luz se aproximam e se afastam (ainda mais) nas lentes C e D, respectivamente. Assim, as lentes C e D estão, respectivamente, convergindo e divergindo a luz. As setas azuis mostram o desvio sofrido por cada raio externo do feixe.

Lente divergente

Na lente divergente, é suficiente conhecer apenas três raios notáveis:

1. raio de luz que incide sobre a lente paralelamente ao eixo principal desta e é refratado de forma que seu prolongamento passe pelo foco 1;
2. raio de luz que incide sobre a lente na direção do foco 2 e é refratado paralelamente ao eixo principal desta;
3. raio de luz que incide sobre a lente na direção do centro óptico (O) e atravessa a lente sem sofrer desvio.



Atenção: Na lente divergente, **não** é conveniente traçar o raio incidente passando pelo foco 1, pois ele não é um raio notável.

Considere uma pequena lâmpada posicionada sobre o foco 1 de uma lente convergente (C) e, também, sobre o foco 1 de uma lente divergente (D). Veja a seguir.

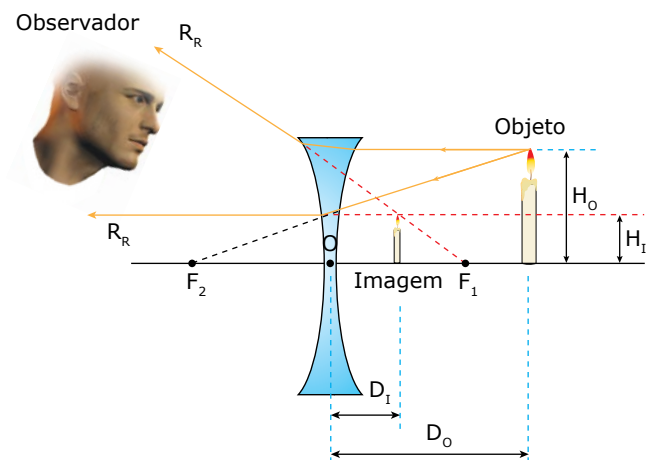
DETERMINAÇÃO GRÁFICA DAS IMAGENS



Em um espelho, a luz que incide sobre ele é refletida de volta ao mesmo lado de origem. Em uma lente, ao contrário, a luz que incide sobre ela a atravessa e é refratada para o outro lado. Essa diferença entre espelhos e lentes é a causa da distinta obtenção de imagens por meio deles.

Lente divergente

Uma lente divergente forma um tipo único de imagem, independentemente da posição do objeto em relação a ela. Veja a seguir.

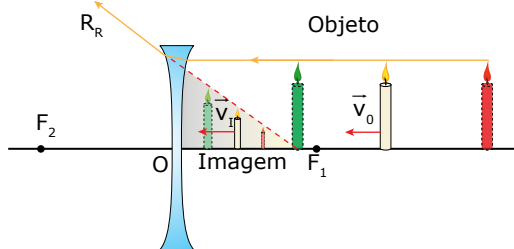


Observe que os raios refratados (R_R) pela lente são divergentes e não se cruzam. A imagem do objeto é obtida prolongando-se esses raios (pontilhados vermelhos). O observador tem a sensação de que os raios refratados saíram da "cabeça" da imagem. Assim, o observador vê a imagem na posição mostrada, e essa imagem é, **sempre**:

1. **virtual** (formada pelos prolongamentos dos raios refratados);
2. **direta** (objeto e imagem de cabeças para cima);
3. **mais perto** da lente do que o objeto ($D_I < D_O$);
4. **menor** que o objeto ($H_I < H_O$ e $L_I < L_O$);
5. posicionada **entre o foco 1** e **centro óptico** da lente (O);
6. **sem inversão** lateral e de profundidade.

Se o objeto se **aproxima** (ou se afasta) da lente, a imagem também se **aproxima** (ou se afasta). Veja a seguir que, para qualquer posição do objeto (mesmo **sobre o foco 1** da lente), o raio incidente, que é paralelo ao eixo, tem o mesmo raio refratado e o mesmo prolongamento. Dessa forma, a imagem estará sempre dentro do "triângulo" sombreado.

Assim, qualquer que seja a posição do objeto, ainda que muito distante da lente, a imagem dele estará sempre perto dela.

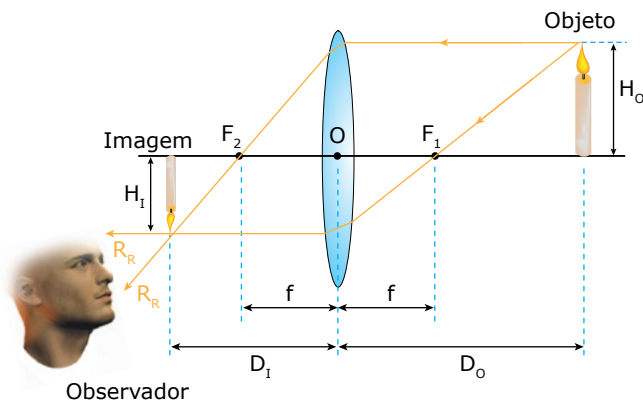


No caso de o objeto se colocar muito distante da lente ("infinito"), a sua imagem estará praticamente sobre o foco dela e será muito pequena.

Lente convergente

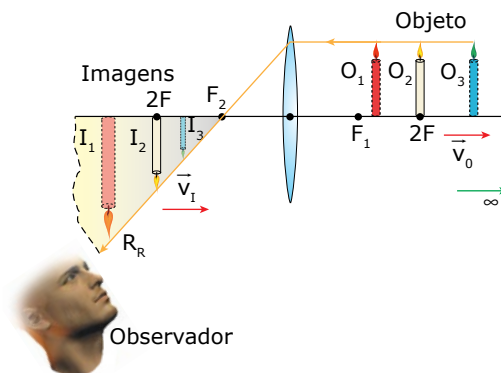
A lente convergente, ao contrário da divergente, pode formar diversos tipos de imagens, dependendo da posição do objeto em relação ao foco e em relação ao ponto antiprincipal. Assim, a imagem pode ser real ou virtual e pode ser maior, menor ou igual ao objeto. Veja os casos a seguir.

Objeto entre o infinito e o foco ($\infty > D_O > f$)



Observe, na figura anterior, que os próprios raios refratados se cruzam. Na posição de encontro deles, ocorre a formação de uma **imagem real** (nesse ponto, a luz está chegando realmente). Essa é a imagem da "cabeça" do objeto. Logo, a imagem é **invertida**, tanto vertical quanto lateralmente. Se houvesse uma folha de papel, por exemplo, na posição em que a imagem se forma, esta seria projetada sobre essa folha.

Se um objeto se **afasta** de uma lente convergente, a sua imagem real se **aproxima** dela, e vice-versa. A figura a seguir mostra um objeto colocado em alguns pontos além do foco de uma lente convergente ($D_O > f$). Em todas essas situações, a imagem é **real e invertida**. As únicas diferenças entre as imagens são referentes às dimensões e à localização destas. Em qualquer um dos casos, a imagem estará localizada dentro do "triângulo" destacado.

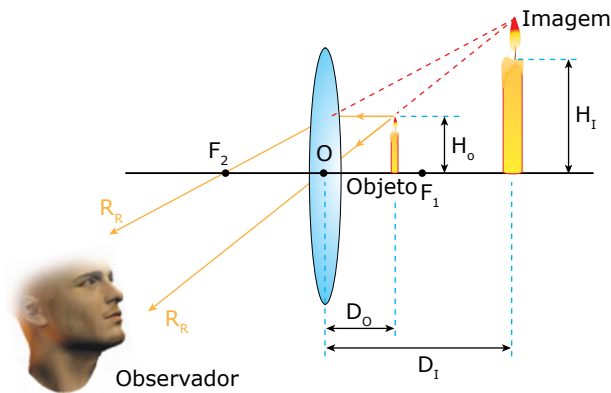


Veja a seguir as particularidades das imagens formadas por uma lente convergente. Compare com as imagens formadas por um espelho côncavo e observe que a natureza, a localização e as dimensões dessas imagens são idênticas. Lembre-se de que o ponto antiprincipal da lente (2F) equivale, no espelho côncavo, ao centro de curvatura.

Posição do objeto	Natureza, posição e dimensões da imagem
Entre 2F e F $2f > D_O > f$	Imagem real, invertida e localizada entre 2F e o infinito. $D_I > D_O$ e $H_I > H_O$ ($L_I > L_O$)
Sobre 2F $D_O = 2f$	Imagem real, invertida e localizada sob 2F. $D_I = D_O$ e $H_I = H_O$ ($L_I = L_O$)
Além de 2F $D_O > 2f$	Imagem real, invertida e localizada entre 2F e F_2 . $D_I < D_O$ e $H_I < H_O$ ($L_I < L_O$)

Todas essas imagens apresentam inversão lateral, mas não de profundidade. Uma situação particular ocorre para um objeto muito distante da lente ($D_O \gg 2f$). Nesse caso, dizemos que o objeto está no "infinito". A imagem formada pela lente convergente, nessa situação, é real, invertida, muito pequena e se localiza, praticamente, sobre o foco ($D_I \cong f$). Se você usa uma lente convergente para "queimar papel", você está projetando a imagem do Sol (que está no infinito) sobre a folha. Outra situação particular e interessante ocorre quando o objeto encontra-se sobre o foco da lente. Nessa situação, os raios refratados pela lente são paralelos, não se cruzam (nem os seus prolongamentos) e não ocorre a formação de imagem. Alguns autores consideram que nessa situação a imagem se forma no infinito e, por isso, ela é chamada de "imprópria".

Objeto entre o foco e o centro óptico da lente ($D_o < f$)

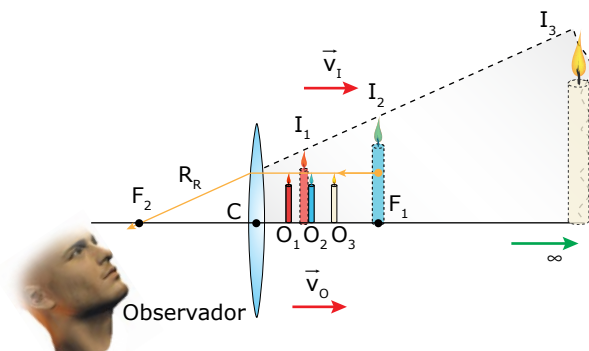


Observe na figura anterior que, quando o objeto se encontra entre o foco e o centro óptico da lente, os raios refratados por ela são divergentes e não se cruzam. A imagem se forma no ponto em que os prolongamentos dos raios refratados se encontram e, portanto, essa imagem é virtual. As características da imagem para tal posição do objeto são:

1. **virtual** (formada pelos prolongamentos dos raios refratados);
2. **direta** (não existe inversão vertical);
3. **sem inversão** lateral e de profundidade;
4. de dimensões (altura e largura) **maiores** que as do objeto ($H_i > H_o$ e $L_i > L_o$);
5. **mais distante** da lente que o objeto ($D_i > D_o$) e sempre do mesmo lado deste.

A situação representada na figura anterior tem uma aplicação importante e usual. Nesse caso, a lente é chamada de "lente de aumento" (ou **lupa**) e é muito usada para ampliar imagens de pequenos objetos. Para destacar uma informação dada no início do módulo, uma lupa pode ser usada, indistintamente, com qualquer uma das suas faces.

Na situação anterior, se o objeto se **afasta** da lente, aproximando-se do foco, a imagem também se **afasta** dela e tende ao infinito. Veja a seguir algumas posições das imagens formadas por uma lente convergente quando o objeto se desloca entre o centro óptico (C) e o foco 1 dessa lente. As imagens, virtuais, estão sempre dentro do "triângulo" destacado.

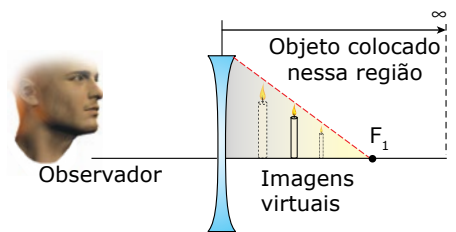
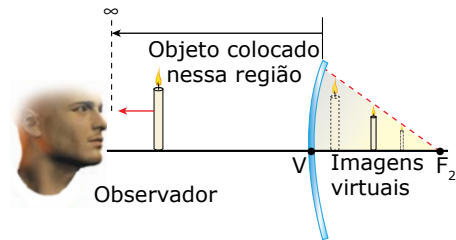


Veja com atenção as posições dos objetos (O_1, O_2 e O_3) e das correspondentes imagens (I_1, I_2 e I_3). Um fato importante deve ser destacado em relação à posição de cada imagem. Ela pode estar em qualquer posição entre o centro óptico da lente (C) e o infinito (∞). A única exigência, nessa situação, é de que a imagem esteja mais distante da lente do que o objeto ($D_i > D_o$).

Você deve ter notado que, para objetos reais, toda imagem **real** é **invertida** e qualquer imagem **virtual** é **direta**.

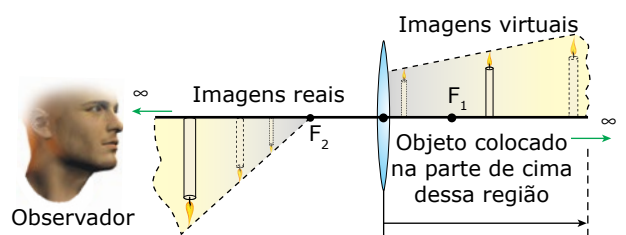
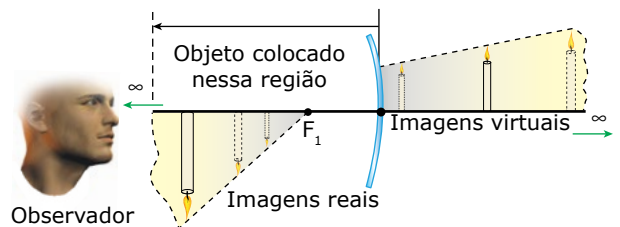
COMPARAÇÃO ENTRE ESPELHOS E LENTES

Vamos agora fazer uma comparação importante entre as imagens formadas por espelhos esféricos e aquelas formadas por lentes. Nas duas comparações a seguir, o objeto pode se deslocar do dispositivo óptico até o "infinito". Observe as figuras adiante e analise as imagens virtuais formadas pelo espelho côncavo e pela lente divergente.



Note que as imagens se localizam, exclusivamente, entre o elemento óptico e o seu foco (dentro dos triângulos destacados) e do lado oposto à posição do observador.

Veja, a seguir, as imagens reais e virtuais formadas por um espelho côncavo e por uma lente convergente.



Veja, nas figuras anteriores, que só não há formação de imagem entre o dispositivo óptico e o foco que está do lado do observador. O quadro a seguir resume essas conclusões.

Tipo de imagem	Posições nas quais se localizam as imagens na (o)	
	Lente	Espelho
Real	Do lado oposto ao objeto em relação à lente	Do mesmo lado que o objeto em relação ao espelho
Virtual	Do mesmo lado que o objeto em relação à lente	Do lado oposto ao objeto em relação ao espelho

Veja, ainda, que as imagens **reais**, formadas pelo espelho ou pela lente, estão sempre na mesma região que o observador. Já as imagens **virtuais** e o observador, seja no espelho ou na lente, estão em lados opostos do dispositivo óptico.



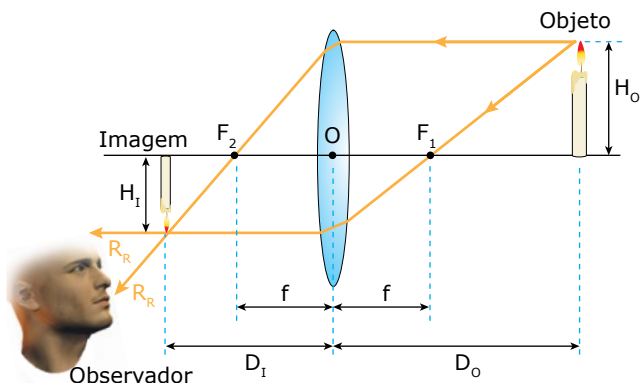
Lentes

Esse objeto de aprendizagem permite simular um tipo de lente convergente e um tipo de lente divergente, para que você veja, em tempo real, a imagem formada, de acordo com a posição em que o objeto se encontra e também os feixes de luz que formam essa imagem. Explore todas as opções disponíveis para melhorar sua experiência e adquirir mais conhecimento!



DETERMINAÇÃO ANALÍTICA DA IMAGEM

As relações entre as grandezas H_o e H_i (alturas do objeto e da imagem), D_o e D_i (distâncias do objeto e da imagem à lente) e f (distância focal), para as lentes, são obtidas da mesma forma que para os espelhos e, por isso, a sua demonstração será omitida. Considere a figura a seguir:



Essas relações, idênticas à dos espelhos, são:

$$A = \frac{H_i}{H_o} = \frac{|D_i|}{D_o} \quad \text{e} \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{D_o} + \frac{1}{D_i}$$

Na primeira equação,

1. se $A > 1$, a imagem é **maior** do que o objeto e está **mais longe** da lente do que o objeto;
2. se $A = 1$, a imagem é do **mesmo tamanho** do objeto e está na **mesma distância** do objeto à lente;
3. se $A < 1$, a imagem é **menor** do que o objeto e está **mais perto** da lente do que o objeto.

Na 2ª equação (de Gauss), devemos usar a seguinte convenção de sinais, semelhante à usada para os espelhos:

1. em qualquer situação $\rightarrow D_o > 0$ (positiva);
2. lente convergente $\rightarrow f > 0$ (positiva);
3. lente divergente $\rightarrow f < 0$ (negativa);
4. imagem real $\rightarrow D_i > 0$ (positiva);
5. imagem virtual $\rightarrow D_i < 0$ (negativa).

VERGÊNCIA OU GRAU DE UMALENTE (V)

A vergência (V) de uma lente é determinada pelo tipo de lente e por sua capacidade de "ampliar ou reduzir" a imagem de um objeto colocado em certa posição. A vergência é definida como o inverso da distância focal (f), ou seja:

$$V = \frac{1}{f(m)}$$

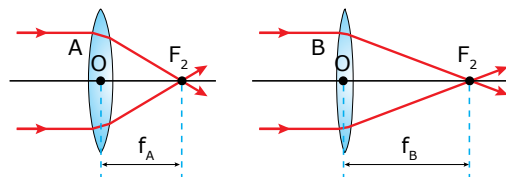
Nessa equação, devemos ressaltar que

1. a unidade de medida da vergência é a **dioptria** (di) (vulgarmente chamada de "grau" da lente) e é igual a m^{-1} ;
2. para se obter a vergência de uma lente em dioptrias, devemos usar a distância focal em metros;
3. o sinal da distância focal determina o tipo de lente e, por isso, o sinal da sua vergência, a saber:

Lente convergente $\rightarrow f > 0 \rightarrow V > 0$ (positiva)

Lente divergente $\rightarrow f < 0 \rightarrow V < 0$ (negativa)

Considere as duas lentes A e B mostradas a seguir e observe os raios de luz que convergem para o foco 2 de cada uma delas. Veja que a lente A tem a curvatura das faces mais acentuada do que a da lente B. Isso faz com que a primeira lente seja mais convergente que a segunda. Observe a posição de cruzamento dos raios refratados (F_2 de cada uma). Considere, ainda, que as distâncias focais das lentes sejam $f_A = 20$ cm e $f_B = 50$ cm.



Como as duas lentes são convergentes, a distância focal e a vergência (grau) de cada uma delas são positivas e valem:

$$V_A = 1/f_A = 1/0,20 \text{ m} \Rightarrow V_A = +5,0 \text{ di} = +5,0 \text{ "graus"}$$

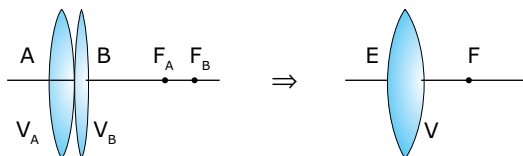
$$V_B = 1/f_B = 1/0,50 \text{ m} \Rightarrow V_B = +2,0 \text{ di} = +2,0 \text{ "graus"}$$

Observe que a vergência da lente A é maior que a da lente B. Se elas são usadas como lupa (objeto entre o foco 1 e o centro óptico de cada uma), a lente A, para objetos à mesma distância das lentes, fornece uma imagem virtual maior. Agora, uma pergunta para você refletir: para objetos colocados além do foco 1 das lentes ($D_o > f$) e à mesma distância delas, qual lente irá formar a maior imagem real?

Se as lentes fossem divergentes, suas vergências seriam $V_A = -5,0$ di e $V_B = -2,0$ di. Como a lente A tem a menor vergência, ela forma, para objetos à mesma distância das lentes, a menor imagem.

JUSTAPOSIÇÃO DE LENTES

Quando duas lentes, de vergências V_A e V_B , são justapostas coaxialmente, em **contato** uma com a outra, elas funcionam como se o sistema fosse formado por uma única lente equivalente (E) de vergência V . Veja a seguir:



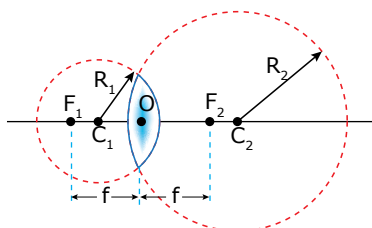
A lente equivalente, nesse caso, apresenta uma distância focal menor que as distâncias focais das lentes A e B. Assim, a lente equivalente tem maior vergência do que as vergências individuais das lentes A e B. A vergência (V) da lente equivalente pode ser calculada por:

$$V = V_A + V_B$$

No dia a dia, a luz é, geralmente, policromática e incide em toda a extensão de uma lente. Se a lente apresenta uma vergência elevada, a imagem formada pode apresentar aberrações que atrapalham a sua visualização. As aberrações mais comuns são a esférica e a cromática. Para minimizar tais aberrações, os instrumentos ópticos usam uma justaposição de duas ou mais lentes, de modo que uma lente minimize a aberração produzida pela outra.

EQUAÇÃO DOS FABRICANTES DE LENTES

A face de uma lente esférica tem origem numa esfera de raio R . A figura a seguir mostra uma lente de índice de refração n_L que, propositadamente, tem faces de curvaturas diferentes. Nela, C_1 e C_2 representam os centros das esferas que deram origem às faces de raios iguais a R_1 e R_2 , respectivamente. A lente está mergulhada numa substância de índice de refração igual a n_{meio} .



Considere que os focos 1 e 2 da lente sejam F_1 e F_2 , conforme mostrado anteriormente. A distância focal (f) da lente pode ser calculada por meio da equação dos fabricantes de lentes, mostrada a seguir:

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

Nessa equação, devemos seguir esta convenção de sinais para os raios das faces da lente:

- face convexa $\Rightarrow R > 0$ (positivo);
- face côncava $\Rightarrow R < 0$ (negativo);
- face plana $\Rightarrow R \rightarrow \infty$ ($1/R \rightarrow 0$).

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

01. No esquema mostrado a seguir, O é um objeto real e I, sua imagem, conjugada por um dispositivo óptico. Com base nas informações e no diagrama seguinte, determinar a posição do observador e do dispositivo óptico, se este for

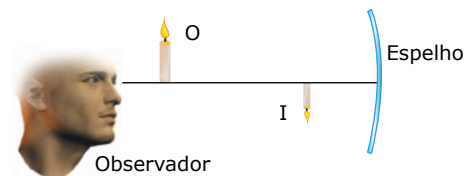
- um espelho esférico;
- uma lente esférica delgada.



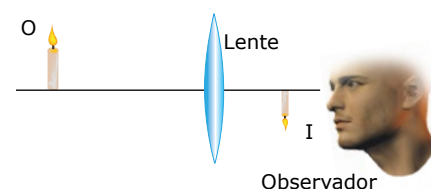
Resolução:

Observe que a imagem é invertida, portanto, ela é real. Os únicos dispositivos que formam imagem real (de um objeto real) são os espelhos côncavos e as lentes convergentes. Como a imagem é menor que o objeto ($H_I < H_O$), a distância dela ao dispositivo deve ser menor que a distância do objeto a ele ($D_I < D_O$). Sendo assim, temos:

A) Se o dispositivo é um espelho, a imagem real fica do mesmo lado que o objeto e o observador, em relação ao espelho. Logo, o espelho deve ficar à direita da imagem e do objeto. Como $D_I < D_O$, o espelho deve ficar à direita da imagem e o observador, à esquerda dela.



B) Se o dispositivo é uma lente, a imagem real fica do lado oposto do objeto, em relação à lente. Portanto, a lente deve ficar entre o objeto e a imagem e mais perto dela ($D_I < D_O$). O observador, para ver diretamente a imagem real, deve ficar à direita da imagem.



02. Uma lente de vidro ($n_L = 1,5$), imersa no ar, possui uma face côncava e outra convexa, de raios R_1 e R_2 , cujos valores, em módulo, são 60 cm e $(60/7)$ cm, respectivamente. Um objeto de 10 cm de altura é colocado a 30 cm de distância do centro óptico da lente.

- A) Calcular a distância focal e a vergência da lente.
- B) Determinar o tipo de imagem formada, a sua altura e sua distância até o objeto.
- C) Essa lente é justaposta a outra lente plano-côncava, cuja vergência é, em módulo, $|V_2| = 3,0$ di. Responder se a lente equivalente será convergente ou divergente.

Resolução:

A) Para determinar a distância focal (f), vamos usar a equação dos fabricantes de lentes, com os seguintes dados: $R_1 = -60$ cm (face côncava), $R_2 = +(60/7)$ cm (face convexa) e $n_{ar} = 1,0$.

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_L}{n_{meio}} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \Rightarrow \frac{1}{f} = \left(\frac{1,5}{1,0} - 1 \right) \left(\frac{1}{-60} + \frac{7}{60} \right)$$

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{1}{2} \right) \left(\frac{6}{60} \right) \Rightarrow f = 20 \text{ cm}$$

Assim, a vergência (V) da lente é:

$$V = 1/f(m) = 1/0,2 \text{ m} \Rightarrow V = 5,0 \text{ di}$$

Como a distância focal e a vergência são positivas, a lente é convergente.

B) Vamos usar as equações de Gauss e da ampliação para determinar as características da imagem:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{D_o} + \frac{1}{D_i} \Rightarrow \frac{1}{20} = \frac{1}{30} + \frac{1}{D_i} \Rightarrow D_i = 60 \text{ cm}$$

$$A = \frac{H_i}{H_o} = \frac{|D_i|}{D_o} \Rightarrow \frac{H_i}{10} = \frac{60}{30} \Rightarrow H_i = 20 \text{ cm}$$

Como D_i é positivo, a imagem é real. Utilizando-se lentes, a imagem real fica do lado oposto do objeto em relação ao dispositivo. Assim, a distância imagem-objeto é a soma $D_i + D_o$. Portanto, a imagem formada é real, invertida, tem o dobro da altura do objeto ($H_i = 20$ cm), e a distância objeto-imagem é de 90 cm.

C) A lente a ser justaposta é plano-côncava e, por isso, estando imersa no ar, ela é divergente. Logo, sua vergência é $V_2 = -3,0$ di. A vergência da lente equivalente é $V_E = V + V_2 = 5,0 + (-3,0) = 2,0$ di. Como a vergência total é positiva, a lente equivalente possui comportamento convergente.

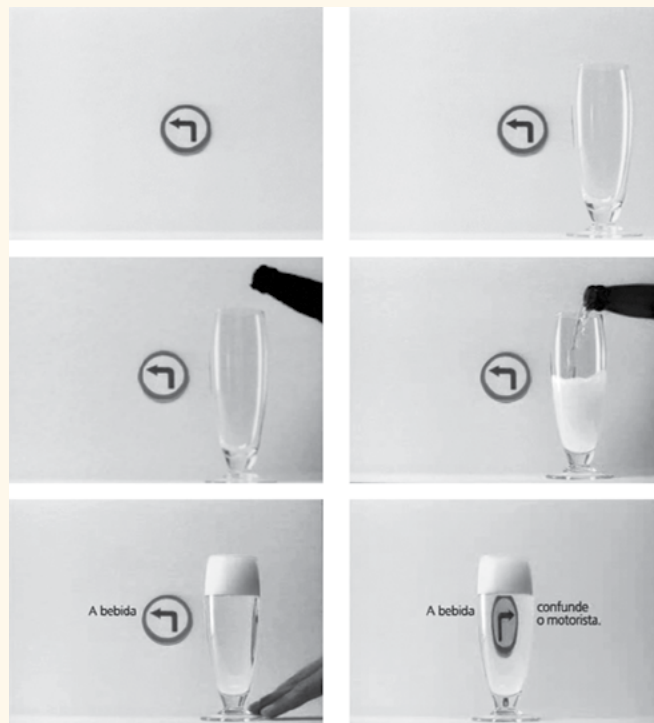
EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



01. (UECE) Em uma projeção de cinema, de modo simplificado, uma película semitransparente contendo a imagem é iluminada e a luz transmitida passa por uma lente que projeta uma imagem ampliada. Com base nessas informações, pode-se afirmar corretamente que essa lente é

- A) divergente.
- B) convergente.
- C) plana.
- D) bicôncava.

02. (UEG-GO) O filme publicitário "Copo" foi criado pela Lew Lara para o Grupo Schincariol como propaganda de caráter social, já que sua temática chama a atenção dos perigos da combinação de álcool com direção. Considere que o copo cheio de cerveja se comporte como uma lente convergente com índice de refração maior que o índice do ar.



COPO. Filme publicitário. Lew Lara Publicidade. Disponível em: <www.portaldapropaganda.com>. Acesso em: 20 set. 2007 (Adaptação).

Com relação à formação da imagem formada pelo copo de cerveja, é correto afirmar que

- A) não passa de uma montagem computacional, sem nenhuma justificativa física.
- B) independe da posição do objeto em relação à lente convergente.
- C) é necessário que o objeto se encontre atrás do foco da lente convergente.
- D) é necessário que o objeto fique entre o foco e o vértice da lente convergente.

03. (Unesp) Em uma sala de aula, o professor de Física pediu para que os estudantes montassem um modelo simplificado de máquina fotográfica, usando apenas uma lente convergente como objetiva, que serviria para a entrada de luz e focalização de imagens dentro de uma pequena caixa. Um aluno entusiasmado com a proposta resolveu construir duas máquinas fotográficas, I e II, com lentes delgadas de mesmos material e raio de curvatura, porém de diâmetros diferentes, sendo o diâmetro da lente I maior do que o da II. No teste com as máquinas, colocadas lado a lado para fotografarem um mesmo objeto, o aluno observou que

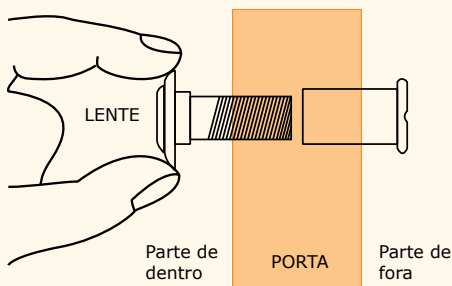
- A) as imagens eram de mesmo tamanho e de mesma luminosidade.
 B) as imagens eram de mesmo tamanho, com I produzindo imagem mais luminosa.
 C) a imagem em I era maior e mais luminosa que em II.
 D) a imagem em I era maior e menos luminosa que em II.
 E) a imagem em I era menor, porém tão luminosa quanto em II.

04. (EsPCEX-SP-2015) Um estudante foi ao oftalmologista, reclamando que, de perto, não enxergava bem. Depois de realizar o exame, o médico explicou que tal fato acontecia porque o ponto próximo da vista do rapaz estava a uma distância superior a 25 cm e que ele, para corrigir o problema, deveria usar óculos com "lentes de 2,0 graus", isto é, lentes possuindo vergência de 2,0 dioptrias.

Do exposto anterior, pode-se concluir que o estudante deve usar lentes

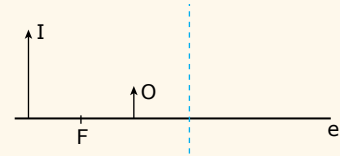
- A) divergentes com 40 cm de distância focal.
 B) divergentes com 50 cm de distância focal.
 C) divergentes com 25 cm de distância focal.
 D) convergentes com 50 cm de distância focal.
 E) convergentes com 25 cm de distância focal.

05. (UEPA) A figura a seguir mostra um visor de porta (olho mágico) bastante comum em portas de residências, o qual utiliza uma lente do mesmo tipo daquela que é usada em óculos para corrigir a miopia. Ao observar uma pessoa do lado de fora da residência, através deste dispositivo, o morador afirma que:



- A) a imagem observada pode ser maior ou menor do que a pessoa.
 B) quanto mais próxima da porta estiver a pessoa, menor será a imagem observada.
 C) a imagem observada será sempre virtual e direita.
 D) a ampliação linear da imagem será sempre positiva e maior do que 1.
 E) a imagem observada será sempre real e do mesmo tamanho que a pessoa.

06. (CEFET-MG) Na figura seguinte, O representa um objeto no ar, e I, a imagem dele produzida por um elemento óptico (linha pontilhada) que possui um foco F, localizado sobre o eixo e. Esse elemento óptico é um(a)

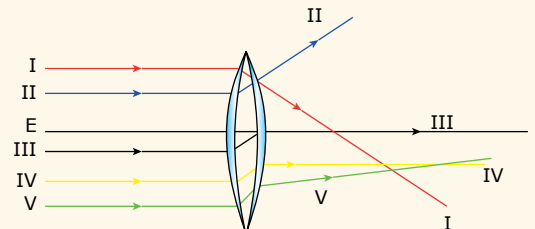


- A) espelho plano. D) espelho convexo.
 B) lente divergente. E) espelho côncavo.
 C) lente convergente.

07. (Mackenzie-SP-2016) Uma lente convergente de distância focal f e centro óptico O conjuga de um objeto real, uma imagem real, invertida e de mesmo tamanho. Esse objeto encontra-se

- A) entre o centro óptico e o foco.
 B) sobre o foco.
 C) sobre o ponto antiprincipal objeto.
 D) entre o foco e o ponto antiprincipal objeto.
 E) antes do ponto antiprincipal objeto.

08. (FGV-2016) A figura ilustra uma lente biconvexa de cristal, imersa no ar. O seu eixo óptico principal é E.



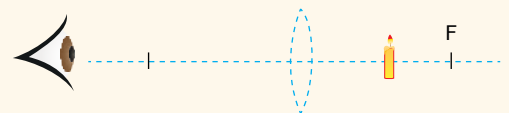
Considerando satisfeitas as condições de Gauss, a única trajetória correta descrita pelo raio refratado é a alternativa

- A) I. C) III. E) V.
 B) II. D) IV.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

RESOLUÇÕES NO
Bernoulli Play

01. (FUVEST-SP-2019) Uma pessoa observa uma vela através de uma lente de vidro biconvexa, como representado na figura.



Considere que a vela está posicionada entre a lente e o seu ponto focal F. Nesta condição, a imagem observada pela pessoa é

- A) virtual, invertida e maior.
 B) virtual, invertida e menor.
 C) real, direita e menor.
 D) real, invertida e maior.
 E) virtual, direita e maior.

02. (UEL-PR-2018)



Figura 1

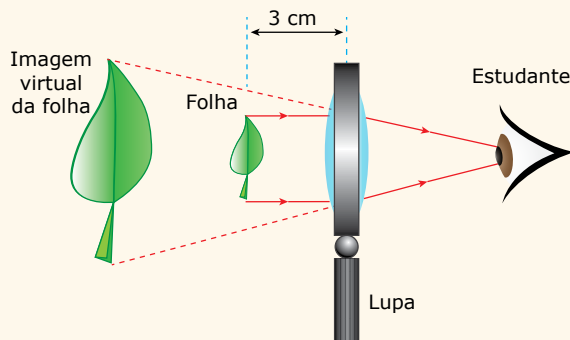
NEUENSCHWANDER, Rivane. *Mal-entendido, casca de ovo, areia, água, vidro e fita mágica*. 2000.

A observação da figura 1 permite constatar que a parte do ovo submersa aparenta ser maior que aquela que está fora d'água.

Assinale a alternativa que apresenta, corretamente, os princípios físicos que explicam o efeito da ampliação mencionada.

- A) O copo funciona como uma lente divergente, sendo que os raios refletidos do ovo passam de um meio menos refringente (água) para um meio mais refringente (ar).
- B) O copo funciona como uma lente convergente, sendo que os raios refletidos do ovo passam de um meio mais refringente (água) para um meio menos refringente (ar).
- C) O copo funciona como uma lente divergente e, neste caso, para o ovo (objeto real), a lente proporciona ao observador a formação de uma imagem real, invertida e ampliada.
- D) O copo funciona como uma lente convergente e, neste caso, para o ovo (objeto real), a lente proporciona ao observador a formação de uma imagem real, direita e ampliada.
- E) O copo funciona como uma lente convergente e, neste caso, para o ovo (objeto real), a lente proporciona ao observador a formação de uma imagem virtual, invertida e ampliada.

03. (Unesp) Para observar uma pequena folha em detalhes, um estudante utiliza uma lente esférica convergente funcionando como lupa. Mantendo a lente na posição vertical e parada a 3 cm da folha, ele vê uma imagem virtual ampliada 2,5 vezes.



Considerando válidas as condições de nitidez de Gauss, a distância focal, em cm, da lente utilizada pelo estudante é igual a

- A) 5.
- B) 2.
- C) 6.
- D) 4.
- E) 3.

04. (FJP-MG) Uma lente de vidro é utilizada para projetar a imagem de um objeto sobre uma tela, como representado nesta figura. Nessa situação, uma imagem nítida do objeto é observada sobre a tela. Em seguida, a lente é substituída por outra lente do mesmo material, porém mais espessa no centro.



Para que, após essa substituição, uma imagem nítida do objeto se forme sobre a tela, foram sugeridos dois procedimentos:

- I. afastar a tela da lente, mantendo o objeto na mesma posição;
- II. aproximar o objeto da lente, mantendo a tela na mesma posição.

Considerando essas informações, é correto afirmar que o resultado desejado pode ser produzido

- A) apenas com o primeiro procedimento.
- B) apenas com o segundo procedimento.
- C) com os dois procedimentos.
- D) com nenhum dos dois procedimentos.

05. (Unimontes-MG-2015) Um objeto de 6 cm de altura está colocado a 40 cm de uma lente divergente cuja distância focal é 40 cm. Marque a alternativa que apresenta, corretamente, a natureza da imagem, sua posição e seu tamanho, respectivamente.



- A) Imagem virtual, situada a 3 cm da lente e medindo 20 cm.
- B) Imagem real, situada a 20 cm da lente e medindo 3 cm.
- C) Imagem real, situada a 3 cm da lente e medindo 20 cm.
- D) Imagem virtual, situada a 20 cm da lente e medindo 3 cm.

06. (UAM-SP) Uma criança brinca com uma lupa, observando formigas. Em certa situação, com a formiga a 10 cm de distância do centro óptico da lente, ela vê a imagem direita e com o triplo do tamanho da formiga. Nessa situação, a distância focal da lente, em cm, é igual a

- A) 20. C) 40. E) 30.
B) 15. D) 10.

07. (UnB-DF) Julgue as questões.

00. Um objeto está colocado a 0,2 m do vértice de um espelho côncavo, de raio de curvatura 0,8 m, e sua imagem é virtual, direita e localizada a 0,4 m do mesmo espelho.

01. Um objeto está localizado a 0,6 m de uma lente delgada divergente, de distância focal 0,4 m, e sua imagem é real, localizada a 0,24 m da mesma lente.

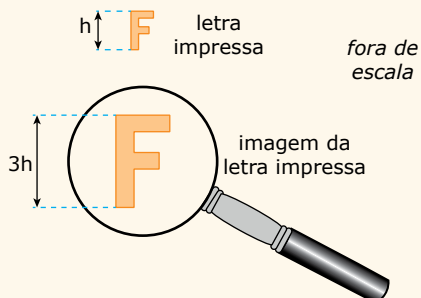
02. Um raio luminoso passa do ar para uma placa de vidro de faces paralelas e, desta, novamente para o ar. O ângulo de emergência do raio, no outro lado da placa, depende dos índices de refração do ar e do vidro, do ângulo de incidência e da espessura da placa.

03. A reflexão total só ocorre na superfície de separação de um meio mais refringente para um meio menos refringente.

08. (UEFS-BA) Considere uma lente esférica gaussiana que produz uma imagem real do mesmo tamanho de um objeto colocado a 20,0 cm da lente.

- Com base nessas informações, é correto afirmar que a
- A) imagem real é direita.
B) distância focal da lente é igual a 20,0 cm.
C) vergência da lente é, aproximadamente, $-7,0$ dioptrias.
D) lente esférica apresenta suas extremidades mais espessas do que a sua parte central.
E) razão entre as alturas, de um objeto colocado a 15,0 cm da lente e da imagem conjugada ao objeto, medidas perpendicularmente ao eixo óptico, é igual a $\frac{1}{2}$.

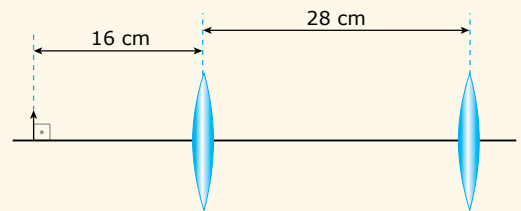
09. (Famema-SP-2016) Uma pessoa observa uma letra F impressa em uma folha de papel utilizando uma lente convergente como lupa, a qual é mantida em repouso, paralela à folha e a 10 cm dela. Nessa situação, as dimensões da imagem são três vezes maiores do que as da letra impressa, conforme mostra a figura.



Considerando válidas as condições de nitidez de Gauss, a distância focal da lente utilizada pela pessoa, em centímetros, é igual a

- A) 37,5. C) 22,5. E) 30,0.
B) 15,0. D) 7,50.

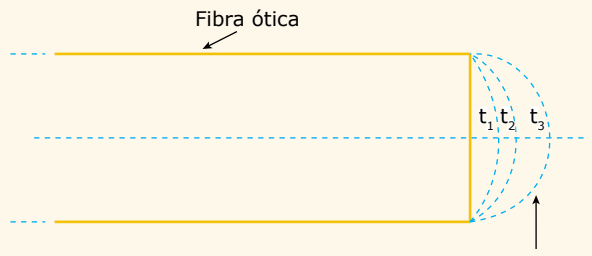
10. (FEPECS-DF) Duas lentes delgadas, convergentes, idênticas e de distância focal $f = 8$ cm, estão separadas por uma distância de 28 cm. As lentes estão orientadas, uma em relação à outra, paralelamente e de modo que seus eixos coincidam. Um objeto linear é posto à esquerda do conjunto, a uma distância de 16 cm da primeira lente e orientado perpendicularmente ao eixo das lentes, como indica a figura.



Podemos afirmar que a imagem desse objeto, formada à direita do conjunto das duas lentes, é

- A) real, direita e com o dobro do tamanho do objeto.
B) virtual, direita e com o dobro do tamanho do objeto.
C) real, invertida e com o mesmo tamanho do objeto.
D) virtual, invertida e com o dobro do tamanho do objeto.
E) real, direita e com o mesmo tamanho do objeto.

11. (FUVEST-SP) A extremidade de uma fibra ótica adquire o formato arredondado de uma microlente ao ser aquecida por um *laser*, acima da temperatura de fusão. A figura a seguir ilustra o formato da microlente para tempos de aquecimento crescentes ($t_1 < t_2 < t_3$).



Considere as afirmações:

- I. O raio de curvatura da microlente aumenta com tempos crescentes de aquecimento.
II. A distância focal da microlente diminui com tempos crescentes de aquecimento.
III. Para os tempos de aquecimento apresentados na figura, a microlente é convergente.

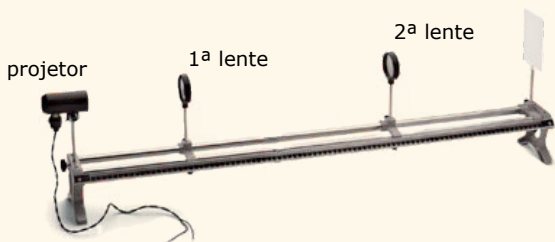
Está correto apenas o que se afirma em

Dados: A luz se propaga no interior da fibra ótica, da esquerda para a direita, paralelamente ao seu eixo.

A fibra está imersa no ar e o índice de refração do seu material é 1,5.

- A) I. C) III. E) II e III.
B) II. D) I e III.

- 12.** (FACISB) A figura mostra um banco óptico com duas lentes esféricas, delgadas, convergentes e de distância focal igual a 20 cm, cujos eixos principais coincidem. Acoplado a esse equipamento, um projetor atua como objeto luminoso.



Disponível em: <www.neocitec.com.mx>. (Adaptação).

Colocando o projetor sobre o eixo principal do sistema na posição $x_p = 0$ cm, a primeira lente na posição $x_1 = 30$ cm e a segunda lente na posição $x_2 = 70$ cm, a imagem final conjugada pela segunda lente se formará na posição

- A) 75 cm. C) 50 cm. E) 80 cm.
 B) 60 cm. D) 40 cm.

SEÇÃO ENEM

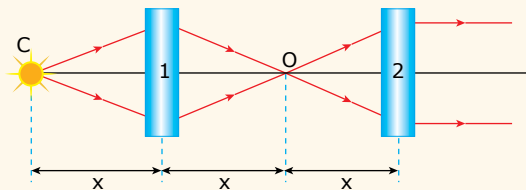
- 01.** A figura mostra uma gota de água sobre uma folha, permitindo ver detalhes ampliados através dela, sem invertê-los. Na situação descrita, a gota funciona como



- A) uma lente divergente, com o objeto colocado no seu plano focal.
 B) uma lente divergente, com o objeto colocado entre seu plano focal e a própria lente.
 C) uma lente convergente, com o objeto colocado além de seu plano focal.
 D) uma lente convergente, com o objeto entre seu plano focal e a própria lente.
 E) uma lente convergente, com o objeto colocado no seu plano focal.

- 02.** O grau de convergência ou divergência de uma lente depende dos seus raios de curvatura e dos índices de refração do material da lente e do meio em que está imersa. Na figura a seguir, temos duas lentes, ocultas pelas caixas 1 e 2, paralelas e centradas sobre o mesmo eixo. Nas caixas, existem dois furos de cada lado que permitem que a luz passe por eles.

Uma fonte pontual de luz, colocada no ponto O, emite raios luminosos que, após atravessar as lentes, seguem conforme indicado na figura. Considere que as lentes sejam feitas do mesmo material, de índice de refração $n > 1$, e estejam imersas no ar.



Dessa forma, os perfis laterais das lentes ocultas pelas caixas 1 e 2 são, respectivamente,

- A) D)
 B) E)
 C)

GABARITO

Meu aproveitamento

Aprendizagem

Acertei _____ Errei _____

01. B 05. C
 02. C 06. C
 03. B 07. C
 04. D 08. A

Propostos

Acertei _____ Errei _____

01. E
 02. B
 03. A
 04. B
 05. D
 06. B
 07. V F F V
 08. E
 09. B
 10. A
 11. E
 12. E

Seção Enem

Acertei _____ Errei _____

01. D 02. B



Total dos meus acertos: _____ de _____ . _____ %

Geradores, Receptores e Associações

Para sustentar uma corrente elétrica em um circuito, é necessária a presença de um dispositivo que converta, permanentemente, certa forma de energia em energia elétrica. Esse dispositivo é chamado de fonte de força eletromotriz, que abreviaremos por fonte de f.e.m. As fontes de f.e.m. mais familiares são as baterias automotivas e as pilhas alcalinas – ambas transformam energia química em energia elétrica. Os grandes geradores de corrente alternada presentes nas usinas de eletricidade são fontes de f.e.m., responsáveis por enviar energia elétrica às cidades e às indústrias, em larga escala; eles convertem a energia mecânica de rotação de uma turbina em energia elétrica. O painel fotovoltaico e a célula combustível são fontes de f.e.m. menos convencionais. O primeiro converte energia solar em energia elétrica e a segunda produz energia elétrica, em geral, a partir de uma reação química em que hidrogênio e oxigênio são convertidos em vapor de água. A figura 1 é uma imagem do robô Opportunity, da NASA, que chegou a Marte em janeiro de 2004. Os painéis fotovoltaicos sobre o veículo captam a fraca energia solar que atinge o planeta, transformando-a em energia elétrica para alimentar os diversos sistemas do robô.



Figura 1. O robô Opportunity, da NASA, é movido por uma fonte de f.e.m. que converte energia solar em energia elétrica.

Neste módulo, o nosso foco não será explicar os modos pelos quais as fontes de força eletromotriz convertem uma dada forma de energia em energia elétrica. Aqui, o nosso objetivo será apresentar as propriedades elétricas de certa de f.e.m. e investigar as interferências que a fonte e os outros elementos do circuito elétrico exercem entre si. Depois de introduzir esses fundamentos, estudaremos os circuitos elétricos constituídos por duas ou mais fontes de f.e.m., nos quais algumas fontes podem atuar como produtoras de energia elétrica (geradores) e outras, como consumidoras (receptores).

PROPRIEDADES DE UMA FONTE DE F.E.M.



As duas principais propriedades elétricas de uma fonte de f.e.m. são a força eletromotriz e a resistência interna da fonte. A f.e.m. depende apenas da fonte, mantendo-se inalterada quando ela é usada para alimentar um resistor ou outros elementos do circuito. A resistência interna também pode ser considerada constante, a menos que ocorra uma mudança na corrente elétrica capaz de variar muito a temperatura (e a resistividade elétrica) dos elementos resistivos dentro da fonte. Outras propriedades de uma fonte de f.e.m., tais como a d.d.p. entre seus terminais e o seu rendimento elétrico, dependem da fonte e dos elementos do circuito elétrico ao qual a fonte está conectada. Neste tópico, iremos conceituar essas e outras propriedades elétricas de uma fonte de f.e.m. e, por meio de expressões matemáticas, mostraremos como relacioná-las entre si.

Força eletromotriz

Considere o circuito mostrado na figura 2, em que a fonte de f.e.m., uma bateria química, sustenta a corrente elétrica que mantém a lâmpada acesa. Observe que a corrente convencional apresenta sentido anti-horário. Isso equivale a dizer que uma carga $+\Delta q$ atravessa a lâmpada da direita para a esquerda em um intervalo de tempo Δt . Como não há acúmulo de cargas em nenhuma parte do circuito, outra carga $+\Delta q$ atravessa a bateria, no mesmo intervalo de tempo, da esquerda para a direita. Em outras palavras, a carga $+\Delta q$ penetra no terminal negativo da bateria e, após um intervalo de tempo Δt , ela sai pelo terminal positivo. Para que isso ocorra, a fonte deve realizar um trabalho sobre a carga $+\Delta q$, forçando-a a se mover em direção ao terminal positivo, em que o potencial é mais elevado. Esse trabalho provém da energia química armazenada na bateria, parte da qual é transferida à carga $+\Delta q$ na forma de energia potencial elétrica. Na lâmpada, essa energia é transformada em calor e luz. Os dois boxes ao lado do circuito indicam essas conversões de energia. Nessa análise, as resistências dos fios de ligação e da bateria foram desprezadas.

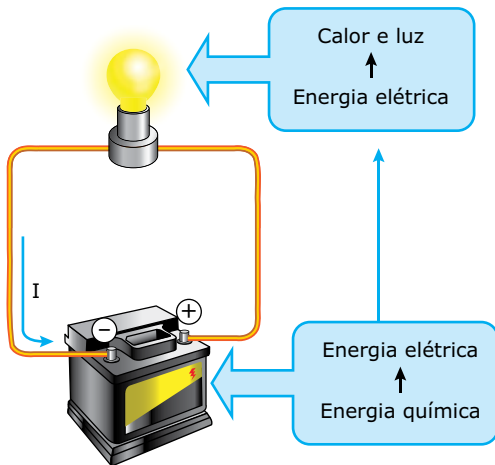


Figura 2. Circuito com uma fonte de f.e.m. (bateria) e uma lâmpada mostrando as conversões de energia no circuito.

Matematicamente, a força eletromotriz média ϵ de uma fonte é definida por:

$$\epsilon = \frac{W}{\Delta q}$$

Nessa expressão, W é o trabalho que a fonte realiza para levar a carga $+\Delta q$ do terminal negativo ao terminal positivo da fonte. A unidade de força eletromotriz é:

$$\frac{\text{joule}}{\text{coulomb}} = \text{volt}$$

Assim, por exemplo, uma fonte de f.e.m. de 12 V (12 J/C) transfere uma energia de 12 J para cada 1 C de carga transportada do terminal negativo para o terminal positivo. Cuidado! Não é correto afirmar que essa fonte é capaz de manter uma diferença de potencial elétrico de 12 V entre os seus terminais. Isso é verdadeiro apenas sob certas condições, que serão discutidas a seguir.

Resistência interna

Qualquer fonte de f.e.m., seja ela uma pilha alcalina, uma bateria automotiva ou um gerador de CA (corrente alternada), apresenta uma resistência elétrica. Uma fonte de f.e.m. sem resistência interna, dispositivo que, na prática, não existe, é chamada de fonte ideal. Em um gerador de CA, a resistência interna deve-se à resistência do enrolamento. Nas baterias químicas, a resistência interna é causada pelas colisões dos íons contra as moléculas da solução presente no interior do dispositivo. A resistência interna de uma bateria aumenta ao longo da vida útil desta porque os resíduos das reações químicas geram incrustações internas. Depois de algum tempo, a resistência interna atinge valores tão altos que comprometem o funcionamento da bateria.

Tensões e corrente elétrica

A figura 3 mostra o esquema de um circuito simples constituído por uma fonte de f.e.m. ϵ , resistência interna r e por um resistor de resistência R . Observe que a resistência interna e a fonte de f.e.m. estão representadas separadamente, embora ambas ocupem o mesmo espaço físico. Para reforçar essa ideia, a resistência interna e a fonte estão envolvidas por um retângulo pontilhado. Na figura seguinte, a força eletromotriz ϵ é representada por uma seta com um pequeno círculo na extremidade. Assim como a corrente elétrica, a f.e.m. é uma grandeza escalar. O sentido da f.e.m. indica o sentido do movimento das cargas positivas sob a ação da fonte.

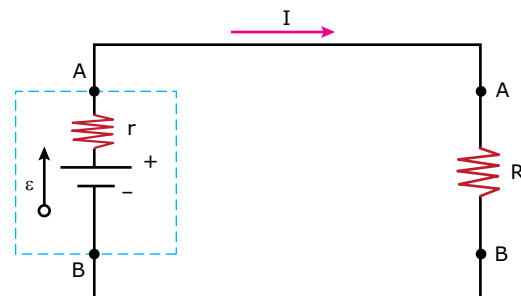
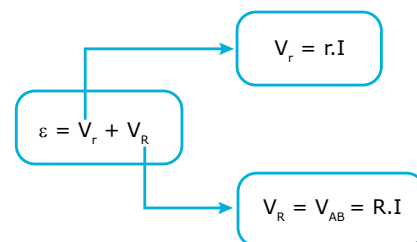


Figura 3. Circuito elétrico simples.

A corrente elétrica I que atravessa a resistência R é a mesma que atravessa a fonte e a resistência interna r . Portanto, as resistências R e r estão ligadas em série. Por isso, esse circuito pode ser interpretado como se uma tensão igual à f.e.m. ϵ fosse dividida entre as resistências r e R , de acordo com as expressões mostradas no fluxograma a seguir. Nessas equações, V_r é a queda de tensão na resistência interna da fonte e V_R (V_{AB}) é a queda de tensão no resistor externo.



Combinando as expressões anteriores, podemos deduzir as duas equações seguintes. A primeira fornece a corrente elétrica gerada pela fonte de f.e.m., a segunda fornece a diferença de potencial entre os terminais da fonte. Essas expressões são importantes porque permitem o cálculo de I e de V_{AB} em função dos valores característicos da fonte (ϵ e r) e do resistor externo (R).

$$I = \frac{\epsilon}{R + r} \quad \text{e} \quad V_{AB} = \epsilon - r.I$$

Uma situação que merece destaque acontece quando uma fonte de f.e.m. é curto-circuitada, ou seja, quando os terminais da fonte são ligados por um fio condutor. Nesse caso, a resistência interna da fonte é a única oposição à corrente. Como $R = 0$, a corrente de curto-circuito é dada por:

$$I_{cc} = \frac{\varepsilon}{r}$$

Agora, veremos duas situações em que a diferença de potencial entre os terminais da fonte coincide com a f.e.m. A primeira ocorre com as fontes ideais, isto é, fontes em que a resistência interna r é nula. Note que, substituindo $r = 0$ na equação da tensão da fonte, obtemos $V_{AB} = \varepsilon$. Portanto, a tensão entre os terminais de uma fonte ideal é igual à própria f.e.m.

A outra situação, em que $V_{AB} = \varepsilon$, ocorre quando a fonte não alimenta o circuito externo. Nesse caso, a corrente é nula, e a diferença de potencial nos terminais do resistor R também é nula. A figura 4 ilustra essa situação. Como a chave está aberta, nenhuma corrente atravessa a fonte de f.e.m. (supondo o voltímetro ideal). Substituindo $I = 0$ na equação da tensão da fonte, novamente encontramos $V_{AB} = \varepsilon$.

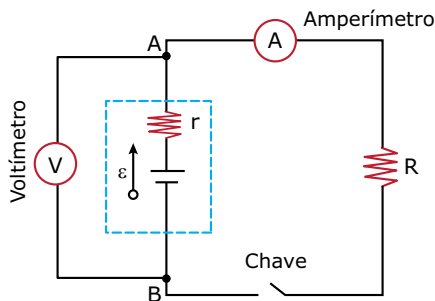


Figura 4. Montagem para determinar a f.e.m. e a resistência interna de uma fonte.

Essa montagem pode ser usada para determinar os valores de ε , r e R . Com a chave aberta, imagine que as leituras do voltímetro e do amperímetro (ambos ideais) sejam iguais a 12 V e 0 A, respectivamente. Com a chave fechada, imagine que esses valores mudem para 10 V e 2,0 A, também respectivamente. Faça os cálculos e encontre os seguintes valores para os elementos desse circuito: $\varepsilon = 12$ V, $r = 1,0 \Omega$ e $R = 5,0 \Omega$.



PARA REFLETIR

Um estudante conectou um voltímetro em uma pilha, medindo 1,5 V. Depois, ele ligou uma lâmpada de 1,5 V e 5,0 W na pilha, mas ela quase não acendeu. Por que a lâmpada funcionou mal?

Energias e potências

Agora, vamos retomar a figura 2 para discutirmos mais detalhadamente as conversões de energia em um circuito simples. Sabemos que, durante um intervalo de tempo Δt , uma quantidade de carga Δq atravessa a fonte de f.e.m. ε . Durante esse tempo, a carga recebe um trabalho da fonte igual a:

$$W = \varepsilon \cdot \Delta q$$

Dividindo os membros dessa expressão pelo intervalo de tempo Δt , obtemos:

$$\frac{W}{\Delta t} = \varepsilon \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

O primeiro membro dessa expressão é a potência fornecida pela fonte (unidade SI: J/s = watt). No segundo membro, a fração que multiplica a f.e.m. ε é a corrente elétrica I (unidade SI: C/s = ampere). Assim, a potência fornecida por uma fonte de f.e.m. é dada por:

$$P_{\text{fonte}} = \varepsilon \cdot I$$

Uma taxa de transferência de calor igual a $R \cdot I^2$ ocorre da resistência R para o ar em sua volta, devido ao efeito Joule. De forma semelhante, uma taxa de calor igual a $r \cdot I^2$ ocorre da resistência interna para a carcaça da fonte (esse último termo explica por que uma bateria se aquece um pouco durante o seu funcionamento). A soma dessas taxas é a potência calorífica dissipada no circuito. Como a potência fornecida pela fonte deve ser igual à potência dissipada nas resistências, podemos escrever:

$$\varepsilon \cdot I = R \cdot I^2 + r \cdot I^2$$

Explicitando a corrente I , obtemos:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

Essa expressão é idêntica à expressão que obtivemos, anteriormente, para a corrente elétrica gerada pela fonte. No entanto, agora, a sua dedução foi realizada com base no Princípio da Conservação da Energia.

Rendimento elétrico

O rendimento elétrico de uma fonte de f.e.m. é a razão entre a potência útil recebida pelos elementos externos à fonte e a potência fornecida por esta. Matematicamente, temos:

$$\eta = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{fonte}}}$$

Essas potências serão iguais, e o rendimento será 100%, se a fonte for ideal (sem resistência interna). Para fontes reais, $P_{\text{útil}} < P_{\text{fonte}}$, pois parte da energia fornecida pela fonte é dissipada pela resistência interna desta.

Vamos desenvolver um pouco mais a equação anterior, substituindo o denominador da fração por $\epsilon \cdot I$ e o numerador por $\epsilon \cdot I - r \cdot I^2$. Como resultado, obtemos:

$$\eta = \frac{\epsilon - rI}{\epsilon}$$

Agora, o denominador é a f.e.m. ϵ , enquanto o numerador é a diferença de potencial entre os terminais da fonte. Para um circuito simples, como o da figura 3, a corrente é baixa para valores grandes de R . Assim, o termo $r \cdot I$ é pequeno e o rendimento da fonte é grande. O rendimento, portanto, aumenta com a resistência externa. Para R muito maior que r , η tende a 1 (100%).



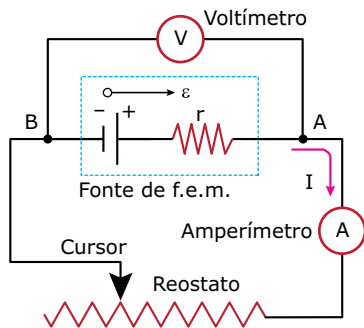
PARA REFLETIR

Um fabricante de baterias afirma que o seu produto apresenta um rendimento de 90%. Por que essa afirmativa não procede?

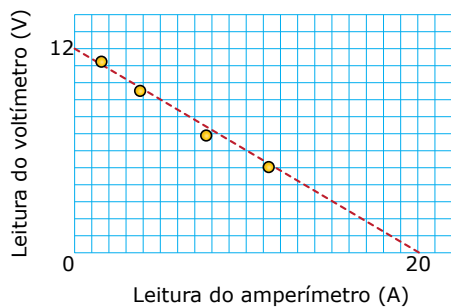
A seguir, apresentamos um exercício resolvido sobre as propriedades de uma fonte de força eletromotriz. Na segunda parte do módulo, abordaremos circuitos com mais de uma fonte de f.e.m.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

01. Um estudante montou o circuito esquematizado a seguir, no qual o amperímetro e o voltímetro são ideais.



Ajustando o cursor do reostato em quatro posições, o estudante obteve o gráfico da leitura do voltímetro em função da leitura do amperímetro mostrado a seguir.



- A) Explicar por que esse gráfico é uma reta descendente. Explicar os significados físicos da inclinação da reta e dos pontos em que ela corta o eixo vertical e o eixo horizontal.
- B) Calcular o valor da resistência do reostato que produz a máxima potência nesse elemento. Calcular essa potência e o rendimento da fonte nesse caso.

Resolução:

- A) A leitura do voltímetro é a d.d.p. V_{AB} entre os terminais da fonte, enquanto a leitura do amperímetro é a corrente I que atravessa o reostato e a fonte. A relação entre essas leituras, portanto, é dada por:

$$V_{AB} = \epsilon - r \cdot I$$

Como a f.e.m. ϵ e a resistência interna r são constantes, concluímos que V_{AB} varia linearmente com I . A expressão anterior é a equação de uma reta no gráfico V_{AB} versus I . A sua inclinação é negativa e vale $-r$, por isso, a reta é descendente. A resistência interna vale:

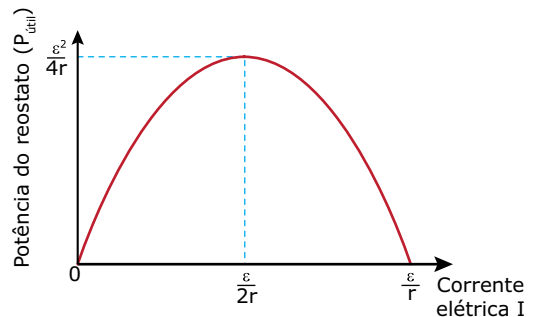
$$r = \text{módulo da inclinação} = \frac{12}{20} = 0,60 \Omega$$

A ordenada do ponto em que a reta toca o eixo vertical é a f.e.m., $\epsilon = 12 \text{ V}$, da fonte. A abscissa do ponto em que a reta toca o eixo horizontal é a corrente de curto-circuito do reostato $I_{cc} = 20 \text{ A}$. Essa corrente ocorre quando o cursor se acha completamente à direita e, conseqüentemente, a resistência do circuito é r .

- B) A potência no reostato é a potência fornecida pela fonte menos a potência dissipada na resistência interna desta:

$$P_{\text{útil}} = \epsilon \cdot I - r \cdot I^2$$

Essa equação representa, no diagrama $P_{\text{útil}}$ versus I , uma parábola, cujas raízes são $I = 0$ e $I = \epsilon/r$. A raiz nula é a corrente com a resistência do reostato tendendo para o infinito, e a outra raiz é a corrente de curto-circuito. A figura a seguir mostra a potência útil $P_{\text{útil}}$ em função da corrente elétrica I , com destaque para essas raízes. Por simetria, vemos que a potência máxima ocorre para a corrente elétrica $\epsilon/2r = 10 \text{ A}$ (faça você mesmo essa conta). Substituindo essa expressão na equação da potência útil, obtemos a potência máxima do reostato, que é $\epsilon^2/4r = 60 \text{ W}$ (faça a conta). O denominador da abscissa do vértice da parábola ($2r$) é a resistência equivalente do circuito. Como as resistências r e R estão associadas em série, concluímos que $R = r = 0,60 \Omega$. O rendimento da fonte, nessa situação, é igual a 50%, valor dado pelo quociente entre a $P_{\text{útil}} = 60 \text{ W}$ e $P_{\text{fonte}} = \epsilon \cdot I = 120 \text{ W}$.



GERADORES E RECEPTORES

Até aqui, usamos o termo fonte de força eletromotriz nos circuitos elétricos estudados. Nos circuitos deste tópico, será conveniente diferenciarmos as fontes de f.e.m. pelos nomes de gerador e de receptor. O primeiro é uma fonte de f.e.m. que efetivamente transforma alguma forma de energia em energia elétrica, enquanto o outro faz o inverso, isto é, um receptor é alimentado por energia elétrica, transformando-a em outra modalidade de energia que não seja exclusivamente térmica. Muitas vezes, um receptor é também chamado de fonte de força contraeletromotriz. Uma bateria química sendo recarregada e um motor elétrico são os dois principais exemplos de fontes de força contraeletromotriz (ou receptores). Quando uma bateria está sendo recarregada, ela transforma a energia elétrica que recebe de um gerador em energia potencial química. Um motor elétrico, em funcionamento, converte continuamente energia elétrica em energia mecânica, que aparece na forma de energia cinética de rotação do eixo do motor.

Vamos analisar o circuito mostrado na figura 5, que mostra uma fonte de tensão (gerador) de f.e.m. ε carregando uma bateria de f.e.m. ε' , que, nesse caso, também pode ser denominada de força contraeletromotriz (f.c.e.m.). Para isso, o gerador deve ser ajustado de modo a operar com uma f.e.m. $\varepsilon > \varepsilon'$. Uma lâmpada de resistência R , ligada em série com o gerador, atua como um limitador de corrente. O circuito esquemático, correspondente à montagem, está representado imediatamente após a figura. Observe que r e r' são as resistências internas do gerador e da bateria, respectivamente.

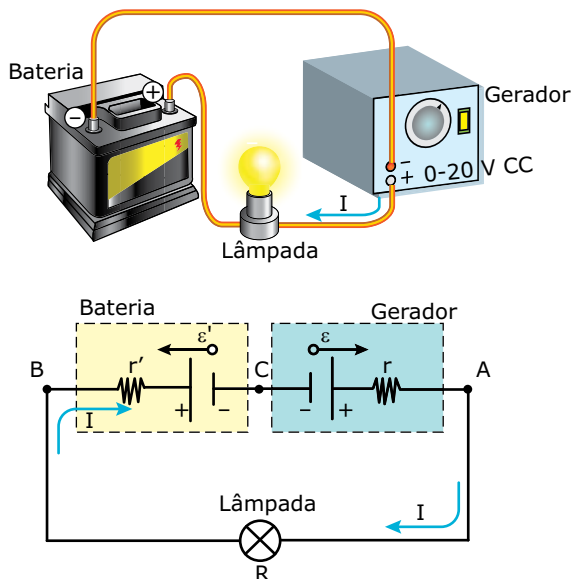


Figura 5. Gerador de CC carregando uma bateria química (receptor).

De acordo com as polaridades mostradas nessa figura, o gerador tende a produzir uma corrente no sentido horário, enquanto a bateria tende a fazê-lo no sentido oposto.

O sentido da corrente no circuito é imposto pelo gerador, pois $\varepsilon > \varepsilon'$. Assim, a bateria é percorrida por uma corrente elétrica no sentido oposto ao de sua f.e.m., operando não como fornecedora de energia elétrica, mas como consumidora. A bateria recebe energia elétrica do gerador e a transforma em energia química. Para calcular a corrente em um circuito, como o mostrado na figura 5, vamos usar a seguinte equação:

$$I = \frac{\varepsilon - \varepsilon'}{R + r + r'}$$

Observe que subtraímos da f.e.m. do gerador o valor da f.c.e.m. do receptor. Essa equação pode ser generalizada da seguinte forma: em um circuito elétrico de uma só malha, a corrente que passa através do circuito é igual ao quociente entre o somatório das forças eletromotrizes e a resistência equivalente do circuito. No somatório, consideramos que as forças eletromotrizes dos geradores são positivas e que as forças contraeletromotrizes dos receptores são negativas. No cálculo da resistência equivalente do circuito, as resistências internas dos geradores e dos receptores devem ser consideradas. Tendo em vista as observações anteriores, a equação geral é a seguinte:

$$I = \frac{\sum \varepsilon}{R_{eq}}; \quad \varepsilon \begin{cases} + & \text{para geradores} \\ - & \text{para receptores} \end{cases}$$

Uma particularidade de uma fonte de f.c.e.m. refere-se ao cálculo da d.d.p. entre os seus terminais. Na figura 5, como a corrente elétrica percorre a fonte de f.c.e.m. (a bateria) no sentido inverso ao de sua polaridade, a d.d.p., $V_B - V_C$, deve ser, na verdade, maior do que ε' . A equação para calcular esse valor é a seguinte:

$$V_B - V_C = V_{BC} = \varepsilon' + r'I$$

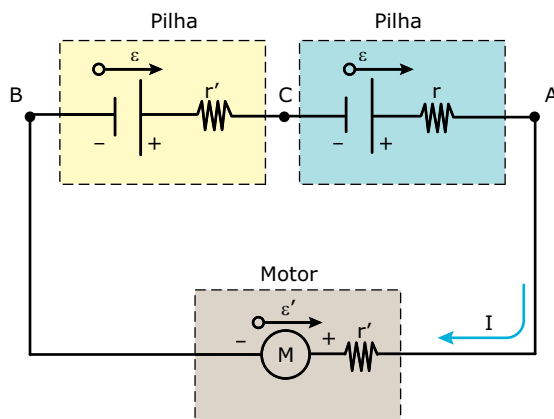
Portanto, diferentemente dos geradores de f.e.m., a d.d.p. entre os terminais de um receptor é igual à soma de sua força eletromotriz com a queda de tensão produzida na resistência interna dele. Enquanto a d.d.p. entre os terminais de um gerador percorrido por uma corrente elétrica é menor que sua f.e.m., em um receptor, essa d.d.p. é maior. Isso significa que a potência elétrica fornecida ao receptor (produto da d.d.p. entre os terminais deste e a corrente) é maior que a potência utilizada pelo receptor para armazenamento de energia. Esta é o produto entre a força eletromotriz ε' do receptor e a corrente que o atravessa. Isso equivale a dizer que um receptor não pode transformar toda a energia elétrica recebida em energia útil, pois uma parte da energia recebida é dissipada na forma de calor na resistência interna do receptor. Assim, o rendimento do receptor é calculado por:

$$\eta_{\text{receptor}} = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{recebida}}} = \frac{\varepsilon' I}{(\varepsilon' + r' I) I} = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon' + r' I}$$

Compare essa expressão com a equação do rendimento para o gerador, apresentada no tópico anterior. Não decore essas expressões, procure entendê-las, destacando suas semelhanças e diferenças.

Por último, considere que, na figura 5, tenhamos $\varepsilon = 22 \text{ V}$, $\varepsilon' = 12 \text{ V}$, $R = 8,0 \ \Omega$ e $r = r' = 1,0 \ \Omega$. Deixamos para você calcular e verificar que a corrente no circuito é $I = 1,0 \text{ A}$ e que, para o gerador, temos $V_{AC} = 21 \text{ V}$ e $\eta = 95\%$, e para a bateria, $V_{BC} = 13 \text{ V}$ e $\eta' = 92\%$.

Outro exemplo de fonte de força contraeletromotriz é o motor elétrico. Encontrado em diversos aparelhos, como um liquidificador ou uma furadeira, os motores elétricos transformam parte da energia elétrica recebida em energia mecânica. Uma parcela não desprezível é convertida em calor por efeito Joule na resistência interna do motor. O exercício resolvido 02, apresentado a seguir, ilustra a operação de um pequeno motor elétrico como fonte de f.c.e.m.



B) Primeiramente, podemos calcular a corrente elétrica nesse circuito por meio da seguinte relação:

$$I = \frac{2\varepsilon - \varepsilon'}{2r + r'} = \frac{2 \cdot 1,5 - 2,0}{2 \cdot 0,15 + 0,20} \Rightarrow I = 2,0 \text{ A}$$

Utilizando o valor dessa corrente, podemos calcular a tensão entre os terminais do motor, que é dada por:

$$V_{AB} = \varepsilon' + r'I = 2,0 + 0,20 \cdot 2,0 \Rightarrow V_{AB} = 2,4 \text{ V}$$

Note que esse valor também é a d.d.p. entre os terminais da associação de pilhas, que poderia ser calculada por:

$$V_{AB} = 2\varepsilon - 2rI = 3,0 - 0,30 \cdot 2,0 \Rightarrow V_{AB} = 2,4 \text{ V}$$

Com esses valores, podemos calcular a potência recebida pelo motor:

$$P_{\text{recebida}} = V_{AB} \cdot I = 2,4 \cdot 2,0 = 4,8 \text{ W}$$

A potência útil é:

$$P_{\text{útil}} = \varepsilon' \cdot I = 2,0 \cdot 2,0 = 4,0 \text{ W}$$

Portanto, o rendimento desse motor, operando sob essas condições, vale 83%, uma vez que 4,0 W é 83% de 4,8 W. Para calcular o rendimento da associação de pilhas, devemos calcular a potência gerada na associação, que vale:

$$P_{\text{gerada}} = 2\varepsilon \cdot I = 3,0 \cdot 2,0 = 6,0 \text{ W}$$

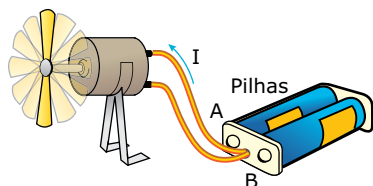
Portanto, o rendimento da associação de pilhas vale 80%, pois a potência fornecida (4,8 W) é 80% da potência gerada (6,0 W).

Comentário:

Um cálculo que merece destaque é o balanço de energia nesse circuito. A potência fornecida pelas duas pilhas é de 6,0 W. Desse montante, o motor utiliza 4,0 W para girar (potência útil). Os 2,0 W restantes são dissipados na forma de calor pelas resistências internas. Calcule esse valor, usando a expressão $(2r + r')I^2$.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

02. A figura a seguir mostra um motorzinho elétrico de corrente contínua alimentado por duas pilhas alcalinas ligadas em série, cada uma com uma força eletromotriz e uma resistência interna iguais a $\varepsilon = 1,5 \text{ V}$ e $r = 0,15 \ \Omega$, respectivamente. A força contraeletromotriz e a resistência interna do motor valem $\varepsilon' = 2,0 \text{ V}$ e $r' = 0,20 \ \Omega$, também respectivamente.



- A) Fazer o esquema do circuito elétrico dessa montagem e explicar os tipos de transformações de energia envolvidas.
- B) Calcular a d.d.p. entre os terminais da associação de pilhas e a d.d.p. entre os terminais do motor. Determinar, também, os rendimentos da associação de pilhas e do motor.

Resolução:

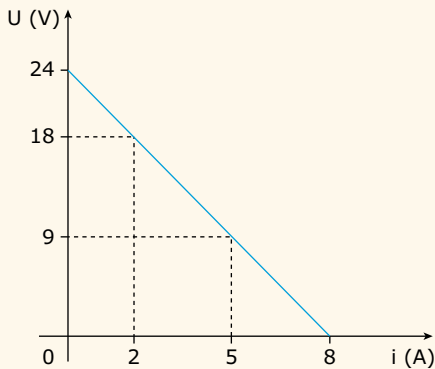
A) O esquema do circuito está representado na figura seguinte. Como as pilhas estão ligadas em série, o polo positivo de uma pilha deve ser ligado ao polo negativo da outra. Por isso, as forças eletromotrizes das pilhas têm os mesmos sentidos e devem ser somadas para obtermos a força eletromotriz resultante. O motor, por ser um receptor de energia, apresenta força contraeletromotriz no sentido oposto ao das forças eletromotrizes das pilhas. Nesse circuito, a energia química armazenada nas pilhas é transformada em energia mecânica no motor e em calor nas resistências internas das pilhas e do motor.

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



- 01.** (Fatec-SP) Uma pilha elétrica tem força eletromotriz $\varepsilon = 6,0 \text{ V}$ e resistência interna $r = 0,20 \Omega$. Assim,
- A) a corrente de curto-circuito é $i_{cc} = 1,2 \text{ A}$.
 - B) em circuito aberto, a tensão entre os terminais é $U = 2,0 \text{ V}$.
 - C) se a corrente for $i = 10 \text{ A}$, a tensão entre os terminais será $U = 2,0 \text{ V}$.
 - D) se a tensão entre os terminais for $U = 5,0 \text{ V}$, a corrente será $i = 25 \text{ A}$.
 - E) nenhuma das afirmações anteriores é adequada.

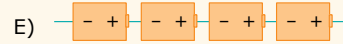
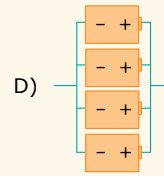
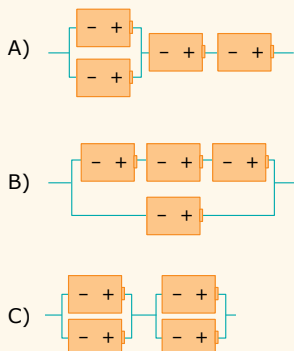
- 02.** (UERJ-2018) Observe o gráfico, que representa a curva característica de operação de um gerador:



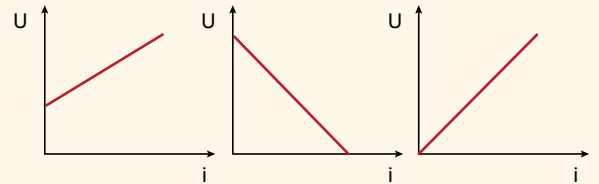
Com base nos dados, a resistência interna do gerador, em ohm, é igual a:

- A) 1,0.
- B) 3,0.
- C) 4,0.
- D) 6,0.

- 03.** (UFAM-2015) Um grupo de alunos resolveu associar quatro pilhas idênticas de $1,5 \text{ V}$ e $1,0 \text{ W}$. O valor da f.e.m. equivalente medida da associação foi de $3,0 \text{ V}$ e a corrente de curto-circuito dessa associação ficou em $3,0 \text{ A}$. Podemos afirmar que os alunos montaram a seguinte associação com as quatro pilhas:



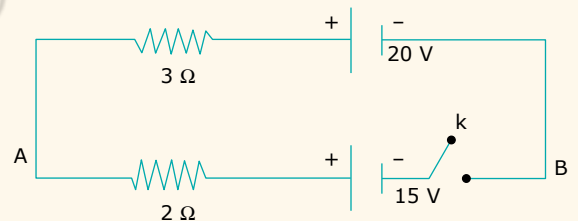
- 04.** (UFAL) Considere os gráficos a seguir (U é a tensão e i é a corrente).



Eles representam as curvas características de três elementos de um circuito elétrico, respectivamente,

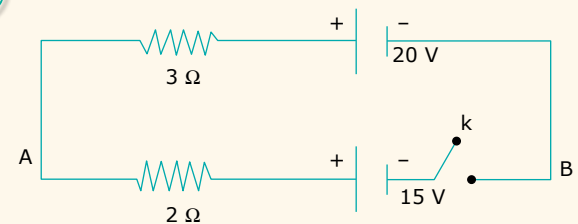
- A) gerador, receptor e resistor.
- B) gerador, resistor e receptor.
- C) receptor, gerador e resistor.
- D) receptor, resistor e gerador.
- E) resistor, receptor e gerador.

- 05.** (PUC-SP) No circuito da figura, a diferença de potencial $V_A - V_B$, com a chave K aberta, tem valor:



- A) 35 V
- B) 20 V
- C) 15 V
- D) 5 V
- E) zero

- 06.** (PUC-SP) Fechando a chave K da figura, a diferença de potencial $V_A - V_B$ passa a ter valor:

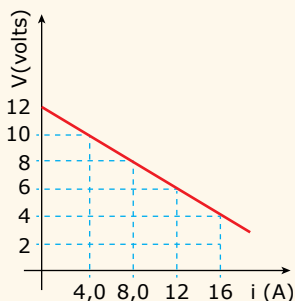


- A) 35 V
- B) 23 V
- C) 20 V
- D) 17 V
- E) 15 V

07. (AFA-RJ) Um gerador fornece a um motor uma ddp de 440 V. O motor tem resistência interna de 25Ω e é percorrido por uma corrente elétrica de 400 mA. A força contraeletromotriz do motor, em volts, é igual a

- A) 375.
- B) 400.
- C) 415.
- D) 430.
- E) 220.

08. (ACAFE-SC) Para garantir a manutenção elétrica preventiva de um automóvel, uma pessoa deseja substituir a bateria (gerador de f.e.m.) do mesmo. O manual de funcionamento apresenta um diagrama V (voltagem) \times i (corrente) mostrando a curva característica do gerador em questão.



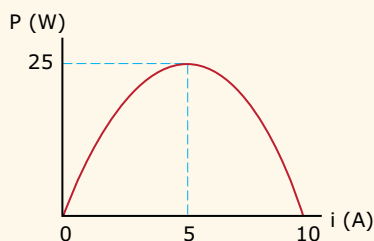
A alternativa correta que mostra os valores de f.e.m., em volts, e resistência interna, em ohm, da bateria é:

- A) 10 e 1
- B) 12 e 5
- C) 12 e 0,5
- D) 12 e 1

EXERCÍCIOS PROPOSTOS



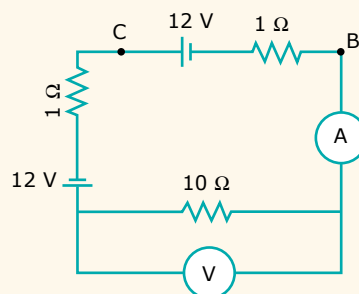
01. (UNIRIO-RJ) O diagrama dado representa a curva de potência útil de um gerador cuja força eletromotriz vale ϵ , e a resistência elétrica vale r .



Os valores de ϵ e r são, respectivamente,

- A) 1,0 V e 10Ω .
- B) 5,0 V e $1,0 \Omega$.
- C) 10 V e $1,0 \Omega$.
- D) 25 V e $5,0 \Omega$.
- E) 25 V e 10Ω .

02. (UPE) No circuito elétrico a seguir, estão representados dois geradores idênticos, com $\epsilon = 12 \text{ V}$ e $r = 1 \Omega$. O amperímetro e o voltímetro são ideais.

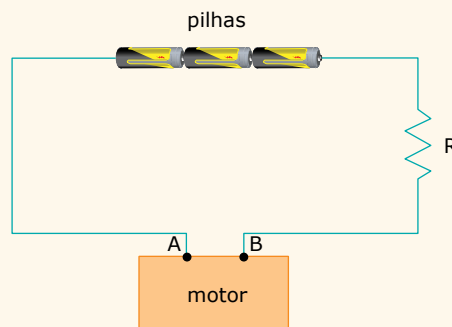


Analise as proposições a seguir e marque V (verdadeiro) ou F (falso).

- () A leitura do amperímetro é de 2 A.
- () A leitura do voltímetro é de 10 V.
- () A resistência equivalente do circuito é de 12Ω .
- () A potência dissipada no resistor de 10Ω é de 40 W.
- () O rendimento do gerador entre os pontos C e B é de aproximadamente 83,33%.

03. (UFRGS-RS) O circuito a seguir representa três pilhas de 1,5 V cada uma, um resistor R de resistência elétrica $1,0 \Omega$ e um motor, todos ligados em série.

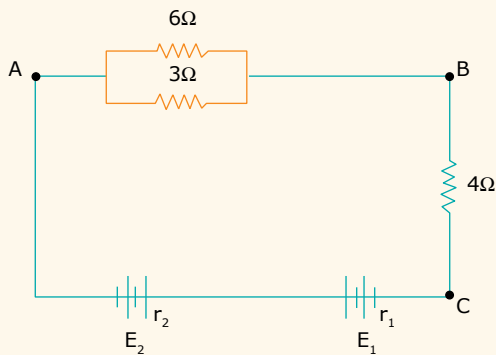
(Considere desprezível a resistência elétrica dos fios de ligação do circuito.)



A tensão entre os terminais A e B do motor é 4,0 V. Qual é a potência elétrica consumida pelo motor?

- A) 0,5 W.
B) 1,0 W.
C) 1,5 W.
D) 2,0 W.
E) 2,5 W.

- 04.** (UFPel-RS) No circuito mostrado na figura a seguir, temos uma associação de resistores ligados a duas baterias cujas f.e.m. são $\varepsilon_1 = 6,0 \text{ V}$ e $\varepsilon_2 = 24,0 \text{ V}$ e cujas resistências internas são, respectivamente, $r_1 = 1,0 \Omega$ e $r_2 = 2,0 \Omega$.



De acordo com seus conhecimentos sobre Eletrodinâmica e com o texto, analise cada uma das seguintes afirmativas.

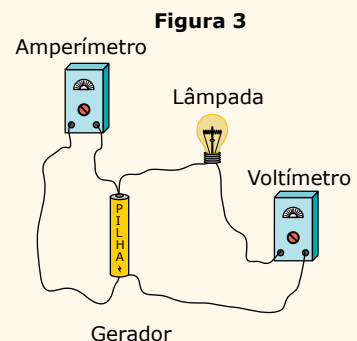
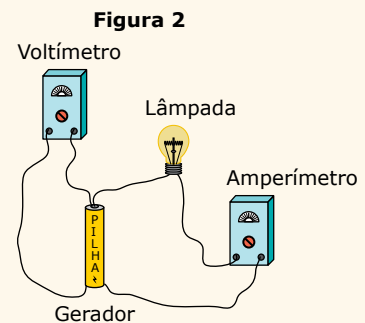
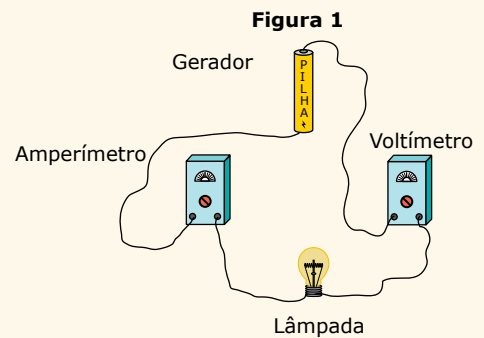
- I. O sentido da corrente elétrica é determinado pela f.e.m. de maior valor, portanto, no circuito, a corrente tem sentido horário.
II. No circuito da bateria com ε_1 a corrente está passando do polo positivo para o negativo, desta forma, essa bateria está funcionando como um receptor (gerador de f.c.e.m.).
III. A intensidade da corrente elétrica no circuito é de 2,0 A.
IV. O valor da diferença de potencial entre os pontos A e B é de 12 V.

Dessas afirmativas, estão corretas apenas

- A) III e IV.
B) I e II.
C) I, III e IV.
D) II e IV.
E) II e III.

- 05.** (PUC-Campinas-SP-2015) Dois resistores ôhmicos, um de resistência elétrica $6,0 \Omega$ e outro de $4,0 \Omega$, são associados em paralelo. Os terminais dessa associação são ligados aos terminais de um gerador de força eletromotriz 2,5 V e resistência interna de $0,10 \Omega$. Nessa situação, a potência elétrica dissipada no resistor de $6,0 \Omega$, em watts, vale
- A) 2,5. C) 1,44. E) 0,96.
B) 2,4. D) 1,2.

- 06.** (Mackenzie-SP) Certo estudante dispõe de um voltímetro e de um amperímetro, ambos ideais, de um gerador elétrico (pilha) de resistência interna $4,5 \Omega$, e de uma lâmpada incandescente com as seguintes inscrições nominais: 1,0 W – 9,0 V. Para que esses dispositivos sejam associados corretamente, proporcionando à lâmpada o maior brilho possível, sem “queimá-la”, o esquema que deverá ser utilizado é o ilustrado na _____ e a força eletromotriz do gerador deverá ser _____.



As lacunas, do texto anterior, são corretamente preenchidas com as afirmações

- A) Figura 1; 9,5 V.
- B) Figura 2; 9,5 V.
- C) Figura 3; 9,5 V.
- D) Figura 2; 9,0 V.
- E) Figura 3; 9,0 V.

07. (PUC-Campinas-SP) Hoje, ninguém consegue imaginar uma residência sem eletrodomésticos (aparelho de TV, aparelho de som, geladeira, máquina de lavar roupa, máquina de lavar louça, etc.).

Uma enceradeira possui força contraeletromotriz de 100 V. Quando ligada a uma tomada de 120 V ela dissipa uma potência total de 40 W. Nestas condições, a resistência interna da enceradeira, em Ω , vale

- A) 2,0. C) 5,0. E) 20.
- B) 3,0. D) 10.

08. (Mackenzie-SP) O vendedor de um motor elétrico de corrente contínua informa que a resistência interna desse motor é $1,0 \Omega$ e que o mesmo consome 30,0 W, quando ligado à d.d.p. de 6,0 V. A força contraeletromotriz (f.c.e.m.) do motor que ele está vendendo é:

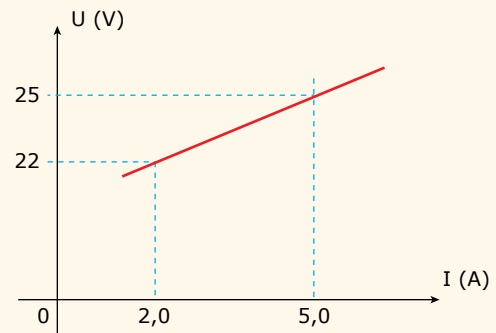
- A) 6,0 V.
- B) 5,0 V.
- C) 3,0 V.
- D) 1,0 V.
- E) 0,8 V.

09. (UEFS-BA) O gerador elétrico é um dispositivo que fornece energia às cargas elétricas elementares, para que essas se mantenham circulando.

Considerando-se um gerador elétrico que possui f.e.m. $\varepsilon = 40,0 \text{ V}$ e resistência interna $r = 5,0 \Omega$, é correto afirmar que

- A) a intensidade da corrente elétrica de curto-circuito é igual a 10,0 A.
- B) a leitura de um voltímetro ideal ligado entre os terminais do gerador é igual a 35,0 V.
- C) a tensão nos seus terminais, quando atravessado por uma corrente elétrica de intensidade $i = 2,0 \text{ A}$, é $U = 20,0 \text{ V}$.
- D) a intensidade da corrente elétrica que o atravessa é de 5,6 A, quando a tensão em seus terminais é de 12,0 V.
- E) ele apresenta um rendimento de 45%, quando atravessado por uma corrente elétrica de intensidade $i = 3,0 \text{ A}$.

10. (Mackenzie-SP) A tensão nos terminais de um receptor varia com a corrente, conforme o gráfico a seguir:



A f.c.e.m. e a resistência interna deste receptor são, respectivamente:

- A) 11 V e $1,0 \Omega$.
- B) 12,5 V e $2,5 \Omega$.
- C) 20 V e $1,0 \Omega$.
- D) 22 V e $2,0 \Omega$.
- E) 25 V e $5,0 \Omega$.

11. (UFMG) Nara liga um voltímetro, primeiro, a uma pilha nova e, em seguida, a uma pilha usada. Ambas as pilhas são de 9 V, e o voltímetro indica, igualmente, 9,0 V para as duas. Considerando essas informações,



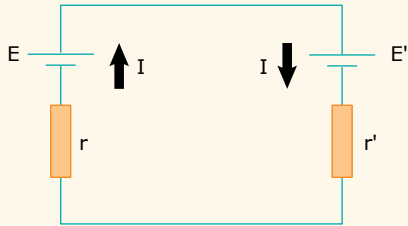
- A) Explique por que o voltímetro indica 9,0 V tanto para a pilha nova quanto para a pilha usada.
- B) Continuando sua experiência, Nara liga cada uma dessas pilhas a uma lâmpada de baixa resistência elétrica, especificada para 9 V. Então, ela observa que a lâmpada, quando ligada à pilha nova, acende normalmente, mas, quando ligada à pilha usada, acende com um brilho muito menor. Explique por que a lâmpada acende normalmente ao ser ligada à pilha nova e com brilho menor ao ser ligada à pilha usada.

12. (UPE) Um motor elétrico sob tensão 220 V é alimentado por uma corrente elétrica de 10 A. A potência elétrica útil do motor é de 2 000 W. Assinale a alternativa que corresponde à força contraeletromotriz, em volts, à resistência interna do motor, em ohms, e ao rendimento elétrico do motor, respectivamente.



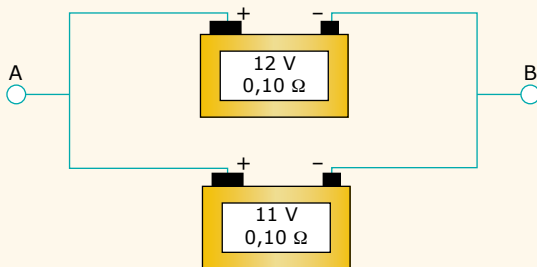
- A) 200; 2; 0,80.
- B) 200; 2; 0,91.
- C) 400; 4; 1.
- D) 400; 4; 0,80.
- E) 400; 4; 1,5.

- 13.** (UFU-MG) O circuito representado na figura a seguir mostra um gerador de força eletromotriz (E) igual a 12 V e resistência interna (r) de $2\ \Omega$, ligado a um receptor, de força contraeletromotriz (E') de 8 V e resistência interna (r') de $4\ \Omega$.



- A) Calcule o valor da intensidade da corrente que percorre o circuito.
B) Nas condições dadas, qual o rendimento obtido pelo gerador e pelo receptor?

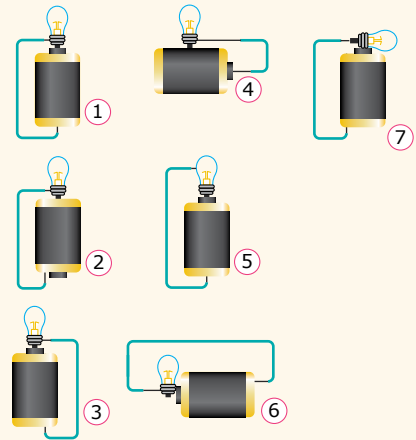
- 14.** (UFRJ) Um estudante dispunha de duas baterias comerciais de mesma resistência interna de $0,10\ \Omega$, mas verificou, por meio de um voltímetro ideal, que uma delas tinha força eletromotriz de 12 volts e a outra, de 11 volts . A fim de avaliar se deveria conectar em paralelo as baterias para montar uma fonte de tensão, ele desenhou o circuito indicado na figura a seguir e calculou a corrente i que passaria pelas baterias desse circuito.



- A) Calcule o valor encontrado pelo estudante para a corrente i .
B) Calcule a diferença de potencial $V_A - V_B$ entre os pontos A e B indicados no circuito.

SEÇÃO ENEM

- 01.** (Enem) Um curioso estudante, empolgado com a aula de circuito elétrico que assistiu na escola, resolveu desmontar sua lanterna. Utilizando-se da lâmpada e da pilha, retiradas do equipamento, e de um fio com as extremidades descascadas, faz as seguintes ligações com a intenção de acender a lâmpada:

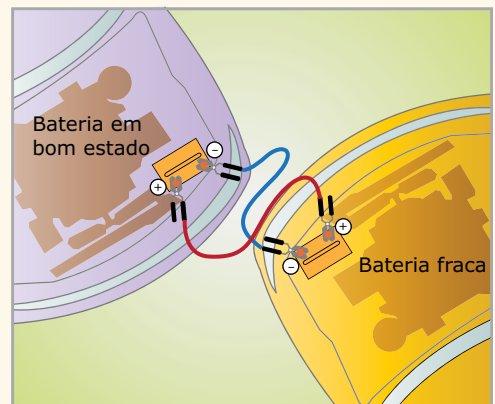


GONÇALVES FILHO, A.; BAROLLI, E.
Instalação elétrica: investigando e aprendendo.
São Paulo: Scipione, 1997 (Adaptação).

Tendo por base os esquemas mostrados, em quais casos a lâmpada acendeu?

- A) (1), (3), (6) D) (1), (3), (7)
B) (3), (4), (5) E) (1), (2), (5)
C) (1), (3), (5)

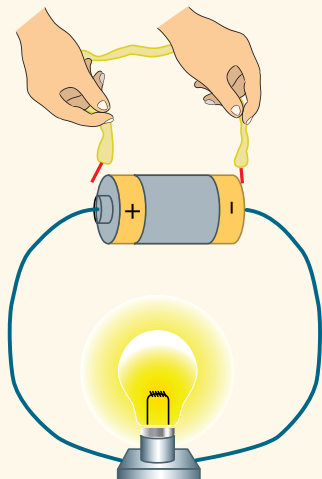
- 02.** A figura seguinte ilustra um procedimento de emergência usado pelos motoristas para recarregar uma bateria automotiva fraca, que consiste em ligar os polos dessa bateria aos polos de mesmos sinais de uma bateria em bom estado.



Um dos riscos desse procedimento é ligar as duas baterias de forma incorreta, interligando os polos de sinais contrários. Nesse caso, a corrente elétrica gerada é

- A) muito baixa, de modo que a bateria fraca, além de não ser recarregada, pode ser danificada.
B) baixa, a ponto de a recarga levar algumas horas, danificando a bateria em bom estado.
C) muito baixa, de modo que a bateria em bom estado pode perder toda a carga.
D) elevada, de modo que as baterias podem esquentar e explodir, espalhando ácidos.
E) elevada, de forma que pode haver fuga de cargas das baterias para o meio ambiente.

03. Um técnico liga uma lâmpada em uma grande pilha alcalina de resistência interna pequena, mas não desprezível. A lâmpada brilha normalmente. A seguir, o técnico aproxima as pontas de um cabo condutor dos polos da pilha, como ilustra a figura.



O brilho da lâmpada, quando as pontas do cabo tocam nos polos da pilha,

- A) diminui um pouco, pois, além de a corrente elétrica gerada diminuir, parte dela é desviada para o cabo condutor.
- B) diminui um pouco, pois a corrente elétrica gerada diminui devido ao aumento da resistência elétrica total do circuito.
- C) aumenta um pouco, pois a corrente elétrica gerada aumenta devido à diminuição da resistência elétrica total do circuito.
- D) cessa completamente, pois, embora a corrente elétrica gerada aumente, ela passa apenas através do cabo.
- E) cessa completamente, pois, além de a corrente elétrica gerada diminuir, toda a carga passa apenas através do cabo.

Propostos

Acertei _____ Errei _____

- 01. C
- 02. V F V V V
- 03. D
- 04. E
- 05. E
- 06. B
- 07. D
- 08. D
- 09. D
- 10. C
- 11.
 - A) Nos dois casos, o voltímetro mede a força eletromotriz da pilha, valor que não se altera com o uso.
 - B) A resistência interna da pilha velha é grande, por isso há uma queda de tensão apreciável em sua resistência interna. Na pilha nova, a queda de tensão interna na pilha é pequena, e a tensão entre os terminais da pilha é próxima de 9 volts.
- 12. B
- 13.
 - A) $i = \frac{2}{3} A \cong 0,67 A$
 - B) Gerador: $\eta = \frac{8}{9} \cong 0,89$; Receptor: $\eta = \frac{3}{4} = 0,75$
- 14.
 - A) $i = 5,0 A$
 - B) $V_A - V_B = 11,5 V$

GABARITO

Meu aproveitamento

Aprendizagem

Acertei _____ Errei _____

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| <input type="radio"/> 01. E | <input type="radio"/> 05. B |
| <input type="radio"/> 02. B | <input type="radio"/> 06. D |
| <input type="radio"/> 03. C | <input type="radio"/> 07. D |
| <input type="radio"/> 04. C | <input type="radio"/> 08. C |

Seção Enem

Acertei _____ Errei _____

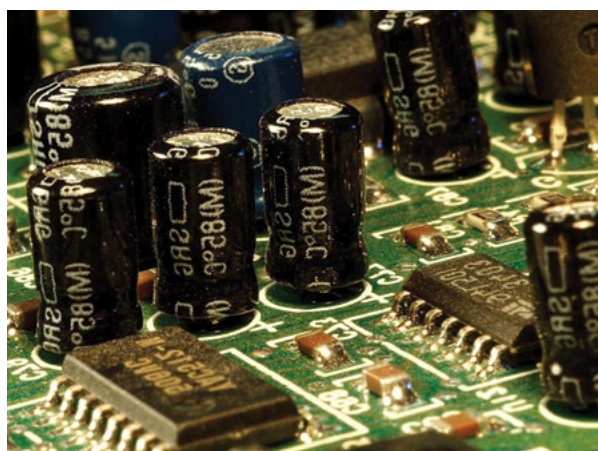
- 01. D
- 02. D
- 03. D



Total dos meus acertos: _____ de _____ . _____ %

Capacitores

Um capacitor é um condutor construído especificamente para armazenagem de carga e de energia elétrica. Os capacitores possuem diferentes aplicações; eles podem ser encontrados em um simples *flash* de uma máquina fotográfica e também em um marca-passo cardíaco. A Eletrônica não existiria sem os capacitores. Os conversores de corrente alternada em corrente contínua e os estabilizadores de tensão são exemplos de aparelhos que usam capacitores. A figura 1 mostra um circuito eletrônico típico. Os cilíndricos verticais são capacitores eletrolíticos, capazes de armazenar expressivas quantidades de carga elétrica.



Jon Sullivan / Domínio Público

Figura 1. Circuito constituído por vários capacitores, entre outros componentes eletrônicos.

Iniciaremos este módulo com uma discussão sobre a capacidade dos condutores de armazenar carga elétrica. Veremos que essa qualidade é medida por meio de uma propriedade dos condutores chamada de capacitância elétrica. A seguir, estudaremos os capacitores, com destaque para o capacitor constituído por duas placas condutoras planas e paralelas. Finalizaremos o módulo estudando associações de capacitores em um circuito elétrico.

A CAPACITÂNCIA ELÉTRICA

Um condutor não pode ser eletrizado indefinidamente. Por exemplo, quando a carga elétrica na esfera do gerador de Van de Graaf (Figura 2) atinge um valor crítico, a rigidez dielétrica do ar é atingida, e a esfera se descarrega por meio de uma descarga elétrica. A capacitância elétrica é uma propriedade que mede o quão eletrizado um condutor pode ficar.

Ela depende da geometria do condutor e do meio dielétrico que o envolve. O valor máximo de carga que uma esfera metálica pode armazenar é proporcional ao seu raio, mas também depende do meio dielétrico onde a esfera se encontra (em geral, esse meio é o ar). A carga máxima em uma pequena esfera metálica imersa no ar não é grande; entretanto, o módulo dessa carga máxima aumenta expressivamente quando a esfera é imersa em meios dielétricos especiais, como os óleos de transformador e as parafinas.

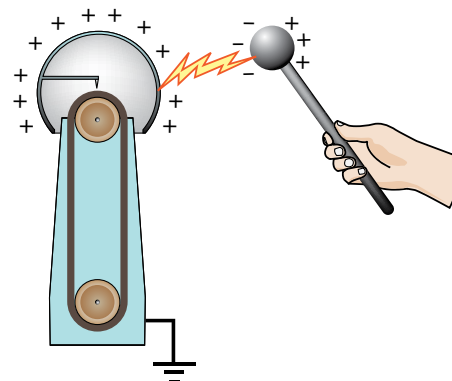


Figura 2. A esfera do gerador de Van de Graaf não pode ser eletrizada indefinidamente.

Agora, vamos definir operacionalmente a capacitância elétrica. Para isso, considere um condutor eletrizado com uma carga elétrica Q . Como consequência, o condutor apresenta um potencial elétrico V . Definimos a capacitância elétrica C desse condutor por meio da seguinte relação:

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

Se esse condutor for eletrizado com uma carga $2Q$, observa-se experimentalmente que o seu potencial elétrico torna-se $2V$, se a carga for $3Q$, o potencial torna-se $3V$, e assim por diante. Portanto, a capacitância de um condutor não depende de sua carga. De fato, um condutor apresenta capacitância elétrica mesmo quando ele se acha neutro, sem carga elétrica. Esse fato está de acordo com a discussão anterior, quando vimos que a capacitância de um condutor depende apenas de sua geometria e do meio que o envolve. Vamos exemplificar isso para o caso de uma esfera eletrizada e imersa no ar.

Utilizando a equação do potencial elétrico V de uma esfera condutora eletrizada com carga Q ($V = KQ/R$, em que K é a constante eletrostática do meio e R é o raio da esfera) na definição de capacitância, obtemos:

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{KQ/R} = \frac{R}{K}$$

Note que essa expressão, de fato, indica que a capacitância da esfera depende apenas da sua geometria (presença do raio no numerador) e do meio envolvente (presença da constante de eletrostática no denominador). Note também que a capacitância do condutor não depende do material do corpo.

A capacitância é uma grandeza escalar e sempre positiva. A sua unidade é obtida por meio da razão entre as unidades de carga e de potencial elétrico. No Sistema Internacional de Unidades, a unidade de capacitância elétrica é:

$$\text{Unidade de capacitância} = \frac{1 \text{ coulomb}}{1 \text{ volt}} = 1 \text{ farad} = 1 \text{ F}$$

Se um condutor apresentasse uma capacitância de 1 F, isso significaria que o seu potencial elétrico seria de 1 V, caso ele adquirisse uma carga de 1 C. De fato, 1 F é uma capacitância tão grande que nenhum condutor comum a possui. No caso de uma esfera condutora imersa no ar, o seu raio teria de ser imenso para que a sua capacitância fosse igual a 1 F. Utilizando a equação da capacitância da esfera, obtemos o tamanho desse raio:

$$C = \frac{R}{K_{\text{ar}}} \Rightarrow 1 = \frac{R}{9,0 \cdot 10^9} \Rightarrow R = 9,0 \cdot 10^9 \text{ m}$$

Esse valor é quase 13 vezes maior que o raio do Sol. Como os condutores apresentam capacitâncias bem menores que 1 F, é comum o uso de submúltiplos:

$$1 \text{ microfarad} = 1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$$

$$1 \text{ nanofarad} = 1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$$

$$1 \text{ picofarad} = 1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$$

CAPACITORES

Um capacitor é um dispositivo formado por dois condutores próximos, mas isolados entre si por um meio dielétrico. Ao serem ligados a uma fonte de tensão contínua (bateria, pilha, etc.), esses condutores eletrizam-se com cargas de mesmo módulo e de sinais contrários.

O mais simples dos capacitores é constituído por duas placas condutoras, planas e paralelas, separadas por um dielétrico (vácuo, ar, papel, etc.). Esse dispositivo pode ser chamado simplesmente de capacitor plano. As placas são também chamadas de armaduras. A figura 3 mostra um capacitor plano ligado a uma fonte de tensão V_{AB} .

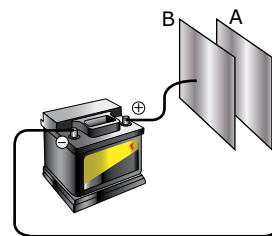


Figura 3. Capacitor de placas planas e paralelas.

Quando as placas do capacitor são ligadas à bateria, ocorrem dois movimentos ordenados de elétrons: um do polo negativo da bateria para a placa A, o outro da placa B para o polo positivo. Em geral, essa movimentação de cargas ocorre em uma fração de segundo. No final, a placa A apresenta carga $-Q$ e a placa B, carga $+Q$ (cargas de mesmo módulo e de sinais opostos). Embora a carga total do capacitor seja zero ($-Q + Q = 0$), referimo-nos ao dispositivo como estando completamente carregado. Nessas condições, o potencial elétrico na placa A é igual ao potencial do polo negativo, e o potencial elétrico da placa B é igual ao do polo positivo, ou seja, a d.d.p. entre as placas é igual à tensão da bateria. Mesmo que o capacitor seja desligado da bateria, as placas continuam eletrizadas com as cargas $+Q$ e $-Q$, e a d.d.p. entre elas permanece como antes.

Um capacitor não pode ser eletrizado por uma fonte de tensão alternada (como uma tomada de força residencial) simplesmente porque essa fonte alterna de polaridade. Assim, ora ela envia elétrons a uma placa do capacitor, ora ela retira esses elétrons da placa.

Similarmente ao caso de um condutor, a capacitância de um capacitor é definida pela razão entre o módulo da carga armazenada em um dos condutores e a diferença de potencial elétrico existente entre os dois condutores. Por exemplo, para o capacitor da figura 3, a capacitância poderia ser calculada por:

$$C = \frac{Q}{V_{AB}}$$

Vimos que a capacitância de um condutor depende apenas da sua geometria e do meio dielétrico que o envolve. Esse mesmo tipo de dependência ocorre com um capacitor plano. A capacitância desse dispositivo pode ser determinada em função da geometria do capacitor e do dielétrico entre suas armaduras por meio da expressão:

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

A razão A/d mede a influência da geometria do capacitor, em que A é a área de uma das placas e d é a distância entre elas. A constante ϵ representa a influência do meio dielétrico entre as placas do capacitor e é chamada de permissividade elétrica do meio. A permissividade ϵ relaciona-se com a constante eletrostática K . No vácuo, o seu valor é:

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi K_0} = \frac{1}{4\pi \cdot 9,0 \cdot 10^9} = 8,8 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$$

O valor da permissividade elétrica do ar (ϵ) é praticamente igual ao do vácuo (ϵ_0). A unidade C^2/Nm^2 também pode ser expressa em F/m . Isso pode ser provado facilmente combinando-se as equações anteriores para a capacitância.



PARA REFLETIR

As placas de um capacitor plano ligadas a uma bateria recebem a mesma quantidade de carga mesmo quando apresentam tamanhos diferentes?

EXERCÍCIO RESOLVIDO

01. Na figura 3, considere: bateria de 12 V, placas do capacitor de 10 cm . 10 cm e 1,0 mm de separação entre as placas. Calcular o campo elétrico entre as placas e a carga em cada uma delas. Discutir o que acontece com os valores da carga da d.d.p. e do campo elétrico entre as placas quando estas são aproximadas.

Resolução:

O campo elétrico entre as placas é dado por:

$$E = \frac{V_{AB}}{d} = \frac{12}{0,0010} = 1,2 \cdot 10^4 \text{ N/C}$$

A capacitância do capacitor (admitindo ar entre as placas) é:

$$C = \epsilon \frac{A}{d} = 8,8 \cdot 10^{-12} \frac{0,10 \cdot 0,10}{0,0010} = 88 \cdot 10^{-12} = 88 \text{ pF}$$

Utilizando o valor da capacitância C , podemos calcular a carga elétrica armazenada em cada placa:

$$Q = CV_{AB} = 88 \cdot 10^{-12} \cdot 12 = 1,1 \cdot 10^{-9} \text{ C} = 1,1 \text{ nC}$$

O campo elétrico pode também ser calculado pela expressão $E = 4K\pi Q/A$. Você pode deduzir essa equação fazendo combinações das expressões anteriores.

Vamos discutir o que acontecerá se as placas forem aproximadas. Como a distância d ficará menor, a capacitância C e o campo elétrico E aumentarão. Como V_{AB} se mantém constante (bateria ligada), a carga Q das placas aumentará proporcionalmente ao aumento de C . Por exemplo, se a distância cair para $d/2$, a capacitância e a carga serão $2C$ e $2Q$.

Comentário:

A distância d pode ser reduzida indefinidamente, de forma a aumentar C , Q e E indefinidamente? A resposta é não. Quando d fica suficientemente pequeno, o campo elétrico atinge 30 kV/cm, que é o valor da rigidez dielétrica do ar. Como você aprendeu no estudo sobre campo elétrico, esse é o valor máximo de campo elétrico que o ar pode suportar antes de tornar-se condutor elétrico. Qualquer aproximação extra das placas causa a ionização do ar, e o capacitor se descarrega por meio de uma descarga elétrica entre as placas.

Uma maior aproximação das placas do capacitor pode ser obtida com o uso de dielétricos especiais. Esses materiais apresentam a permissividade elétrica (ϵ) maior que a do ar ($\epsilon_0 = 1,0$) de um fator κ , conhecido como constante dielétrica ($\epsilon = \kappa\epsilon_0$). Além de aumentar a capacitância e a carga do capacitor, esses materiais apresentam rigidez dielétrica muito superior à do ar. De fato, é por isso que o capacitor suporta grandes quantidades de carga mesmo quando as placas ficam próximas (ou a tensão de alimentação é elevada). A tabela seguinte apresenta dados de dois dielétricos (além do ar) usados em capacitores planos.

Dielétrico	Constante dielétrica κ	Rigidez dielétrica (kV/cm)
Ar	1,0	30
Mica	6,0	600
Parafina	2,0	100

ENERGIA ARMazenada EM UM CAPACITOR



A figura 4 mostra a evolução temporal da carga elétrica em um capacitor ligado a uma fonte de tensão. Nesse exemplo, o capacitor atinge a carga máxima em apenas 5 ms. O tempo τ que o capacitor leva para atingir 63,2% da carga máxima é a constante de tempo do circuito. Nesse exemplo, $\tau = 1$ ms.

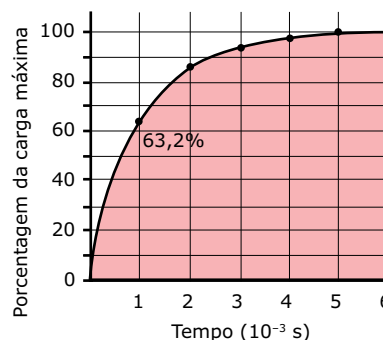


Figura 4. Percentual de carga em um capacitor em função do tempo.

Pode-se provar que $\tau = RC$, em que C é a capacitância do capacitor e R é a resistência elétrica dos fios que o ligam à fonte de tensão. Durante o carregamento, a d.d.p. entre as placas do capacitor aumenta proporcionalmente à carga adquirida por cada placa, como mostra a figura 5. Este gráfico é uma reta que passa pela origem porque $V = Q/C$, e C é constante. Naturalmente, a inclinação dessa reta é dada por $1/C$.

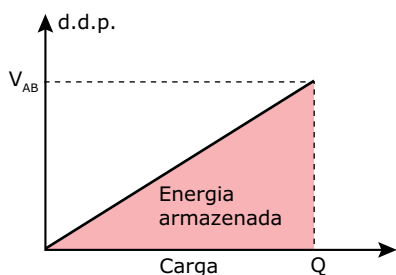


Figura 5. A área sob a curva de carregamento do capacitor, no gráfico d.d.p. em função da carga, fornece a energia armazenada no dispositivo.

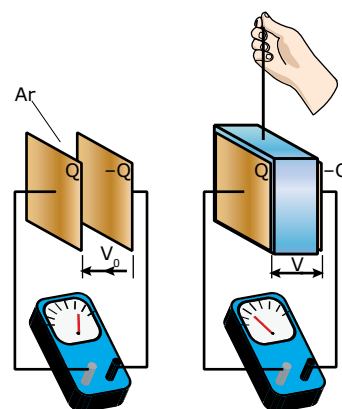
No estudo sobre o potencial elétrico, você aprendeu que o produto entre a tensão V_{AB} , entre dois pontos A e B e a carga q que se move de A para B, é igual à energia W que a fonte de potencial (por exemplo, uma carga Q) transfere à carga q ($W = V_{AB}q$). No caso do carregamento de um capacitor, essa equação não pode ser usada simplesmente porque a d.d.p. e a carga do capacitor não são constantes, elas evoluem durante o processo. Muitas equações utilizadas em Física são do tipo $Z = XY$, em que Z , X e Y são grandezas físicas. Em algumas situações, quando Y (ou X) não é constante, podemos calcular o valor de Z por meio da área sob o gráfico de Y em função de X (o caso mais famoso refere-se ao gráfico da velocidade *versus* tempo, cuja área representa a distância percorrida). No caso de um capacitor, podemos calcular a energia potencial elétrica, E_{PE} , acumulada em suas placas por meio da área sob a curva do gráfico da d.d.p. em função da carga armazenada (Figura 5). Essa energia é dada por:

$$E_{PE} = \frac{QV}{2} = \frac{CV^2}{2} = \frac{Q^2}{2C}$$

Em que Q é a carga máxima e V é a tensão da fonte (omitimos o índice AB para a equação ficar mais geral). A primeira equação é obtida a partir da área do triângulo do gráfico da figura 5. As outras duas expressões derivam da substituição de $Q = CV$ na primeira equação.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

02. Um capacitor carregado acha-se ligado a um voltímetro, como mostra a figura seguinte. A seguir, um dielétrico é introduzido lentamente no capacitor. Explicar por que a leitura do voltímetro diminui nesse processo. Mostrar que a energia potencial do capacitor diminui e explicar para onde é transferida essa parcela de energia.



Resolução:

A d.d.p. entre as placas do capacitor é dada por $V = Q/C$. Com a introdução do dielétrico, o valor da capacitância C aumenta de um fator $\kappa > 1$ (constante do dielétrico). A carga Q do capacitor não se altera, pois o dispositivo está isolado. Como a d.d.p. V entre as placas do capacitor é dada por $V = Q/C$, concluímos que V e C são grandezas inversamente proporcionais. Usando o índice "0" para denotar o sistema sem o dielétrico e a ausência de índice para denotar o sistema com o dielétrico, podemos escrever:

$$Q = Q_0$$

$$C = \kappa C_0$$

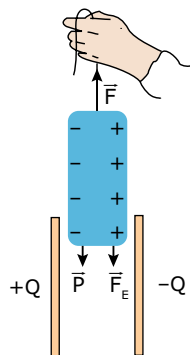
$$V = V_0/\kappa$$

Logo, a d.d.p. V entre as placas do capacitor irá diminuir devido ao aumento da capacitância C deste.

Como a energia no capacitor é dada por $E = QV/2$, concluímos que E é diretamente proporcional a V . Assim, a energia do capacitor, depois da introdução do dielétrico, torna-se menor ($E = E_0/\kappa$).

Para compreender essa transformação de energia, vamos analisar a figura seguinte, que mostra o dielétrico sendo introduzido no capacitor. Nesse processo, as placas eletrizadas do capacitor causam uma polarização no dielétrico. Cada face da peça adquire uma carga oposta em relação à placa adjacente. Por isso, as placas atraem o dielétrico para o interior do capacitor, realizando um trabalho. Aí está o motivo da redução de energia do capacitor.

Ele transfere parte de sua energia ao dielétrico por meio do trabalho despendido para puxá-lo para o interior do sistema. A pessoa, de fato, não trabalha para introduzir o dielétrico, ela apenas o sustenta com uma força de mesmo módulo e sentido oposto à resultante da força elétrica, exercida pelo capacitor, e do peso do dielétrico.



PARA REFLETIR

Um dielétrico é introduzido parcialmente em um capacitor de placas horizontais, desligadas da bateria que carregou o sistema. O que acontece ao dielétrico se ele for abandonado? (Despreze o atrito).



Laboratório de capacitores

Nesse simulador, é possível visualizar as cargas nas placas de um capacitor de acordo com a d.d.p. da bateria e as linhas do campo elétrico gerado por elas. Procure modificar a tensão da bateria e observe as cargas nas placas e as linhas de campo elétrico. É possível visualizar também as cargas na placa quando na presença de um dielétrico. Boa atividade!.



ASSOCIAÇÃO DE CAPACITORES
Associação em série



A figura 6(a) mostra uma associação em série de dois capacitores de capacitâncias C_1 e C_2 ligados a uma fonte de tensão V_{AB} . Depois de carregados, todas as armaduras apresentam cargas $+q$ e $-q$. Para entender isso, vamos analisar o retângulo tracejado envolvendo as cargas $-q$ e $+q$, mostrado na figura 6(a). Antes do carregamento, a carga elétrica dentro do retângulo vale zero. Ligando-se a fonte de tensão V_{AB} , o carregamento ocorre em pouco tempo. Depois disso, não há mais transferência de cargas entre as armaduras, e a carga dentro do retângulo deve permanecer nula. Sendo assim, as cargas nas armaduras dos capacitores ligados em série possuem o mesmo módulo.

Outra característica da associação em série refere-se à divisão da d.d.p. entre os capacitores. Na figura 6(a), a tensão V_{AB} divide-se entre o primeiro capacitor, que recebe a tensão V_{AC} , e o segundo, que recebe a tensão V_{CB} . Como a tensão é a razão entre a carga e a capacitância, e como as cargas nos capacitores de uma associação em série são iguais, concluímos que as tensões nos capacitores são inversamente proporcionais às suas respectivas capacitâncias. Na associação em série, o capacitor de menor capacitância recebe a maior tensão.

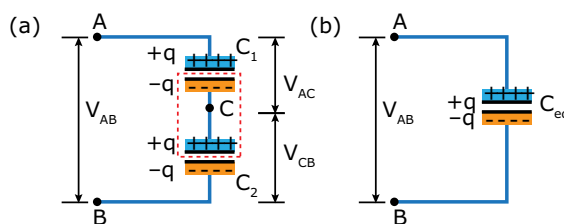


Figura 6. (a) Capacitores em série; (b) capacitor equivalente.

A figura 6(b) mostra o capacitor equivalente da associação mostrada na figura 6(a). Ligado à tensão V_{AB} , esse capacitor armazena a mesma carga que cada um dos capacitores do circuito original. Para calcular a capacitância equivalente (C_{eq}) do capacitor equivalente, em função das capacitâncias C_1 e C_2 , partimos de:

$$V_{AB} = V_{AC} + V_{CB}$$

Utilizando a relação $V = q/C$ nessa expressão, obtemos:

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

As cargas q são constantes e iguais. Assim, obtemos:

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

Se houvesse um terceiro capacitor (capacitância C_3), a parcela $1/C_3$ deveria ser acrescentada à soma anterior, e assim por diante para mais capacitores. Para apenas dois capacitores, a capacitância equivalente da associação pode ser determinada por meio da expressão alternativa a seguir. (Cuidado! Essa expressão é muito prática, mas ela se aplica exclusivamente para o caso de dois capacitores):

$$C_{eq} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

Para N capacitores idênticos (capacitância C) ligados em série, a capacitância equivalente da associação é:

$$C_{eq} = \frac{C}{N}$$

Depois de alguns exercícios, você notará que a capacitância equivalente de uma associação de capacitores em série apresenta um valor pequeno, sempre menor do que o das capacitâncias dos capacitores da associação.

Associação em paralelo

A figura 7(a) mostra uma associação em paralelo de dois capacitores de capacitâncias C_1 e C_2 , alimentados por uma fonte de tensão V_{AB} . No final do carregamento, as armaduras superiores dos capacitores estarão submetidas ao potencial elétrico V_A , e as armaduras inferiores estarão submetidas ao potencial V_B . Portanto, os capacitores de uma associação em paralelo acham-se submetidos à mesma diferença de potencial. Como a carga em cada capacitor é igual ao produto dessa d.d.p. pela sua respectiva capacitância, concluímos que o capacitor de maior capacitância apresentará a maior carga. Observe que a figura 7(a) foi feita mostrando o primeiro capacitor com armaduras maiores. Por isso, $C_1 > C_2$ e, conseqüentemente, $q_1 > q_2$.

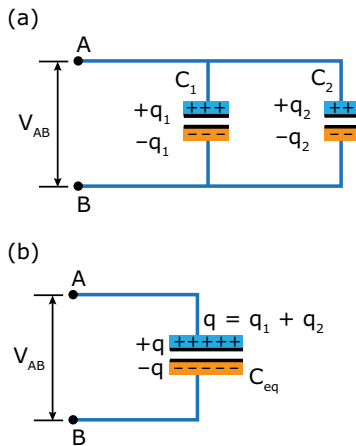


Figura 7. (a) Capacitores em paralelo; (b) capacitor equivalente.

A figura 7(b) mostra o capacitor equivalente da associação. Esse capacitor, quando ligado à tensão V_{AB} , armazena a soma das cargas adquiridas pelos capacitores do circuito original, como mostra a figura 7(b). A capacitância equivalente, C_{eq} , do capacitor equivalente pode ser calculada em função das capacitâncias C_1 e C_2 . Observe que:

$$q = q_1 + q_2$$

Utilizando a relação $q = CV$ nessa soma, obtemos:

$$C_{eq} V_{AB} = C_1 V_{AB} + C_2 V_{AB}$$

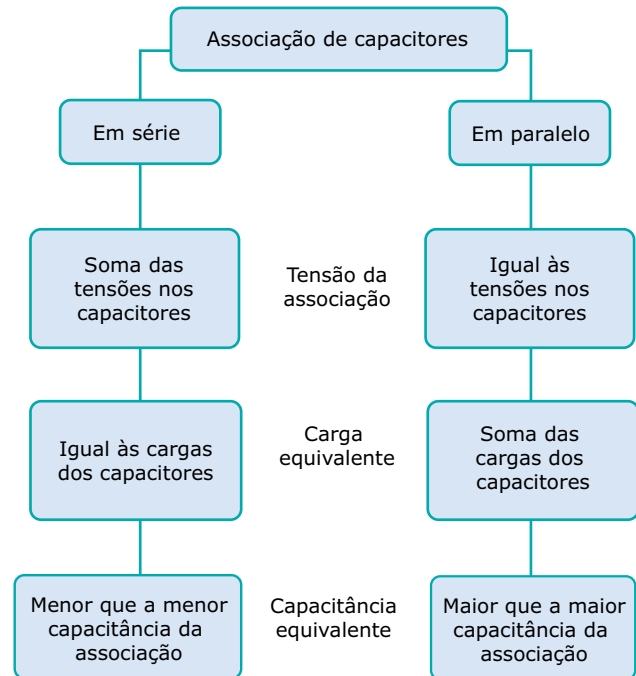
A tensão é constante e igual nos três termos. Assim, obtemos:

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

Se a associação tivesse outros capacitores, as suas capacitâncias deveriam ser acrescentadas à soma da expressão anterior. É fácil ver que a capacitância equivalente da associação em paralelo apresenta um valor maior que a maior capacitância do conjunto. Para uma associação com N capacitores de capacitâncias idênticas a C , a capacitância equivalente é dada por:

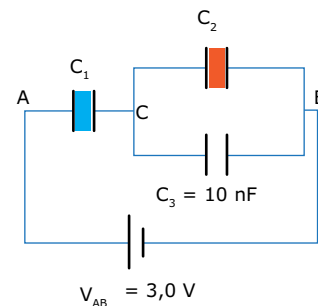
$$C_{eq} = NC$$

O mapa conceitual apresentado a seguir é um resumo comparativo sobre associações de capacitores. Faça a sua leitura e certifique-se de que você assimilou bem os conceitos sobre esse tema.



EXERCÍCIO RESOLVIDO

- 03.** Determinar a carga, a d.d.p. e a energia em cada capacitor plano da associação. Os capacitores têm geometrias idênticas, mas dielétricos diferentes. A tensão da bateria é $V_{AB} = 3,0$ V. O terceiro capacitor tem capacitância $C_3 = 10$ nF, e o seu dielétrico é o ar. As constantes dielétricas dos outros capacitores são $\kappa_1 = 6,0$ e $\kappa_2 = 2,0$.



Resolução:

Vamos calcular C_1 e C_2 . Como os capacitores apresentam geometrias idênticas, suas capacitâncias diferem apenas pelos dielétricos. O dielétrico do terceiro capacitor é o ar ($\kappa_3 = 1,0$), e a constante dielétrica do primeiro capacitor é $\kappa_1 = 6,0$. Logo, $C_1 = 6C_3 = 60$ nF. O segundo capacitor possui capacitância $C_2 = 2C_3 = 20$ nF, pois $\kappa_2 = 2,0$.

Agora, vamos calcular a capacitância equivalente do segundo e do terceiro capacitores (trecho CB). Como eles estão em paralelo, temos:

$$C_{23} = C_2 + C_3 = 20 + 10 = 30 \text{ nF}$$

Como o primeiro capacitor e o capacitor equivalente do trecho CB estão em série, a capacitância equivalente da associação é dada por:

$$C_{\text{eq}} = \frac{C_1 C_{23}}{C_1 + C_{23}} = \frac{60 \cdot 30}{60 + 30} = 20 \text{ nF}$$

A carga elétrica armazenada no capacitor equivalente é:

$$q = C_{\text{eq}} V_{\text{AB}} = 20 \cdot 10^{-9} \cdot 3,0 = 60 \cdot 10^{-9} \text{ C} = 60 \text{ nC}$$

Esse é também o valor da carga nos capacitores de capacitâncias C_1 e C_{23} , pois eles estão em série. Assim:

$$q_1 = q_{23} = 60 \text{ nC}$$

As tensões nesses dois capacitores são:

$$V_{\text{CB}} = \frac{q_{23}}{C_{23}} = \frac{60 \cdot 10^{-9}}{30 \cdot 10^{-9}} = 2,0 \text{ V}$$

e

$$V_{\text{AC}} = \frac{q_1}{C_1} = \frac{60 \cdot 10^{-9}}{60 \cdot 10^{-9}} = 1,0 \text{ V}$$

Note que a soma dessas tensões é a tensão total, e que o capacitor de menor capacitância recebe a maior parcela da tensão. O segundo e o terceiro capacitores estão ligados em paralelo, e suas tensões são iguais a V_{CB} . Suas cargas são:

$$q_2 = C_2 V_{\text{CB}} = 20 \cdot 10^{-9} \cdot 2,0 = 40 \text{ nC}$$

$$q_3 = C_3 V_{\text{CB}} = 10 \cdot 10^{-9} \cdot 2,0 = 20 \text{ nC}$$

Note que a soma dessas cargas é igual à carga q_{23} (carga total do trecho CB). Note também que a carga q_2 é o dobro da carga q_3 , porque a capacitância C_2 é o dobro de C_3 .

Por fim, as energias armazenadas nos capacitores são:

$$E_1 = \frac{q_1 V_1}{2} = \frac{60 \cdot 1,0}{2} = 30 \text{ nJ}$$

$$E_2 = \frac{q_2 V_2}{2} = \frac{40 \cdot 2,0}{2} = 40 \text{ nJ}$$

$$E_3 = \frac{q_3 V_3}{2} = \frac{20 \cdot 2,0}{2} = 20 \text{ nJ}$$

A energia total armazenada na associação de capacitores é igual à soma das energias armazenadas em cada um dos capacitores (90 nJ). Esse valor também poderia ser calculado utilizando o conceito de capacitor equivalente:

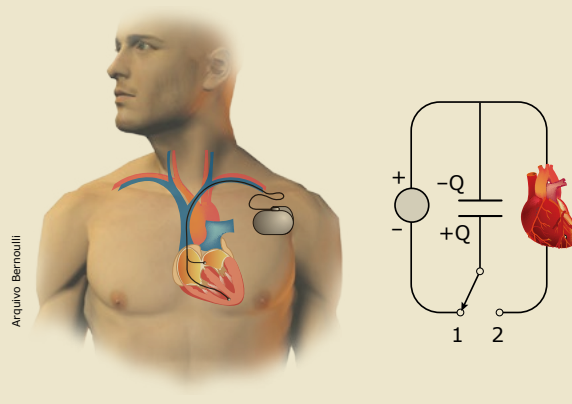
$$E = \frac{q V_{\text{AB}}}{2} = \frac{60 \cdot 3,0}{2} = 90 \text{ nJ}$$

MARCA-PASSO

Neste módulo, estudamos os capacitores. Vimos que eles são usados para armazenar energia elétrica. Estudamos as características dos capacitores e algumas formas de associá-los em um circuito elétrico. Nesta leitura, abordaremos uma das aplicações dos capacitores. Esse dispositivo encontra-se presente em seu dia a dia muito mais do que você possa imaginar.

Algumas pessoas apresentam disritmia cardíaca, isto é, seus batimentos cardíacos não ocorrem em um compasso capaz de garantir uma boa irrigação sanguínea às várias partes do corpo. Além do uso de medicamentos, uma forma de corrigir o problema consiste em gerar periodicamente uma pequena descarga elétrica no coração. Esse microchoque atua como um estímulo regulador dos batimentos cardíacos. O aparelho usado para isso é chamado de marca-passo.

A figura a seguir mostra o circuito elétrico do marca-passo cardíaco. Esse aparelho médico consiste basicamente de uma pilha elétrica, de um capacitor e de uma chave seletora. A chave está ora na posição 1, ora na posição 2. Em 1, o capacitor é carregado, em 2, ele é descarregado. É justamente nessa etapa que o capacitor envia o estímulo elétrico ao coração. Um capacitor de 2,0 pF, alimentado por uma pilha de 1,0 V, armazena uma energia de 1 pJ. Essa ínfima quantidade de energia, liberada periodicamente, permite que o coração trabalhe mais harmoniosamente.



EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



01. (UEPG-PR) A energia elétrica pode ser armazenada em um dispositivo comum chamado de capacitor, muito encontrado em circuitos eletrônicos. Sobre capacitores, assinale o que for correto.

01. Quando a distância entre as armaduras de um capacitor plano aumenta, o campo elétrico entre as placas do capacitor também aumenta.
02. Aumentando, excessivamente, a carga de um capacitor, aumenta-se, também, o campo elétrico entre as armaduras, e o dielétrico pode perder a sua propriedade isolante.
04. Quando a distância entre as armaduras de um capacitor plano é aumentada, a energia elétrica potencial armazenada no capacitor também é aumentada.
08. Capacitores ligados em série ficam todos submetidos ao mesmo potencial.
16. Capacitância C de um capacitor é a razão entre a carga elétrica de uma das armaduras e a diferença de potencial entre elas.

Soma ()

02. (IME-RJ) Um capacitor de placas paralelas, entre as quais existe vácuo, está ligado a uma fonte de tensão. Ao se introduzir um dielétrico entre as placas,

- A) a carga armazenada nas placas aumenta.
- B) o campo elétrico na região entre as placas aumenta.
- C) a diferença de potencial entre as placas aumenta.
- D) a capacitância diminui.
- E) a energia armazenada no capacitor diminui.

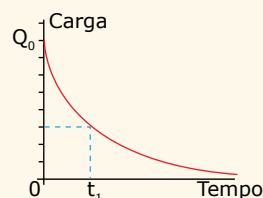
03. (Mackenzie-SP) A capacitância de um capacitor aumenta quando um dielétrico é inserido preenchendo todo o espaço entre suas armaduras. Tal fato ocorre porque

- A) cargas extras são armazenadas no dielétrico.
- B) átomos do dielétrico absorvem elétrons da placa negativa para completar suas camadas eletrônicas externas.
- C) as cargas agora podem passar da placa positiva à negativa do capacitor.
- D) a polarização do dielétrico reduz a intensidade do campo elétrico no interior do capacitor.
- E) o dielétrico aumenta a intensidade do campo elétrico.

04. (Unimontes-MG) Um capacitor, cuja capacitância é $20 \mu\text{F}$ ($1 \mu = 1 \cdot 10^{-6}$), é carregado através da aplicação de uma d.d.p de 100 V entre suas placas. A energia armazenada no capacitor é

- A) $5 \cdot 10^{-1} \text{ J}$.
- B) $3 \cdot 10^{-2} \text{ J}$.
- C) $1 \cdot 10^{-2} \text{ J}$.
- D) $1 \cdot 10^{-1} \text{ J}$.

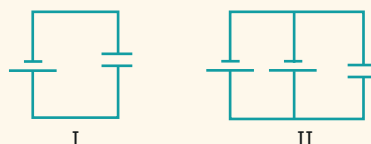
05. (UFC-CE) A figura a seguir representa o processo de descarga de um capacitor em função do tempo. No tempo $t = 0$, a diferença de potencial entre as placas do capacitor era $V_0 = 12 \text{ volts}$.



No instante de tempo t_1 , assinalado no gráfico, a diferença de potencial entre as placas do capacitor é

- A) $1,5 \text{ V}$.
- B) $3,0 \text{ V}$.
- C) $4,5 \text{ V}$.
- D) $6,0 \text{ V}$.
- E) $7,5 \text{ V}$.

06. (UECE) Observe a figura a seguir.



Considere os circuitos anteriores, com capacitores iguais e de capacitância C , e baterias idênticas que fornecem uma tensão V cada uma. Sobre as cargas Q_I e Q_{II} acumuladas nos capacitores dos circuitos I e II, respectivamente, é correto afirmar-se que

- A) $Q_I = Q_{II} (\neq 0)$.
- B) $Q_I = 2Q_{II}$.
- C) $Q_I = Q_{II}/2$.
- D) $Q_I = Q_{II} = 0$.

07. (Unifor-CE-2016) O flash de uma máquina fotográfica é um dos principais aliados de qualquer fotógrafo. Ele consiste em uma fonte de luz pontual ou, mais concretamente, um dispositivo auxiliar que emite, pontualmente, uma quantidade de luz sobre uma cena de modo a melhor a iluminar.



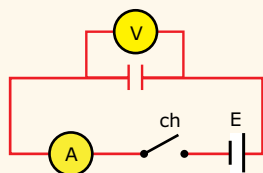
Um capacitor pode descarregar toda sua carga em uma pequena fração de segundo. É por isso que o flash eletrônico em uma câmera utiliza um capacitor. A pilha carrega o capacitor do flash durante vários segundos, e então o capacitor descarrega toda a carga no bulbo do flash quase que instantaneamente.

A energia utilizada em um flash de uma máquina fotográfica é armazenada em um capacitor que consiste em dois condutores separados por uma pequena distância e que possuem cargas contrárias.

Caso a quantidade de carga nos condutores seja reduzida pela metade, o que acontece com o valor da energia armazenada nesse capacitor?

- A) O valor da energia é mantido.
- B) O valor da energia é dividido por dois.
- C) O valor da energia é multiplicado por dois.
- D) O valor da energia é dividido por quatro.
- E) O valor da energia é multiplicado por quatro.

08. (UFTM-MG) Um capacitor foi conectado a uma pilha de d.d.p. 1,5 V por meio de fios de resistência elétrica insignificante.

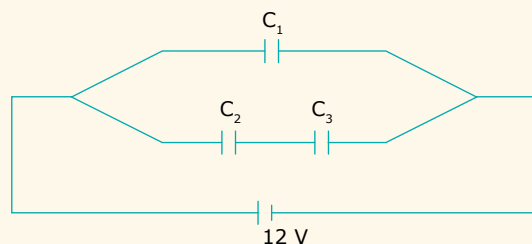


- Quando a chave ch for ligada, o voltímetro indicará
- A) imediatamente o valor máximo de 1,5 V, assim como o amperímetro indicará no mesmo instante um valor máximo, permanecendo ambas as leituras inalteradas com o passar do tempo.
 - B) inicialmente 0 V, aumentando com o tempo até 1,5 V, enquanto o amperímetro manterá a indicação do valor máximo e diferente de zero para a corrente elétrica.
 - C) inicialmente 1,5 V, mostrando gradativamente uma queda na diferença de potencial até o valor 0 V, enquanto o amperímetro, partindo de 0 A, mostrará valores crescentes até um valor máximo.
 - D) imediatamente 1,5 V, enquanto o amperímetro indicará o valor 0 A, mantendo ambas as indicações inalteradas com o tempo.
 - E) imediatamente 1,5 V, enquanto o amperímetro, partindo de um valor máximo, mostrará uma gradual queda de corrente até atingir o valor 0 A.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS



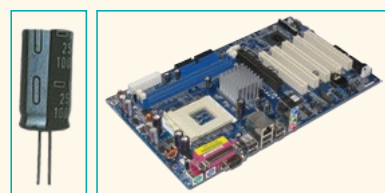
01. (UFRR) Considere a associação de capacitadores conforme mostrado na figura a seguir.



Os capacitores têm capacitância de $C_1 = C_2 = C_3 = 6 \mu\text{F}$ alimentados por uma bateria de 12 V, a carga nos capacitores é

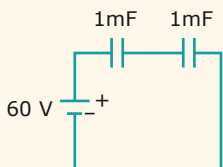
- A) $Q_1 = 36 \mu\text{C}$, $Q_2 = 72 \mu\text{C}$ e $Q_3 = 36 \mu\text{C}$.
- B) $Q_1 = 36 \mu\text{C}$, $Q_2 = 36 \mu\text{C}$ e $Q_3 = 36 \mu\text{C}$.
- C) $Q_1 = 72 \mu\text{C}$, $Q_2 = 36 \mu\text{C}$ e $Q_3 = 36 \mu\text{C}$.
- D) $Q_1 = 36 \mu\text{C}$, $Q_2 = 36 \mu\text{C}$ e $Q_3 = 72 \mu\text{C}$.
- E) $Q_1 = 72 \mu\text{C}$, $Q_2 = 36 \mu\text{C}$ e $Q_3 = 18 \mu\text{C}$.

02. (UESPI) A figura à esquerda ilustra um capacitor eletrolítico do tipo bastante utilizado em dispositivos elétricos em geral, tais como placas-mães (figura à direita) e placas de vídeo de computadores. A sua função é essencialmente armazenar pequenas quantidades de energia, de modo a absorver variações na corrente elétrica, protegendo os demais componentes eletrônicos do circuito ligados a ele. Qual a quantidade de energia elétrica armazenada por um capacitor eletrolítico de capacitância $100 \text{ mF} = 10^{-4} \text{ F}$, submetido a uma tensão de 60 V entre os seus terminais?

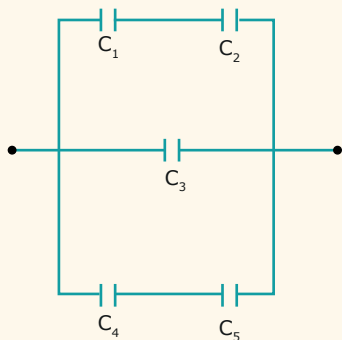


- A) 0,09 J.
- B) 0,18 J.
- C) 0,27 J.
- D) 0,36 J.
- E) 0,42 J.

- 03.** (FPS-PE-2015) Uma bateria ideal de 60 V é ligada ao circuito mostrado na figura a seguir, formado por dois capacitores ligados em série. Cada capacitor tem uma capacitância igual a $C = 1 \text{ mF}$ (10^{-3} F). A energia potencial elétrica U_e armazenada em cada um dos capacitores e a carga elétrica Q de cada capacitor serão, respectivamente:

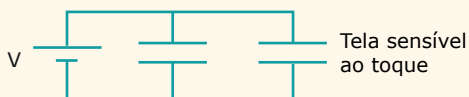


- A) $U_e = 0,45 \text{ joule}$, $Q = 0,03 \text{ coulomb}$
 B) $U_e = 0,45 \text{ joule}$, $Q = 0,06 \text{ coulomb}$
 C) $U_e = 0,90 \text{ joule}$, $Q = 0,03 \text{ coulomb}$
 D) $U_e = 0,90 \text{ joule}$, $Q = 0,06 \text{ coulomb}$
 E) $U_e = 9 \text{ joules}$, $Q = 6 \text{ coulombs}$
- 04.** (FPS-PE) Na figura a seguir, 5 capacitores iguais estão ligados em um circuito formado por uma associação mista de capacitores. O valor de cada capacitância é igual a 0.01 farad. A capacitância equivalente da associação mista será:



- A) 0,02 Farad
 B) 0,01 Farad
 C) 0,04 Farad
 D) 0,1 Farad
 E) 0,2 Farad
- 05.** (UFPB) Uma tela sensível ao toque é composta por duas placas condutoras e paralelas, separadas por um dielétrico, constituindo, dessa forma, um capacitor. Ao ser tocado por um dedo, a carga acumulada no capacitor é modificada, alterando a sua capacitância.

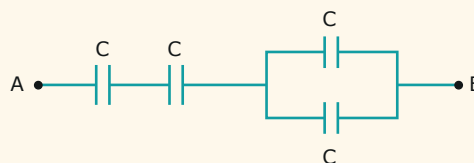
Em um protótipo simplificado de tela sensível ao toque, dois capacitores, inicialmente com capacitância C , estão em paralelo submetidos à mesma voltagem V , e acumulando uma carga Q , em cada um deles, conforme figura a seguir.



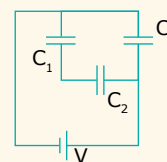
O capacitor da direita é a tela sensível ao toque e, ao ser tocado, a carga acumulada é modificada para $Q/2$, mantida a voltagem.

Nessas condições, a capacitância do capacitor equivalente a essa configuração passa a ser:

- A) $C/2$
 B) C
 C) $3C/2$
 D) $2C$
 E) $5C/2$
- 06.** (UERJ) Considere a associação de capacitores a seguir. Se a capacidade equivalente dessa associação é igual a 2 mF, a capacidade de cada capacitor é:

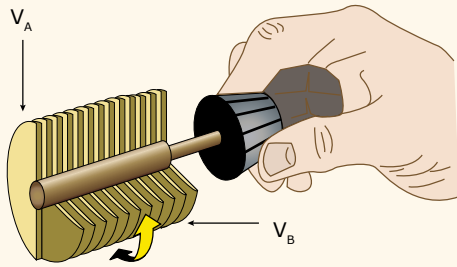


- A) 1 mF.
 B) 4 mF.
 C) 5 mF.
 D) 10 mF.
- 07.** (Unir-RO) Os capacitores no circuito a seguir têm capacitâncias $C_1 = 2 \text{ pF}$, $C_2 = 4 \text{ pF}$ e $C_3 = 3 \text{ pF}$, e a voltagem da fonte é 10 V.



Qual a carga total, aproximadamente, armazenada no capacitor desse circuito?

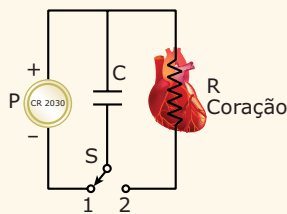
- A) 52 pC.
 B) 22 pC.
 C) 43 pC.
 D) 09 pC.
 E) 90 pC.
- 08.** (UEFS-BA) O capacitor é o elemento do circuito eletrônico que tem a função de acumular cargas elétricas. Um técnico em eletrônica precisa de um capacitor de $2,5 \mu\text{F}$, mas só dispõe de capacitores de $1,0 \mu\text{F}$. Uma associação para que ele consiga esse valor terá, no mínimo, um número de capacitores igual a
- A) um.
 B) dois.
 C) três.
 D) quatro.
 E) cinco.



Estes semidiscos metálicos formam um conjunto de

- A) capacitores planos de capacitâncias variáveis associados em paralelo.
- B) capacitores planos de capacitâncias constantes associados em paralelo.
- C) capacitores planos de capacitâncias variáveis associados em série.
- D) capacitores planos de capacitâncias constantes associados em série.
- E) capacitores planos de capacitância variáveis associados de forma mista.

03. A disritmia é um problema cardíaco que pode ser tratado com o uso de um marca-passo. Esse dispositivo é constituído por uma pilha elétrica P, por um capacitor C, por uma resistência elétrica R, que é o próprio coração, e por uma chave seletora S, que ora está na posição 1, ora na posição 2.



Quando a chave seletora está na posição 1, o capacitor é

- A) carregado, enquanto, na posição 2, o capacitor é descarregado, com o coração recebendo um estímulo elétrico.
- B) descarregado, com o coração recebendo um estímulo elétrico, enquanto, na posição 2, o capacitor é carregado.
- C) carregado, com o coração recebendo um estímulo elétrico, enquanto, na posição 2, o capacitor é descarregado.
- D) descarregado, enquanto, na posição 2, o capacitor é carregado, com o coração recebendo um estímulo elétrico.
- E) descarregado, assim como ocorre na posição 2, com o coração recebendo ininterruptamente um estímulo elétrico.

GABARITO

Meu aproveitamento

Aprendizagem

Acertei _____ Errei _____

- 01. Soma = 22
- 02. A
- 03. D
- 04. D
- 05. C
- 06. A
- 07. D
- 08. E

Propostos

Acertei _____ Errei _____

- 01. C
- 02. B
- 03. A
- 04. A
- 05. C
- 06. C
- 07. C
- 08. D
- 09. C
- 10. D
- 11.
 - 1. Não será alterada.
 - 2. O campo elétrico produzido pelas placas polariza o material isolante, criando em seu interior um campo de sentido contrário. Dessa forma, o campo resultante é menor.

Seção Enem

Acertei _____ Errei _____

- 01. E
- 02. A
- 03. A



Total dos meus acertos: _____ de _____ . _____ %

Campo Magnético

Estamos, agora, iniciando o estudo de uma das partes mais fascinantes da Física – o Eletromagnetismo. Sua aplicação vai desde o senso de direção das aves migrantes até o mais moderno aparelho de diversão, de medicina ou de transporte. Além, é claro, de coisas simples, como a utilização de um ímã para coletar parafusos caídos pelo chão.

Durante muito tempo, a Eletricidade e o Magnetismo foram dois ramos da Física que se desenvolviam separadamente. No ano de 1820 – um marco na história da Ciência –, o professor e físico dinamarquês Hans C. Oersted realizou uma célebre experiência, que permitiu unir definitivamente esses dois campos da Física. Oersted descobriu que uma carga elétrica em movimento gera um campo magnético. Em 1831, o físico Michael Faraday descobriu que é possível, sob certas condições, obter-se uma corrente elétrica a partir de um campo magnético. Desde então, a Eletricidade e o Magnetismo fazem parte do mesmo ramo da Física – o Eletromagnetismo.

PROPRIEDADES DE UM ÍMÃ

Um ímã é um objeto capaz de interagir com outros ímãs e com alguns metais (ferro, níquel e cobalto, por exemplo). Objetos compostos pelos metais citados serão sempre atraídos pelos ímãs, e estes, entre si, podem se atrair ou se repelir. É notável que a atração (ou repulsão) é mais intensa em duas regiões dos ímãs, chamadas polos. Normalmente um ímã em forma de barra ou de ferradura possui seus polos situados nas extremidades. Veja a seguir como a limalha de ferro se concentra nos polos dos ímãs.

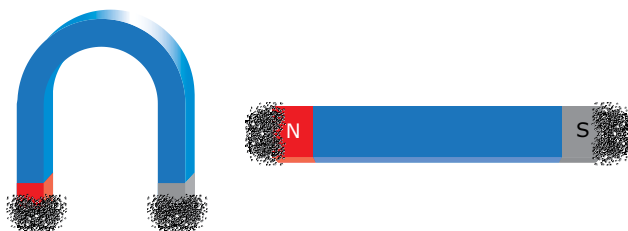
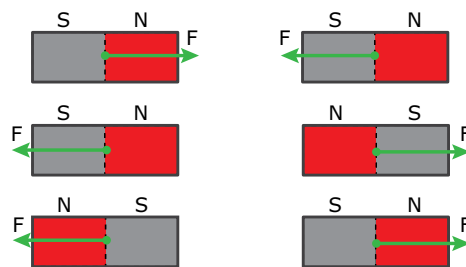


Figura 1. Polos de um ímã.

Se você suspender um ímã em forma de barra, fixando um fio em seu centro de gravidade, vai perceber que ele se orienta, aproximadamente, na direção norte-sul da Terra.

O polo que aponta para a região norte da Terra é chamado de **polo norte** do ímã. O outro polo, virado para o sul da Terra, é o **polo sul** do ímã.

Veja a seguir o que acontece com dois ímãs colocados próximos um ao outro. Note que existe uma força de atração entre os ímãs no primeiro caso, e uma força de repulsão nos outros dois.



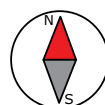
A experiência anterior nos permite concluir que:

Polos de **mesmo** nome se **repelem**, e polos de nomes **contrários** se **atraem**.

Uma bússola nada mais é do que um ímã leve e pequeno apoiado sobre um pivô, em torno do qual pode girar livremente.



Sabemos que as bússolas vêm sendo usadas há séculos nas navegações e também, é claro, naqueles passeios que muitos fazem por trilhas no meio das matas. A figura seguinte mostra uma bússola de forma esquemática.



Por convenção, neste material, o polo norte será sempre pintado de vermelho.

CAMPO MAGNÉTICO

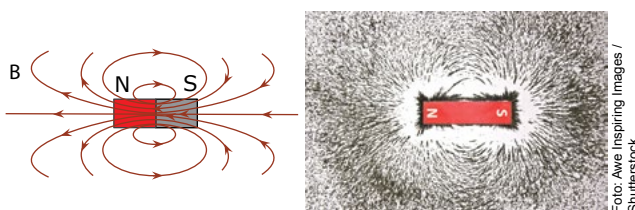
No espaço em torno da Terra, existe um campo gravitacional (uma massa, aí colocada, sofre a ação de uma força gravitacional exercida pelo campo gravitacional terrestre). De forma análoga, na região em torno de uma carga elétrica, existe um campo elétrico (uma carga, colocada nessa região, sofre a ação de uma força elétrica). Tais campos foram usados para explicar por que as forças gravitacional e elétrica se manifestam mesmo a distância, ou seja, sem que os corpos estejam em contato (força de ação a distância).

A força magnética do ímã sobre um pedaço de ferro ou sobre outro ímã também é uma força de ação a distância. Assim, vamos estender o conceito de campo também para o magnetismo.

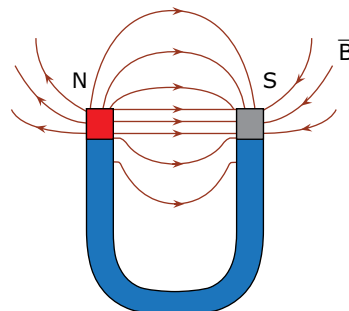
Imagine um bloco de ferro colocado próximo a um ímã. O bloco, nessa situação, sofrerá a ação de uma força de origem magnética exercida pelo ímã. Assim, dizemos que no espaço em torno do ímã existe um campo magnético (também chamado de campo de indução magnética). De maneira análoga aos campos elétrico e gravitacional, o campo magnético pode ser representado por um conjunto de linhas, nesse caso, de linhas de campo magnético ou linhas de indução magnética. As linhas de indução magnética, ao contrário das linhas de força do campo elétrico e do campo gravitacional, são linhas fechadas e têm como função, basicamente, fornecer

1. a direção e o sentido do campo magnético em cada ponto em torno do corpo gerador desse campo.
2. uma noção da intensidade do campo magnético. Quanto maior for a concentração das linhas de indução magnética em determinada região (densidade de linhas), maior será o valor do campo magnético nesse local.

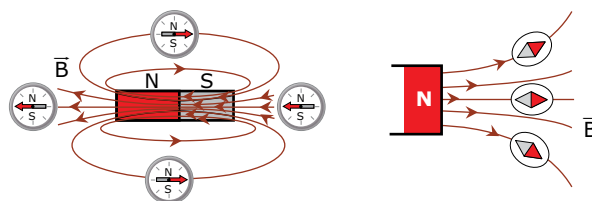
As figuras a seguir representam as linhas de indução magnética de um ímã em forma de barra. Observe como as linhas de indução estão mais concentradas próximo aos polos do ímã (percebeu agora por que a limalha de ferro da figura 1 se concentra nos polos?). Veja, também, que as linhas entram no ímã pelo polo sul e saem dele pelo polo norte.



A figura a seguir mostra um ímã em forma de ferradura e algumas linhas de indução do campo magnético gerado por esse ímã. Na região entre os polos, as linhas são praticamente paralelas, o que indica que nesse local o campo magnético é praticamente uniforme.

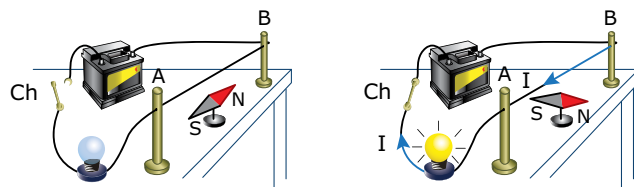


Uma agulha magnética (bússola), colocada em uma região onde existe um campo magnético, alinha-se na direção desse campo. O polo norte da agulha fica, **sempre**, orientado no mesmo sentido do campo magnético que a envolve (figuras a seguir).



A EXPERIÊNCIA DE OERSTED

Em 1820, o cientista Hans C. Oersted realizou uma experiência que demonstrou que os fenômenos elétricos e magnéticos estão intimamente relacionados. As figuras a seguir mostram uma montagem semelhante àquela utilizada por Oersted. Uma bússola se encontra sob o fio AB, que está ligado a uma bateria. Com a chave Ch aberta (não há corrente no circuito), a bússola se orienta na direção e no sentido do campo magnético terrestre. Fechando-se a chave Ch, observamos que a agulha da bússola gira, tendendo a se alinhar em uma direção ortogonal ao fio AB.



A bússola, que está sob o fio, aponta para o norte da Terra.

A bússola orienta-se na direção ortogonal ao fio.

Assim como Oersted, deduzimos que a corrente elétrica deve criar um campo magnético em torno do fio. Em outras palavras, assim como um ímã, uma corrente elétrica também exerce uma força magnética sobre uma bússola.

Conclusão

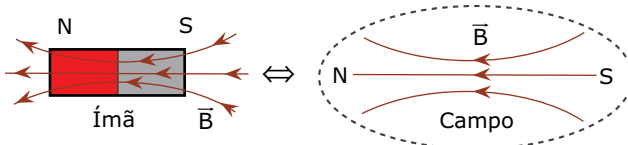
A corrente elétrica (carga elétrica em movimento) que passa no fio gera um campo magnético, ortogonal a essa corrente.

IMPORTANTE

1. Toda carga elétrica em **movimento** gera um campo magnético ortogonal a esse movimento.
2. O vetor \vec{B} (**campo magnético**) é, sempre, tangente às linhas de indução magnética.

Assim, nas palavras do professor e escritor brasileiro Marcelo Gleiser, "A Eletricidade e o Magnetismo foram unificados pelo Movimento".

Podemos estabelecer uma relação entre campos magnéticos e polos norte e sul de um ímã. Um ímã gera um campo magnético cujas linhas de indução magnéticas saem pelo norte e entram pelo sul. Da mesma forma, quando temos um campo magnético, podemos associar a ele polos norte e sul (dipolo magnético), a partir da orientação das linhas de indução desse campo. Assim, um ímã e um campo magnético (gerado por uma carga elétrica em movimento) são equivalentes e atuam de forma semelhante. Veja a seguir:



ALGUNS CAMPOS MAGNÉTICOS IMPORTANTES

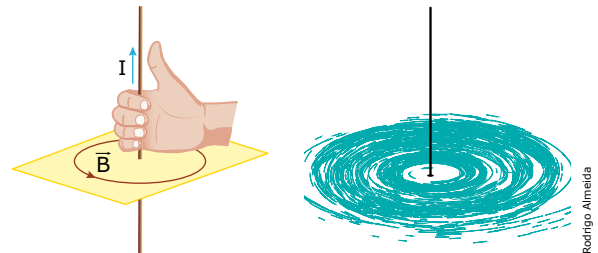
Para estudarmos o Eletromagnetismo, necessitamos de três dimensões do espaço para representar as grandezas físicas. Como a folha de papel tem apenas duas (comprimento e largura), faz-se necessário usar a dimensão perpendicular à folha. Assim, antes de continuarmos nosso estudo, vamos fazer uma convenção. Uma grandeza perpendicular à folha, seja ela campo, corrente, força ou velocidade, poderá ser identificada conforme a simbologia seguinte:

- ⊙ grandeza saindo da folha de papel (para cima).
- ⊗ grandeza entrando na folha de papel (para baixo).

Agora, tendo a convenção anterior em mente, vamos estudar alguns campos magnéticos importantes.

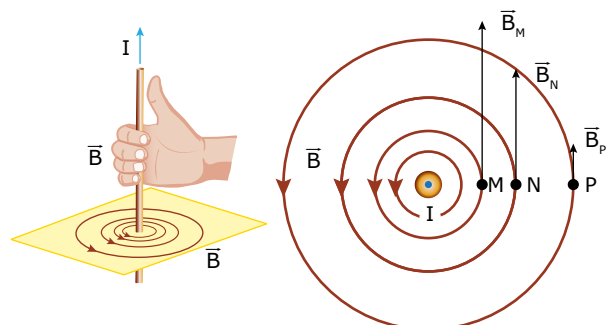
Campo magnético em torno de um fio retilíneo

As linhas de indução magnética em torno de um fio retilíneo, longo e percorrido por uma corrente elétrica, são circulares e concêntricas ao fio. O sentido das linhas de indução pode ser determinado a partir de uma regra prática, conhecida como **regra da mão direita** ou **regra de Ampere**. A figura a seguir ilustra como aplicar essa regra.



Aponte o dedo polegar da mão direita no sentido da corrente elétrica (sentido convencional). Girando-se a mão em torno do dedão, os demais dedos devem se encurvar em torno do fio, indicando o sentido das linhas de indução do campo magnético. Como o movimento dos dedos lembra a ação de um saca-rolhas, a regra descrita é também conhecida por regra do "saca-rolhas". Se você colocar limalha de ferro em torno do fio, verá que essa limalha irá alinhar-se com o campo magnético, como mostra a imagem anterior.

As figuras a seguir representam um fio retilíneo e longo, percorrido por uma corrente elétrica I , e, também, a seção transversal desse fio, visto por cima. Por convenção, o símbolo ⊙ representa uma corrente saindo da folha de papel. Apoie a sua mão direita sobre a folha com o dedão apontando no sentido da corrente e gire a mão em torno do fio. Veja como as linhas de indução estão desenhadas no sentido correto – anti-horário. A direção e o sentido do vetor campo magnético em um ponto dessas linhas são obtidos traçando-se um vetor tangente à linha de indução, no respectivo ponto, e orientado no mesmo sentido dela. Veja a seguir, na figura da direita, a representação dos vetores campo magnético nos pontos M, N e P.



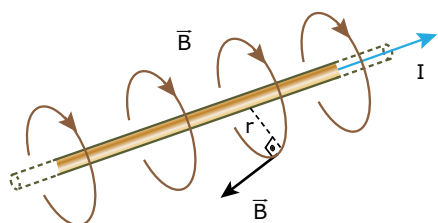
Ampère descobriu que, para o tipo de configuração apresentado na figura anterior, o valor do campo magnético gerado pela corrente, em um ponto a uma distância r do fio, é dado por:

$$B = \mu \frac{I}{2\pi r}$$

I = valor da corrente elétrica
 r = distância do ponto ao fio
 μ = permeabilidade magnética do meio que envolve o fio

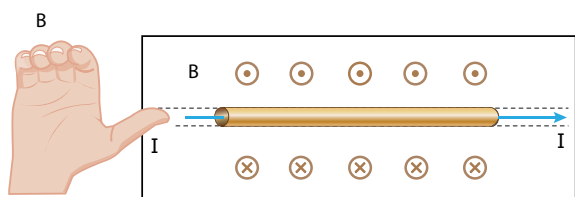
No caso do vácuo, a constante é chamada μ_0 e seu valor é igual a $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$. De acordo com a equação anterior, o módulo do campo magnético gerado pela corrente decresce com o aumento da distância até o fio. Por isso, nas figuras anteriores, representamos as linhas do campo magnético mais afastadas umas das outras e os vetores campo magnético diminuindo de intensidade (pontos M, N e P) à medida que a distância (r) aumenta.

A figura a seguir mostra as linhas de indução magnética ao longo de um fio para dada distância até ele. O vetor campo magnético, em qualquer ponto, é tangente à linha de indução e é **perpendicular** à distância (r) entre o ponto e o fio.



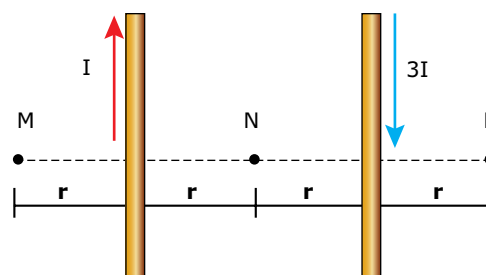
Observação: O vetor \vec{B} é ortogonal ao fio.

Considere um fio longo e retilíneo percorrido por uma corrente elétrica I , colocado sobre uma mesa e visto de cima. A corrente elétrica vai criar um campo magnético em torno desse fio e, na superfície da mesa, os vetores campo magnético são como os mostrados na figura a seguir (entram na mesa na parte inferior e saem dela na parte superior do desenho).



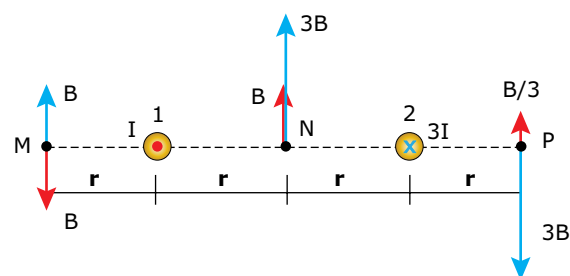
EXERCÍCIO RESOLVIDO

01. Um fio longo, percorrido por uma corrente elétrica I , gera, a uma distância r , um campo magnético de intensidade B . Determinar a intensidade do campo magnético resultante devido às correntes I e $3I$ nos pontos M, N e P indicados na figura seguinte.



Resolução:

Considere os fios vistos por cima. Nessa montagem, a corrente I "sai" da folha de papel, e a corrente $3I$ "entra" nessa folha, como mostra a figura seguinte. Vamos chamar os fios de 1 (corrente I) e 2 (corrente $3I$).



A intensidade do campo (B), em cada ponto, é proporcional a I/r e o fio 1 (corrente I) está a uma distância r de M e N e a uma distância $3r$ de P. Assim, nesses pontos, os campos gerados pelo fio 1 são B , B e $B/3$, cujos sentidos, mostrados na figura anterior, podem ser obtidos pela regra da mão direita.

O fio 2 (corrente $3I$) está a uma distância r de N e P e $3r$ de M. Dessa forma, os campos magnéticos gerados nesses pontos são $3B$, $3B$ e B , como mostra a figura.

Assim, o módulo do campo magnético resultante, em cada ponto, é:

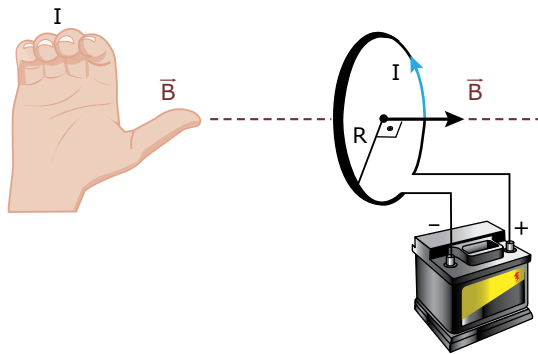
$$B_M = 0 \text{ (os dois campos se anulam)}$$

$$B_N = 4B \text{ (para cima)}$$

$$B_P = (8/3)B \text{ (para baixo)}$$

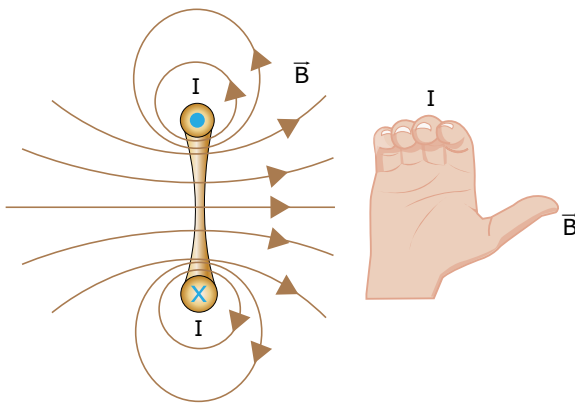
Campo magnético no centro de uma espira circular

Uma maneira de aumentar o efeito magnético de uma corrente elétrica que percorre um fio é fazer uma espécie de laço com o fio. Tal laço é chamado de **espira**. Na figura a seguir, apresentamos uma espira circular e outra versão da regra da mão direita. Nela, a rotação da mão acompanha o sentido da corrente elétrica, enquanto o dedo polegar indica o sentido do campo magnético no centro da espira. Se preferir, você pode usar essa regra para determinar a direção e o sentido do campo magnético gerado pela corrente que percorre uma espira.



Observe que, no centro da espira, o campo magnético é **perpendicular** ao plano e ao raio (R) dela.

Veja, a seguir, a representação de algumas linhas de indução do campo magnético gerado pela corrente que percorre a espira circular, em corte, colocada num plano perpendicular ao da folha de papel.



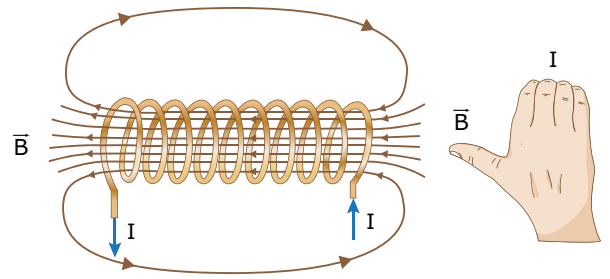
O valor do campo magnético no centro de uma espira circular de raio R, percorrida por uma corrente I, é dado pela seguinte relação:

$$B = \mu \frac{I}{2R}$$

I = valor da corrente elétrica
R = raio da espira
 μ = permeabilidade magnética do meio

Campo magnético no interior de um solenoide

Um solenoide é obtido enrolando-se um fio longo segundo uma hélice, conforme está representado na figura a seguir. Uma corrente elétrica, ao passar pelas espiras do solenoide, estabelece um campo magnético no interior dele. A figura seguinte mostra um solenoide percorrido por uma corrente elétrica I e algumas linhas de indução magnética geradas por ele.



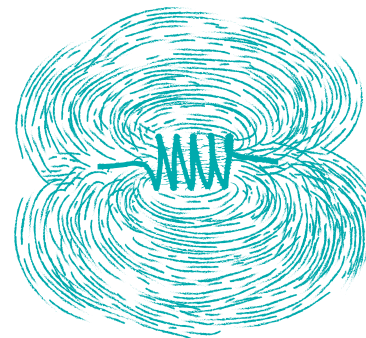
O sentido do campo magnético em um solenoide pode ser determinado por meio da regra da mão direita (gire os quatro dedos da mão no sentido da corrente elétrica e o dedão lhe dará o sentido do campo magnético dentro do solenoide).

O módulo do campo magnético no interior do solenoide é dado por:

$$B = \mu \frac{N}{L} I$$

I = valor da corrente elétrica
N = número de espiras (voltas) do solenoide
L = comprimento do solenoide
 μ = permeabilidade magnética do meio

Observe a figura seguinte, que mostra limalha de ferro colocada sobre uma folha do solenoide (num plano paralelo à folha de papel).

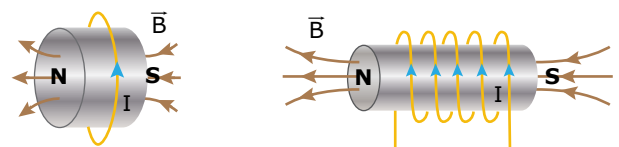


Rodrigo Almeida

Veja, nas duas figuras anteriores, que as linhas de indução, dentro do solenoide, são praticamente paralelas. Isso indica que o módulo do campo magnético, nessa região, é praticamente uniforme e calculado conforme mostrado anteriormente.

IMPORTANTE

Uma vez que a corrente elétrica, numa espira ou num solenoide, gera um campo magnético, podemos associar a eles polos magnéticos, conforme mostram as figuras a seguir. Observe os polos norte e sul da espira e do solenoide.



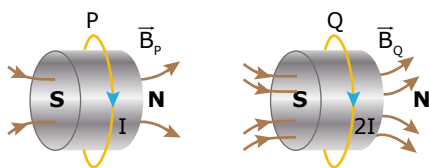
EXERCÍCIO RESOLVIDO

02. Duas espiras circulares de mesmo raio, P e Q, paralelas e imersas no ar, são percorridas por correntes elétricas de mesmo sentido e de valores I e $2I$, respectivamente. Determinar

- A) se haverá atração ou repulsão entre elas.
- B) a razão entre os campos magnéticos gerados no centro de cada uma.
- C) a razão entre as forças que as espiras exercem entre si.

Resolução:

A) A figura seguinte mostra as espiras, os campos e os dipolos magnéticos associados a elas. Como o norte de uma espira está voltado para o sul da outra, haverá atração entre essas espiras.

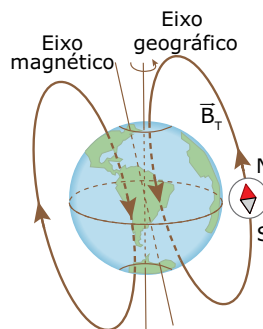


- B) O campo magnético no centro de cada espira é proporcional a I/R . Assim, o campo magnético no centro da espira Q é duas vezes maior que o campo magnético no centro da espira P.
- C) Apesar de o módulo do campo magnético gerado pela espira Q ser maior que o da espira P, as forças que atuam sobre elas têm o mesmo módulo, pois formam um par ação e reação – 3ª Lei de Newton.

O campo magnético da Terra

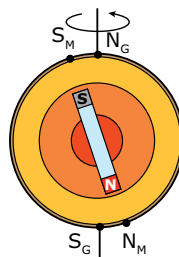
Sabemos que uma bússola orienta-se, espontânea e aproximadamente, na direção sul-norte da Terra e sabemos, também, que uma bússola alinha-se com o campo magnético local e que seu polo norte aponta no sentido da linha de indução magnética. A conclusão imediata que podemos tirar, a partir dessas observações, é a de que a Terra cria um campo magnético no espaço à sua volta. A Terra é, de fato, um ímã gigante, cujo magnetismo tem a ver com a estrutura de seu núcleo e com a rotação da Terra em torno de seu próprio eixo. A explicação completa de como a Terra gera tal campo ainda requer estudos mais aprofundados, mas a existência desse campo e, mais ainda, a sua direção e sentido em cada ponto do planeta são conhecidos há muito tempo.

Uma vez que o norte da bússola aponta, aproximadamente, para o norte geográfico da Terra, a linha de indução magnética, fora da Terra, aponta também para essa região, ou seja, para cima na figura a seguir. Dentro da Terra, ela deve apontar para baixo, uma vez que as linhas de indução são linhas fechadas. Veja, a seguir, duas das linhas de indução do campo magnético da Terra.



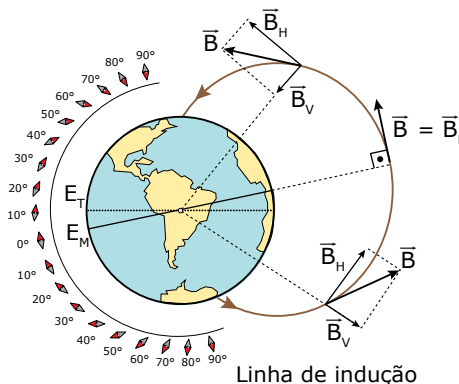
Como mencionado, a Terra comporta-se como um grande ímã. Na região Norte do nosso planeta, está o polo sul desse ímã e, na região Sul, o polo norte magnético. Veja que o eixo magnético não coincide com o eixo de rotação da Terra (eixo geográfico). Por isso, os polos magnéticos e geográficos não coincidem. O ângulo entre os eixos magnético e geográfico varia com o tempo. Saiba, por curiosidade, que o sentido do campo pode sofrer uma inversão chamada reversão magnética. A última delas ocorreu há 780 000 anos e, numa data ainda não prevista, acontecerá novamente.

A figura a seguir mostra um "corte" na Terra. Nela, vemos o "ímã Terra" e os polos geográficos e magnéticos.



- N_G – polo norte geográfico
- S_G – polo sul geográfico
- S_M – polo sul magnético
- N_M – polo norte magnético

Sabemos que o vetor campo magnético é tangente à linha de indução. Por isso, o campo magnético só é paralelo à superfície da Terra no Equador magnético (E_M). Em qualquer outro ponto em torno da Terra, o campo magnético tem uma componente horizontal (B_H) – paralela à superfície – e uma componente vertical (B_V) para cima (Hemisfério Sul) ou para baixo (Hemisfério Norte). A linha do Equador da Terra (geográfico) foi representada como E_T . Veja a seguir.



A escala à esquerda da figura anterior mostra a inclinação de uma bússola, em relação à superfície horizontal, em cada ponto do planeta.

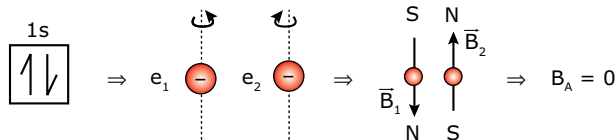
PROPRIEDADES MAGNÉTICAS DA MATÉRIA



Formação de um ímã

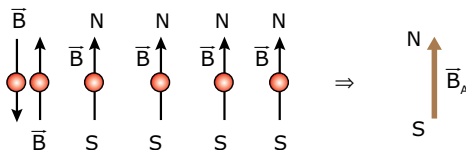
Conforme as conclusões de Oersted, toda carga elétrica em movimento gera um campo magnético. Assim, o movimento dos elétrons nos átomos – em torno do núcleo (translação) e em volta de si mesmo (rotação ou *spin*) – não foge à regra. Desses dois movimentos, o mais relevante é o campo gerado pelo *spin* do elétron.

Considere uma substância com distribuição eletrônica em orbital 1s completo. Nela, os elétrons giram em sentidos contrários (*spins* opostos), conforme você já conhece da Química. A figura mostra a distribuição de elétrons nesse orbital e o efeito magnético decorrente.



Note que os elétrons produzem campos magnéticos opostos e de mesmo módulo. Assim, o efeito magnético resultante é nulo e substâncias com orbitais completos apresentam comportamento magnético, geralmente, desprezível.

O ferro tem seis elétrons no último nível (3d⁶), dos quais quatro estão desemparelhados, criando um forte dipolo magnético resultante. Assim, essa substância apresenta efeito magnético, conforme mostrado a seguir, sendo B_A o dipolo magnético resultante de cada átomo de ferro, chamado de dipolo magnético elementar.



Normalmente, os dipolos elementares de uma barra de ferro estão orientados ao acaso, gerando um campo magnético resultante igual a zero. Assim, uma barra de ferro não exerce ação magnética sobre outra. Para que uma barra de ferro se transforme em um ímã, é necessário promover o alinhamento dos dipolos magnéticos dessa barra. A natureza nos forneceu alguns ímãs naturais, formados pelo alinhamento dos dipolos magnéticos com o campo magnético terrestre, em substâncias como a magnetita, durante a sua cristalização em eras remotas. Podemos, entretanto, criar ímãs artificiais, realizando, por exemplo, uma das três operações seguintes:

1. Deixar uma barra de ferro em contato com um forte ímã por muito tempo.
2. Esfregar um ímã num pedaço de ferro, sempre no mesmo sentido, várias vezes.

3. Enrolar um solenoide em volta de uma barra de ferro e fazer com que esse seja percorrido por uma corrente contínua de valor elevado por alguns instantes.

As figuras a seguir mostram uma barra de ferro comum e outra com os dipolos magnéticos alinhados, que se transformou em um ímã.

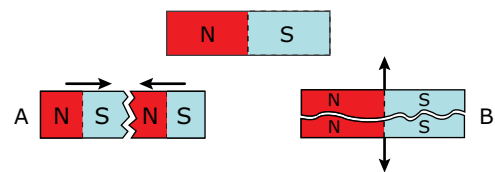


Quando um ímã é aproximado de um objeto de ferro (um prego, por exemplo), este passa a ter os seus dipolos magnéticos elementares alinhados, ou seja, o objeto se transforma em um ímã, ainda que momentaneamente. O alinhamento produz, na extremidade do objeto próxima ao ímã, um polo oposto ao deste. Por isso, e só por isso, ocorrem forças de atração entre o objeto e o ímã.

Se quebrarmos um ímã, desde que isso não afete muito a orientação dos dipolos magnéticos, teremos dois novos ímãs, cada um com os seus polos norte e sul, conforme figura a seguir. Assim, quando partimos um ímã, não separamos os seus polos, nós obtemos dois novos ímãs. Esse fato é conhecido como **inseparabilidade dos polos**.



Considere o ímã representado a seguir. Partindo-se o ímã ao meio, conforme a figura A, observamos que as pontas quebradas se atraem. Porém, quebrando-se o ímã conforme a figura B, notamos que as partes vão se repelir. O alinhamento dos dipolos elementares e a lei de interação entre os polos explica essa diferença. Veja a seguir:



Propriedades magnéticas da matéria



O magnetismo dos materiais é originado da estrutura eletrônica dos átomos que o compõem. Assista ao vídeo "Propriedades magnéticas da matéria" para conhecer mais sobre o funcionamento do magnetismo e entenda o papel dos elétrons na formação de materiais magnéticos. Aproveite para conhecer também os conceitos de *spin*, distribuição eletrônica e domínios magnéticos. Bons estudos!

Classificação dos materiais

Os materiais, de acordo com suas características magnéticas, dividem-se em três classes principais: paramagnéticos, diamagnéticos e ferromagnéticos.

Os paramagnéticos apresentam dipolos magnéticos elementares muito fracos e, por isso, contribuem muito pouco para o valor do campo magnético. Eles possuem valor de permeabilidade magnética (μ) apenas ligeiramente maior que a do vácuo (μ_0). Por esse motivo, são fracamente atraídos por um ímã. Madeira, alumínio e chumbo são exemplos de materiais paramagnéticos. Se uma barra de alumínio for colocada no interior de um solenoide percorrido por uma corrente elétrica, o campo magnético praticamente não sofrerá alteração.

Os materiais diamagnéticos também possuem dipolos magnéticos elementares fracos, porém com uma característica especial: os seus dipolos alinham-se em sentido contrário ao do campo magnético externo. Assim, esses materiais são fracamente repelidos pelos ímãs. Eles têm uma permeabilidade magnética (μ) ligeiramente menor que a do vácuo (μ_0). O bismuto, a água, o cobre e alguns gases são exemplos típicos de materiais diamagnéticos.

Os materiais ferromagnéticos têm permeabilidade magnética (μ) muito superior à do vácuo (μ_0). Os dipolos magnéticos elementares são fortes e, por isso, esses materiais são fortemente atraídos por ímãs. Os materiais ferromagnéticos mais conhecidos são o ferro, o níquel, o cobalto e as suas ligas. Assim, se colocarmos uma barra de ferro, por exemplo, no interior de um solenoide percorrido por corrente elétrica, a intensidade do campo magnético resultante aumentará consideravelmente (até 20 000 vezes).

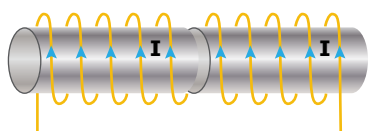
EXERCÍCIO RESOLVIDO

03. Um solenoide com N espiras e comprimento L , enrolado em um tubo de pvc no ar e percorrido por uma corrente I , possui em seu interior um campo magnético de módulo B_s . Determinar o que acontece com o campo B_s se, mantidas as demais características, o solenoide for

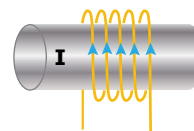
- associado em série com outro solenoide idêntico.
- achatado de modo que seu comprimento seja reduzido à metade.
- preenchido com uma barra de ferro que ocupe toda a sua extensão.

Resolução:

- O campo no interior do solenoide é proporcional a N/L . Se ele for associado a outro solenoide idêntico, teremos o dobro do número de espiras e o dobro do comprimento. Assim, a intensidade do campo não sofrerá alteração.



- O módulo do campo vai dobrar, pois o número de espiras permaneceu constante, mas o comprimento do solenoide foi reduzido à metade.

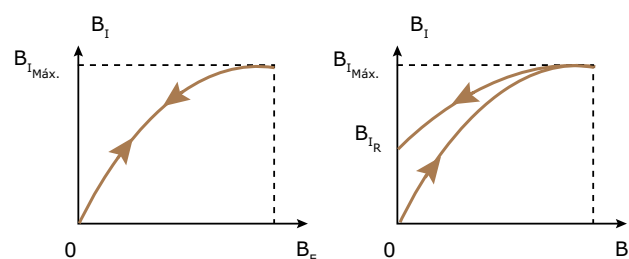


- A intensidade do campo magnético é proporcional, também, à permeabilidade magnética do meio (μ). O ferro, sendo um material ferromagnético, tem elevada permeabilidade magnética. Assim, a intensidade do campo magnético no interior do solenoide aumentará muito.

Histerese magnética

Sabemos que os materiais ferromagnéticos, quando colocados em um campo magnético externo, têm seus dipolos magnéticos elementares alinhados no mesmo sentido desse campo. Esse alinhamento é tanto maior quanto mais intenso for o campo externo (B_E). Dizemos, então, que o material foi magnetizado ou imantado. Nessa situação, o campo magnético resultante na região é a soma do campo magnético externo (B_E) com o campo magnético do material imantado (B_I). Sabe-se que a imantação do material ferromagnético tem um valor limite. Mas o que acontece quando o campo externo é retirado?

Os gráficos seguintes mostram o campo magnético do material imantado (B_I) em função do campo magnético externo (B_E), à medida que este aumenta e depois diminui (chamados de curvas de histerese). O material, inicialmente, estava não imantado. Analise os dois gráficos.



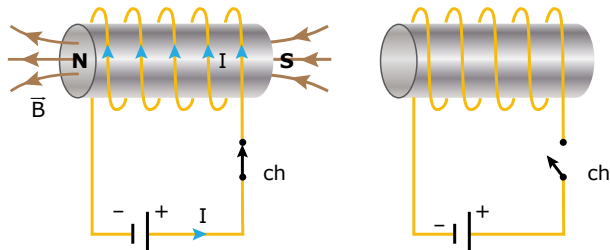
O primeiro gráfico mostra que, após o campo magnético externo ser reduzido a zero, o campo magnético do material imantado também vai praticamente a zero. Substâncias com essa curva de histerese ficam imantadas apenas enquanto o campo externo estiver ativado. O ferro com essas características, que dependem do estado de oxidação do metal, é chamado de "ferro doce".

O segundo gráfico indica que, mesmo com o campo magnético externo reduzido a zero, o material imantado ainda apresenta uma magnetização residual (B_{I_R}), ou seja, o material permaneceu imantado após o campo externo ser retirado. Materiais com essa característica são usados na construção de ímãs permanentes. Quanto maior a intensidade do campo magnético residual (B_{I_R}), mais forte será o ímã permanente.

ELETRÓIMÃ

Uma aplicação interessante do fato de que algumas substâncias apresentam curva de histerese do primeiro tipo (imantação nula quando o campo magnético externo é retirado) está na construção de eletroímãs.

Considere a figura a seguir. Nela, um solenoide é preenchido por um material que não apresenta histerese magnética residual, isto é, sem campo magnético externo, o material volta a ter os seus dipolos elementares desorganizados. Isso quer dizer que, enquanto a corrente elétrica percorre o circuito (chave ch fechada), o solenoide comporta-se como um potente ímã. Quando a corrente elétrica para de circular pelo solenoide (chave ch aberta), o campo deste cai a zero e o da substância que o preenche também. Dessa forma, o eletroímã pode ser ligado e desligado de acordo com nossa necessidade. Além disso, a “força” do solenoide pode ser controlada pela variação da corrente que circula por ele.



Tal dispositivo é muito usado em Medicina (para retirar destroços de ferro que tenham atingido partes sensíveis do corpo – olho humano, por exemplo) e em potentes guindastes capazes de transportar sucata de ferro de um local a outro, como mostra a fotografia seguinte.

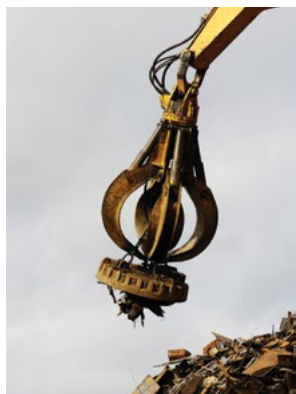


Foto: Shutterstock

BIOMAGNETISMO

O Biomagnetismo, área do conhecimento que inter-relaciona a Física e a Medicina, estuda o efeito de campos magnéticos em seres vivos. Um organismo vivo produz campo magnético próprio de duas formas. Primeiro, os seres vivos apresentam partículas de ferro no organismo, principalmente no fígado e nos pulmões. Estando imantadas, elas produzem campo magnético (temos minúsculos ímãs nesses órgãos). Segundo, os impulsos elétricos (cargas elétricas em movimento) do cérebro e dos sistemas nervoso e muscular geram campos magnéticos e eletromagnéticos.

Além disso, todos os seres vivos são “bombardeados”, constantemente, por campos eletromagnéticos externos. Dessa forma, saber usar o Biomagnetismo a nosso favor é um grande benefício que a humanidade espera dos nossos atuais e futuros cientistas.

O campo magnético gerado pelos órgãos do corpo humano é muito pequeno (de 10^{-4} a 10^{-10} vezes a intensidade do campo magnético da Terra). Por isso, instrumentos que possam detectar esse campo e suas possíveis flutuações são raros e caros. Tais aparelhos, além da elevada sensibilidade, precisam “separar” o campo magnético do órgão estudado dos campos magnéticos da Terra e das correntes elétricas convencionais presentes em todos os ambientes. Aí está, com certeza, um dos motivos da dificuldade dos pesquisadores no desenvolvimento de diagnósticos e tratamentos médicos que usem o Biomagnetismo.

Já é fato conhecido que muitos animais, entre eles vários micro-organismos, tartarugas, aves, abelhas, peixes e outros, possuem grãos de magnetita (ímãs naturais) em seu organismo. Por isso, as pesquisas acerca do senso de direção desses animais, em relação ao campo magnético terrestre, avançam rapidamente. Sabemos que o campo magnético da Terra tem uma componente vertical para baixo no Hemisfério Norte e uma vertical para cima no Hemisfério Sul. Isso poderia explicar por que muitas aves vão de um hemisfério ao outro, com tamanha facilidade e precisão. Muitas delas, ao longo dos anos, vão e voltam exatamente aos mesmos lugares. Estudos com grupos de tartarugas marinhas mostram resultados promissores na relação entre elementos magnéticos em seus organismos e o campo magnético terrestre. Quem sabe o nosso senso de orientação – muito aguçado em determinados grupos de pessoas – seja consequência do magnetismo terrestre?

Atualmente, os órgãos que produzem os campos magnéticos de maior interesse da Medicina, ou aqueles que se mostram mais promissores, tanto no diagnóstico quanto no tratamento de enfermidades, são o cérebro, o coração, o fígado e o intestino. Outra área bastante promissora é o Biomagnetismo Fetal (avaliação mais precisa do desenvolvimento do feto). Vários exames não invasivos vêm sendo feitos com a utilização de novas tecnologias, baseadas no Biomagnetismo. Entre eles, a detecção de vírus, de bactérias e de células cancerosas, a determinação de regiões do cérebro com hiperatividade e de partes do coração com deficiência funcional. Pesquisas em Psiquiatria têm revelado grande potencial de aplicação. Quatro universidades brasileiras destacam-se nas pesquisas: a USP de Ribeirão Preto, a PUC Rio, a Estadual Paulista e a Federal do Paraná.

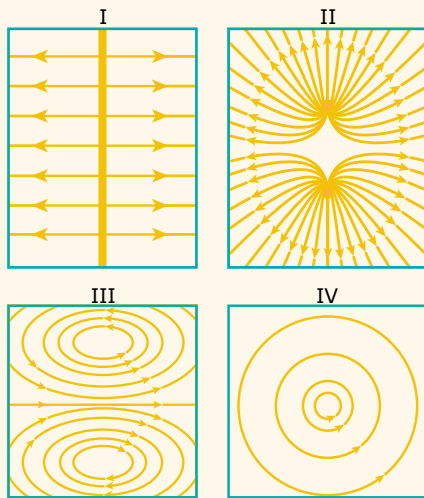
Falamos dos benefícios que o Biomagnetismo pode trazer para o ser humano. Mas será que os campos magnéticos externos, que recebemos a todo instante, podem interferir no funcionamento do nosso corpo? Será que podem acentuar ou gerar doenças conhecidas e futuras? Pesquisas, ainda não conclusivas, dizem que sim. Algumas tecnologias, como os aparelhos de telefonia celular, são muito recentes para que algum estudo mostre o grau de risco que elas representam para a humanidade.

Embora seja conhecido que os tratamentos médicos usando eletricidade tiveram “um passado negro, obscuro e, muitas vezes, desumano”, acreditamos que o Biomagnetismo poderá trazer respostas a muitos dos nossos questionamentos sobre saúde, vida e preservação da natureza. Isso certamente dependerá de você, dos seus colegas e, é claro, de todos nós, seja nos estudos, nas pesquisas ou na observação e no acompanhamento de tudo aquilo que possa ser feito com o conhecimento adquirido com essa nova e poderosa área do conhecimento.

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



01. (FUVEST-SP) Em uma aula de laboratório, os estudantes foram divididos em dois grupos. O grupo A fez experimentos com o objetivo de desenhar linhas de campo elétrico e magnético. Os desenhos feitos estão apresentados nas figuras I, II, III e IV a seguir:



Aos alunos do grupo B, cabe analisar os desenhos produzidos pelo grupo A e formular hipóteses. Dentre elas, a única correta é que as figuras I, II, III e IV podem representar, respectivamente, linhas de campo

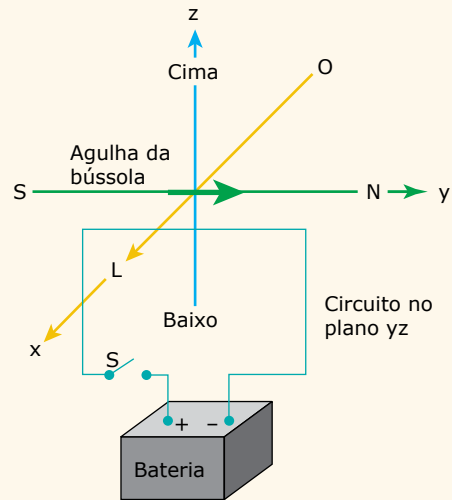
- A) eletrostático, eletrostático, magnético e magnético.
- B) magnético, magnético, eletrostático e eletrostático.
- C) eletrostático, magnético, eletrostático e magnético.
- D) magnético, eletrostático, eletrostático e magnético.
- E) eletrostático, magnético, magnético e magnético.

02. (IFSP) As bússolas são muito utilizadas até hoje, principalmente por praticantes de esportes de aventura ou enduros a pé. Esse dispositivo funciona graças a um pequeno ímã que é usado como ponteiro e está dividido em polo norte e polo sul. Geralmente, o polo norte de uma bússola é a parte do ponteiro que é pintada de vermelho e aponta, obviamente, o polo norte geográfico.

Na Física, a explicação para o funcionamento de uma bússola pode ser dada porque as linhas de campo magnético da Terra se orientam

- A) do polo sul magnético ao polo leste magnético.
- B) do polo norte magnético ao polo sul magnético.
- C) na direção perpendicular ao eixo da Terra, ou seja, sempre paralelo à linha do Equador.
- D) na direção oblíqua ao eixo da Terra, ou seja, oblíqua à linha do Equador.
- E) na direção do campo gravitacional.

03. (UFSM-RS) A bússola é uma invenção chinesa muito antiga. Introduzida na Europa pelos árabes, foi essencial às grandes navegações. Ao utilizar uma bússola, é importante observar a presença de campos magnéticos locais, que pode desviar a agulha da sua direção Norte-Sul. Na figura, são representados um circuito no plano yz e a agulha de uma bússola que pode girar livremente. Quando a chave S é ligada, a agulha da bússola



- A) gira para leste.
- B) gira para oeste.
- C) gira para cima.
- D) gira para baixo.
- E) não se move.

04. (UEMG-2015) Em “Você Verá”, Luiz Vilela valoriza os animais. Por exemplo, no conto “Quando fiz sete anos”, ele lembra de uma bússola estragada, e de como voou “como um alegre pássaro da manhã”, ao ir para casa, doido para abrir o embrulho onde estava uma bússola estragada, que ganhara do avô.

Mas, por que a bússola estava estragada? Alguns candidatos aos cursos da UEMG fizeram algumas hipóteses para responder a essa pergunta:

Leonardo: um fio solto fez com que o contato elétrico da bússola estragasse e, por isso, a bússola deixou de funcionar.

Lorena: o Polo Norte da agulha da bússola apontava para o Polo Norte geográfico, e isto estava errado, pois ele deveria apontar para o Polo Sul geográfico, pois um Polo Norte é atraído por um Polo Sul.

Amanda: a agulha magnética poderia ter se desprendido de seu apoio, e não estava girando livremente para se orientar, segundo o campo magnético da Terra.

Fez (fizeram) comentários apropriados

- A) apenas Lorena.
- B) Leonardo e Lorena.
- C) apenas Amanda.
- D) Leonardo e Amanda.

- 05.** (Unesp–2019) A configuração do campo magnético terrestre causa um efeito chamado inclinação magnética. Devido a esse fato, a agulha magnética de uma bússola próxima à superfície terrestre, se estiver livre, não se mantém na horizontal, mas geralmente inclinada em relação à horizontal (ângulo α , na figura 2). A inclinação magnética é mais acentuada em regiões de maiores latitudes. Assim, no equador terrestre a inclinação magnética fica em torno de 0° , nos polos magnéticos é de 90° , em São Paulo é de cerca de 20° , com o polo norte da bússola apontado para cima, e em Londres é de cerca de 70° , com o polo norte da bússola apontado para baixo.

Figura 1
O campo magnético terrestre

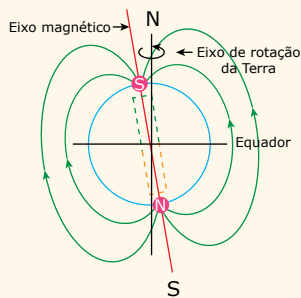
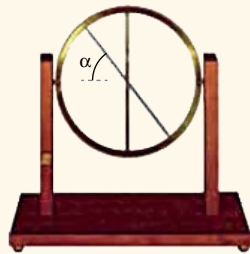


Figura 2
Bússola para medição da inclinação magnética



Disponível em: <<http://museu.fis.uc.pt.>> (Adaptação).

Esse efeito deve-se ao fato de a agulha magnética da bússola alinhar-se sempre na direção

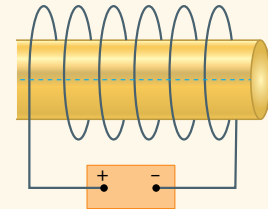
- A) perpendicular às linhas de indução do campo magnético da Terra e ao fato de o polo norte magnético terrestre estar próximo ao polo sul geográfico da Terra.
- B) tangente à Linha do Equador e ao fato de o eixo de rotação da Terra coincidir com o eixo magnético que atravessa a Terra.
- C) tangente às linhas de indução do campo magnético da Terra e ao fato de o polo norte magnético terrestre estar próximo ao polo norte geográfico da Terra.
- D) tangente às linhas de indução do campo magnético da Terra e ao fato de o polo norte magnético terrestre estar próximo ao polo sul geográfico da Terra.
- E) paralela ao eixo magnético terrestre e ao fato de o polo sul magnético terrestre estar próximo ao polo norte geográfico da Terra.

- 06.** (UECE–2016) Em um experimento A, sobre eletromagnetismo, um fio condutor muito fino é disposto em linha reta sobre uma mesa isolante horizontal. Pelo fio passa uma corrente elétrica constante. Em um segundo experimento, B, o mesmo fio é disposto na forma de uma circunferência também sobre a mesa. Em ambas as situações o fio está contido no plano da mesa.

É correto afirmar que, no plano da mesa, os campos magnéticos produzidos pela corrente elétrica nos dois experimentos são

- A) verticais.
- B) horizontais.
- C) vertical e horizontal, respectivamente.
- D) horizontal e vertical, respectivamente.

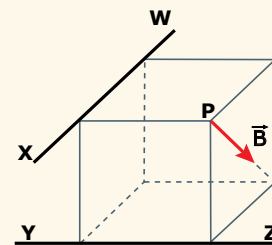
- 07.** (FAMERP-SP–2016) A figura mostra um solenoide colocado sobre uma superfície horizontal, ligado a uma bateria, e visto de cima para baixo.



O campo magnético gerado por esse solenoide será semelhante ao de um ímã em forma de barra, também sobre uma superfície horizontal e visto de cima para baixo, corretamente representado por

- A)
- B)
- C)
- D)
- E)

- 08.** (UFMG) Dois fios condutores WX e YZ, retos e longos, estão dispostos sobre duas arestas de um cubo imaginário, como mostra a figura.



Correntes elétricas iguais estão presentes nos dois fios. O campo magnético resultante de tais correntes, no ponto P, é indicado na figura.

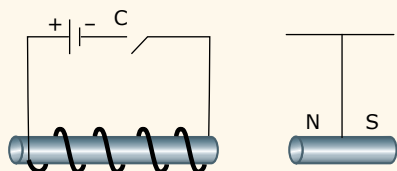
Nessas condições, as correntes elétricas nos fios têm os sentidos

- A) de W para X e de Z para Y.
- B) de W para X e de Y para Z.
- C) de X para W e de Z para Y.
- D) de X para W e de Y para Z.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS



01. (UFV-MG) A figura seguinte representa um eletroímã e um pêndulo, cuja massa, presa à extremidade, é um pequeno ímã. Ao se fechar a chave C, é correto afirmar que



- A) o ímã do pêndulo será repellido pelo eletroímã.
- B) o ímã do pêndulo será atraído pelo eletroímã.
- C) o ímã do pêndulo irá girar em torno do fio que o suporta.
- D) o polo sul do eletroímã estará à sua direita.
- E) o campo magnético no núcleo do eletroímã é nulo.

02. (UFAM) Três barras metálicas, aparentemente idênticas, denotadas por AB, CD e EF, em correspondência com as extremidades de cada uma, podem ou não estar imantadas, formando então ímãs retos. Realiza-se uma série de experiências isoladas nas quais verifica-se que

- I. a extremidade C atrai as extremidades A e B.
- II. a extremidade D atrai as extremidades A e B.
- III. a extremidade C atrai a extremidade E e repele a extremidade F.

Portanto, podemos concluir que

- A) a barra CD não está imantada.
- B) a extremidade E atrai as extremidades A e B.
- C) a barra AB está imantada.
- D) a barra EF não está imantada.
- E) a extremidade E atrai as extremidades C e D.

03. (UNITAU-SP-2015) É totalmente correto afirmar, com relação aos campos elétrico e magnético, que

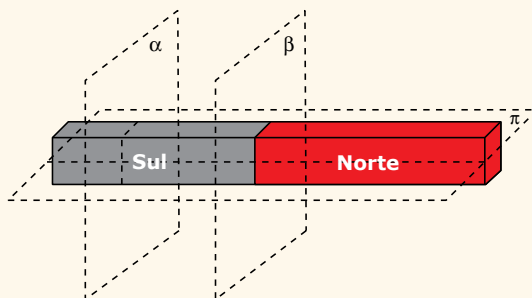


- A) partículas carregadas em movimento geram somente campo elétrico.
- B) partículas carregadas em movimento geram somente campo magnético.
- C) partículas carregadas em repouso geram, simultaneamente, campos elétrico e magnético.
- D) partículas carregadas em movimento geram, simultaneamente, campos elétrico e magnético, que dependem também das massas das partículas.
- E) partículas carregadas em movimento geram, simultaneamente, campos elétrico e magnético.

04. (Fatec-SP) Uma criança brincando com um ímã, por descuido, o deixa cair, e ele se rompe em duas partes. Ao tentar consertá-lo, unindo-as no local da ruptura, ela percebe que os dois pedaços não se encaixam devido à ação magnética.

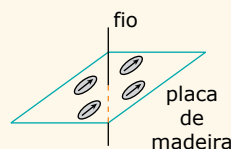


Pensando nisso, se o ímã tivesse o formato e as polaridades da figura a seguir, é válido afirmar que o ímã poderia ter se rompido



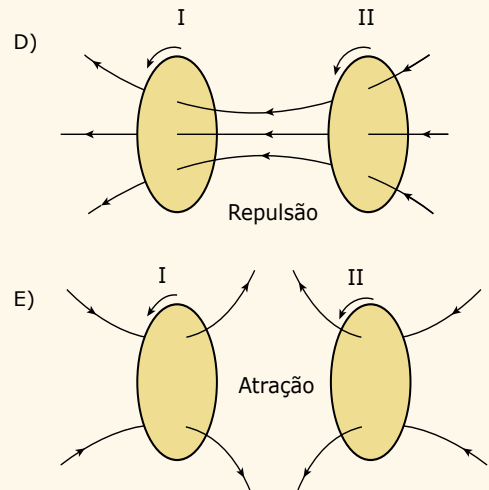
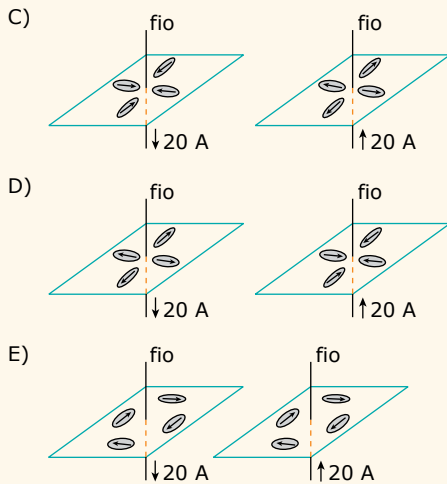
- A) na direção do plano α .
- B) na direção do plano β .
- C) na direção do plano π .
- D) na direção de qualquer plano.
- E) apenas na direção do plano β .

05. (Uncisal-2016) A figura apresenta uma placa fina de madeira, sobre a qual estão dispostas quatro bússolas. A placa está transpassada por um fio, através de um orifício no seu centro.

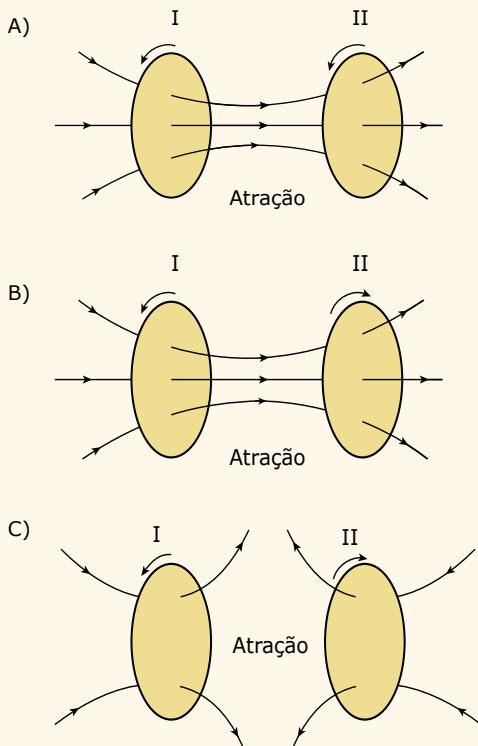


Suponha que, num primeiro momento, uma corrente de 20 A percorre o fio de cima para baixo, e que, num segundo momento, a mesma corrente percorre o fio de baixo para cima. Assinale a alternativa que contém as figuras que representam as agulhas das bússolas no primeiro e segundo momentos, respectivamente.

- A)
- B)

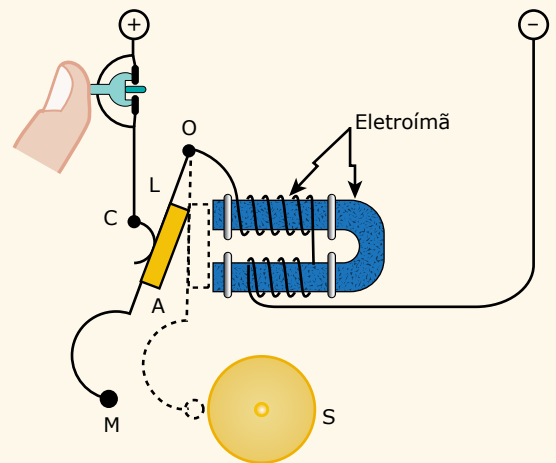


06. (UFPB) Ao se passar uma corrente elétrica em um fio condutor, enrolado na forma de uma espira, produz-se um campo magnético. Aproximando-se duas espiras em que passam correntes, a força gerada entre elas pode ser de atração ou de repulsão, dependendo das orientações relativas das correntes. Dispositivos empregando forças entre espiras podem ser usados tecnologicamente, tanto em acionamentos quanto para detecção de movimentos relativos entre dois objetos. Nesse sentido, identifique, entre as figuras a seguir, a que representa uma configuração fisicamente correta do dispositivo.



07. (UEPB) Uma campainha elétrica (figura a seguir) é um dispositivo constituído por um interruptor, um eletroímã, uma armadura (A), um martelo (M), uma campânula (S) e um gerador de corrente contínua ou alternada. A armadura (A) do eletroímã possui um martelo (M) e está presa a um eixo (O) por meio de uma lâmina elástica (L). Ao apertarmos o interruptor, fechamos o circuito. [...]

JUNIOR, F. R. *Os fundamentos da Física*. 8. ed. São Paulo: Moderna, 2003. v. 2, p. 311 (Adaptação).



Funcionamento de uma campainha elétrica

Acerca do assunto tratado no texto, que descreve o funcionamento de uma campainha elétrica e seu respectivo circuito, identifique, nas proposições a seguir, a(as) que se refere(m) ao que ocorre quando o interruptor é acionado.

- I. Uma extremidade do eletroímã fica carregada positivamente, atraindo a armadura.
- II. A corrente elétrica gera um campo magnético na bobina (eletroímã), que atrai a armadura.

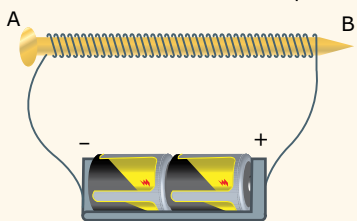
III. A corrente elétrica gera um campo magnético no eletroímã e outro na armadura, que se atraem mutuamente.

Após a análise, para as proposições supracitadas, apenas é(são) verdadeira(s)

- A) I. C) I e III. E) II e III.
 B) I e II. D) II.

08. (PUC-SP) A figura mostra um prego de ferro envolto por um fio fino de cobre esmaltado, enrolado muitas vezes ao seu redor. O conjunto pode ser considerado um eletroímã, quando as extremidades do fio são conectadas aos polos de um gerador, que, no caso, são duas pilhas idênticas, associadas em série. A respeito do descrito, fazem-se as seguintes afirmações.

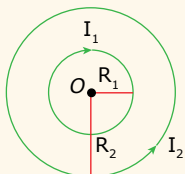
- I. Ao ser percorrido por corrente elétrica, o eletroímã apresenta polaridade magnética. Na representação da figura, a extremidade A (cabeça do prego) será um polo norte e a extremidade B será um polo sul.
 II. Ao aproximar-se um prego de ferro da extremidade A do eletroímã e outro da extremidade B, um deles será atraído, e o outro será repellido.
 III. Ao substituir-se o conjunto de duas pilhas por outro de 6 pilhas idênticas às primeiras, também associadas em série, a intensidade do vetor indução magnética no interior e nas extremidades do eletroímã não sofrerá alteração, uma vez que esse valor independe da intensidade da corrente elétrica que circula no fio.



Está correto apenas o que se afirma em

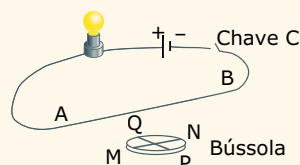
- A) I e II. C) I e III. E) III.
 B) II e III. D) I.

09. (Unimontes-MG-2015) Duas espiras circulares, 1 e 2, coplanares e concêntricas, possuem raios R_1 e R_2 e são percorridas por correntes I_1 e I_2 , respectivamente (veja a figura). Sendo $R_2 = 2R_1$ e $I_2 = 3I_1$, a razão entre os módulos dos campos magnéticos criados pelas espiras 2 e 1 no centro O, B_2/B_1 , a direção e o sentido do campo magnético resultante no centro O das espiras são, respectivamente:



- A) 1,5, perpendicular à folha e apontando para fora dela.
 B) 1,5, perpendicular à folha e apontando para dentro dela.
 C) 2/3, perpendicular à folha e apontando para fora dela.
 D) 2/3, perpendicular à folha e apontando para dentro dela.

10. (CMMG) A figura representa uma bússola colocada sob um fio AB de um circuito constituído por uma bateria, uma lâmpada e uma chave C. A direção MN é paralela ao fio AB, enquanto a direção PQ é perpendicular a ele. Fechando-se a chave C, o polo norte da agulha da bússola apontará para (despreze o efeito do campo magnético da Terra)

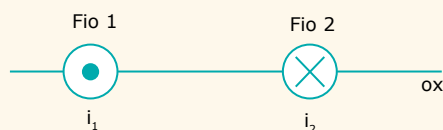


- A) M.
 B) N.
 C) P.
 D) Q.

11. (PUC RS-2016) Para uma espira circular condutora, percorrida por uma corrente elétrica de intensidade i , é registrado um campo magnético de intensidade B no seu centro. Alterando-se a intensidade da corrente elétrica na espira para um novo valor i_{final} , observa-se que o módulo do campo magnético, no mesmo ponto, assumirá o valor $5B$. Qual é a razão entre as intensidades das correntes elétricas final e inicial (i_{final} / i)?

- A) 1/5
 B) 1/25
 C) 5
 D) 10
 E) 25

12. (UDESC) Dois fios retilíneos e de tamanho infinito, que conduzem correntes elétricas i_1 e i_2 em sentidos opostos, são dispostos paralelamente um ao outro, como mostra a figura. A intensidade de i_1 e a metade da intensidade de i_2 e a distância entre os dois fios ao longo da linha ox é d .



Considere as seguintes proposições sobre os campos magnéticos produzidos pelas correntes i_1 e i_2 nos pontos localizados ao longo da linha ox:

- I. À esquerda do fio 1, não existe ponto no qual o campo magnético resultante seja nulo.
- II. Nos pontos localizados entre o fio 1 e o fio 2, os campos magnéticos produzidos por ambas as correntes têm o mesmo sentido.
- III. À direita do fio 2, existe um ponto no qual o campo magnético resultante é nulo.
- IV. O campo magnético resultante é nulo no ponto que fica à distância $3d/4$ à esquerda do fio 2.

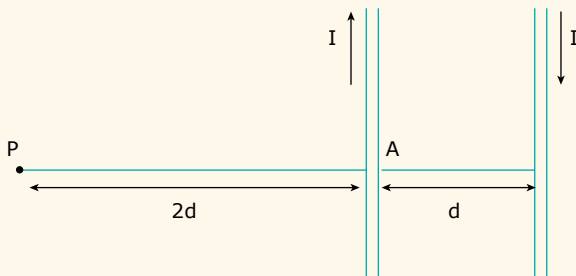
Assinale a alternativa correta.

- A) Somente as afirmativas II e III são verdadeiras.
- B) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- C) Somente a afirmativa III é verdadeira.
- D) Somente a afirmativa II é verdadeira.
- E) Somente a afirmativa IV é verdadeira.

- 13.** (UEG-GO-2016) Duas espiras circulares, concêntricas e coplanares, de raios R_1 e R_2 , onde $R_2 = 5R_1$, são percorridas pelas correntes de intensidades i_1 e i_2 , respectivamente. O campo magnético resultante no centro das espiras é nulo. Qual é a razão entre as intensidades de correntes i_2 e i_1 ?

- A) 0,2
- B) 0,8
- C) 1,0
- D) 5,0
- E) 10

- 14.** (UEFS-BA-2015)

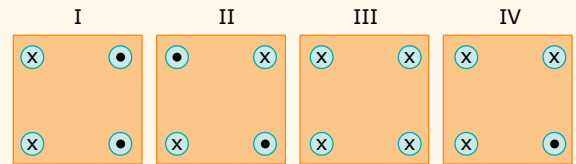


A figura mostra dois fios longos e paralelos separados por uma distância $d = 10,0$ cm, que transportam correntes de intensidade $I = 6,0$ A em direções opostas.

Considerando $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Tm/A, o módulo do campo magnético resultante no ponto P, situado a $2d$ à esquerda do ponto A, em mT, é igual a

- A) 1,0.
- B) 1,5.
- C) 2,0.
- D) 10,0.
- E) 12,0.

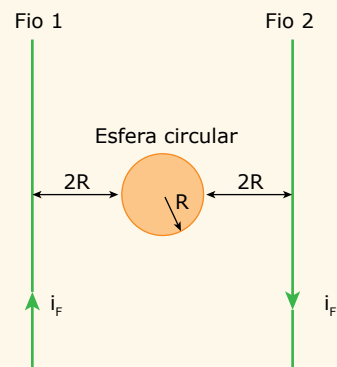
- 15.** (FUVEST-SP-2017) As figuras representam arranjos de fios longos, retilíneos, paralelos e percorridos por correntes elétricas de mesma intensidade. Os fios estão orientados perpendicularmente ao plano desta página e dispostos segundo os vértices de um quadrado. A única diferença entre os arranjos está no sentido das correntes: os fios são percorridos por correntes que entram (X) ou saem (O) do plano da página.



O campo magnético total é nulo no centro do quadrado apenas em

- A) I.
- B) II.
- C) I e II.
- D) II e III.
- E) III e IV.

- 16.** (PUC-SP-2016) A figura representa dois fios condutores retilíneos e muito compridos, paralelos e percorridos por correntes elétricas de mesma intensidade (i_F), porém, de sentidos contrários. Entre os fios há uma espira circular de raio R percorrida por uma corrente elétrica de intensidade (i_E). Determine a razão $\frac{i_F}{i_E}$ e o sentido da corrente elétrica na espira circular para que o campo de indução magnética resultante no centro da espira seja nulo. Os fios condutores e a espira circular estão situados no mesmo plano.



- A) π e o sentido da corrente na espira deve ser anti-horário.
- B) π e o sentido da corrente na espira deve ser horário.
- C) $1,5 \pi$ e o sentido da corrente na espira deve ser horário.
- D) $1,5 \pi$ e o sentido da corrente na espira deve ser anti-horário.

SEÇÃO ENEM

01. (Enem) A nanotecnologia está ligada à manipulação da matéria em escala nanométrica, ou seja, uma escala tão pequena quanto a de um bilionésimo de metro. Quando aplicada às ciências da vida, recebe o nome de nanobiotecnologia. No fantástico mundo da nanobiotecnologia, será possível a invenção de dispositivos ultrapequenos que, usando conhecimentos da Biologia e da Engenharia, permitirão examinar, manipular ou imitar os sistemas biológicos.

LACAVA, Z.; MORAIS, P. Nanobiotecnologia e saúde. *Com Ciência*. Reportagens. Nanociência & Nanotecnologia. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/nanotecnologia/nano15.htm>>. Acesso em: 04 maio 2009.

Como exemplo da utilização dessa tecnologia na Medicina, pode-se citar a utilização de nanopartículas magnéticas (nanoímãs) em terapias contra o câncer. Considerando-se que o campo magnético não age diretamente sobre os tecidos, o uso dessa tecnologia em relação às terapias convencionais é

- A) de eficácia duvidosa, já que não é possível manipular nanopartículas para serem usadas na Medicina com a tecnologia atual.
- B) vantajoso, uma vez que o campo magnético gerado por essas partículas apresenta propriedades terapêuticas associadas ao desaparecimento do câncer.
- C) desvantajoso, devido à radioatividade gerada pela movimentação de partículas magnéticas, o que, em organismos vivos, poderia causar o aparecimento de tumores.
- D) desvantajoso, porque o magnetismo está associado ao aparecimento de alguns tipos de câncer no organismo feminino, como o câncer de mama e o de colo de útero.
- E) vantajoso, pois se os nanoímãs forem ligados a drogas quimioterápicas, permitem que estas sejam fixadas diretamente em um tumor por meio de um campo magnético externo, diminuindo-se a chance de que áreas saudáveis sejam afetadas.

02. [...] A descoberta de que a Terra possui um campo magnético, comportando-se como um grande ímã, ocorreu em 1600, com trabalhos do físico e médico inglês William Gilbert. A origem desse campo magnético e as suas consequências para a Terra ainda são objeto de estudo, mas sua importância é incontestável. [...]

Os polos magnéticos terrestres estão próximos aos polos geográficos da Terra. Mas isso não acontece sempre, pois eles podem migrar bastante e até mesmo reverter sua polaridade, ou seja, o polo norte magnético pode se tornar polo sul e vice-versa. Isso já aconteceu pelo menos 170 vezes em 100 milhões de anos de evolução do nosso planeta. [...]


As reversões magnéticas não são periódicas, ou seja, não ocorrem dentro de períodos determinados e previsíveis. Em média, há um intervalo de 250 mil anos entre uma e outra. A última ocorreu há 780 mil anos (Reversão Brunhes-Matuyama), mas não se pode dizer que estamos na eminência de nova reversão, porque há mudanças que levaram bem mais tempo que isso para ocorrer. [...]

BRANCO, Pércio de Moraes. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Magnetismo-Terrestre-2623.html>>. Acesso em: 12 abr. 2018. [Fragmento]

Havendo uma reversão geomagnética, em apenas um mês

- A) a Lua terá o sentido do seu movimento em torno da Terra invertido pela interação do novo campo magnético terrestre com as rochas metálicas existentes no satélite.
- B) a bússola continuará a ser usada normalmente para determinar os sentidos norte e sul geográficos da Terra, pois eles não coincidem com o polos magnéticos.
- C) o campo magnético da Terra, em São Paulo, terá uma componente paralela ao solo apontado para o sul e uma componente vertical a ele apontada para o centro do planeta.
- D) os sentidos das correntes elétricas que percorrem os cabos da rede de transmissão de energia serão invertidos, segundo a conclusão da experiência de Oersted.
- E) os animais que usam o campo magnético da Terra nas suas rotas migratórias não serão afetados, uma vez que muda apenas o sentido do campo, e não a sua direção.

GABARITO

Meu aproveitamento 

Aprendizagem

Acertei _____ Errei _____

- | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| <input type="radio"/> 01. A | <input type="radio"/> 04. C | <input type="radio"/> 07. C |
| <input type="radio"/> 02. B | <input type="radio"/> 05. D | <input type="radio"/> 08. C |
| <input type="radio"/> 03. A | <input type="radio"/> 06. A | |

Propostos

Acertei _____ Errei _____

- | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| <input type="radio"/> 01. A | <input type="radio"/> 07. D | <input type="radio"/> 13. D |
| <input type="radio"/> 02. B | <input type="radio"/> 08. D | <input type="radio"/> 14. C |
| <input type="radio"/> 03. E | <input type="radio"/> 09. A | <input type="radio"/> 15. D |
| <input type="radio"/> 04. C | <input type="radio"/> 10. D | <input type="radio"/> 16. D |
| <input type="radio"/> 05. B | <input type="radio"/> 11. C | |
| <input type="radio"/> 06. A | <input type="radio"/> 12. D | |

Seção Enem

Acertei _____ Errei _____

01. E
02. C



Total dos meus acertos: _____ de _____ . _____ %