Sumário

Física 5E

Óptica 3
- Fontes de luz 3
- Fonte extensa – fonte puntiforme 4
- Raios de luz e feixes de luz 4
- Meios de propagação da luz 4

Princípios da óptica geométrica 4
- Princípio da propagação retilínea do raio de luz 4
- Princípio da independência dos raios de luz 4
- Princípio da reversibilidade dos raios de luz 4
- Reflexão da luz 5
- Cor dos objetos 5

Espelhos planos 6
- Formação de imagens nos espelhos planos 6
- Campo de visão de um espelho plano 7

Espelhos esféricos 8
- Elementos geométricos de um espelho esférico 9
- Foco de um espelho esférico 9
- Raios principais 9
- Imagens formadas nos espelhos esféricos 10

Refração da luz 12
- Índice de refração absoluto 13
- Índice de refração relativo 13
- Leis de refração 13
- Ângulo limite e reflexão total 13

Lentes esféricas 14
- Raios principais 15
- Imagens formadas nas lentes esféricas 16

Óptica da visão 18
- Olho humano 18
- Como enxergamos 19
- Defeitos da visão 19

Ondulatória 21
- Conceito de onda 21
- Classificação das ondas quanto à natureza 21
- Classificação das ondas quanto ao modo de vibração 21

Fenômenos ondulatórios 24
- Reflexão de ondas 24
- Refração de ondas 24
- Difração de ondas 25
- Polarização de ondas 25
- Interferência 25

Acústica 27

Natureza do som 28
- Velocidade do som 28

Fenômenos sonoros 28
- Reflexão 28
- Ressonância 29

Tubos sonoros 30
- Tubos abertos 30
- Tubos fechados 30
- Qualidades fisiológicas do som 31

Avaliações

Anotações

Física

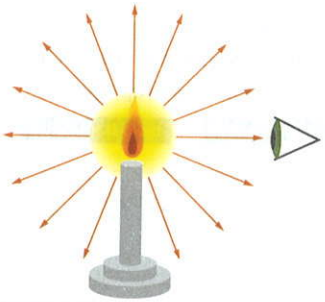
5 E

Óptica

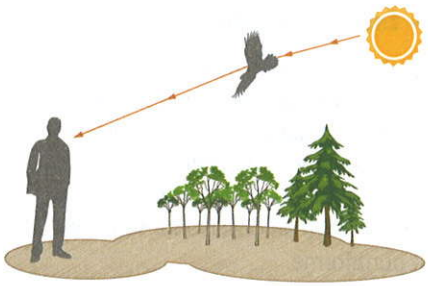
O sentido da visão nos permite receber grande parte das informações a respeito do mundo que nos rodeia. Esta comunicação é caracterizada pela interação da luz com a retina de nossos olhos. Vemos graças à sensibilidade que nossos olhos apresentam em relação à luz que provém dos objetos.

A luz pode ser estudada sob o aspecto de seu comportamento geométrico (óptica geométrica) ou por meio da sua natureza (óptica física).

Fontes de luz



Um objeto só é visto quando emite luz e esta atinge o olho do observador.



A luz pode ser produzida pelo próprio corpo, ou ser apenas refletida de um outro corpo que o ilumina.

Todo corpo que emite ou reflete luz é considerado uma fonte de luz e pode ser classificado como:

Fonte primária de luz (corpo luminoso)

São as fontes que possuem luz própria, ou seja, emitem luz, por exemplo, o Sol, uma lâmpada acesa, a chama de uma vela, etc.

Fotolia

Fonte secundária de luz (corpo iluminado)

São as fontes que apenas refletem a luz proveniente de uma outra fonte, não possuem luz própria, por exemplo, a Lua, seu caderno, a pessoa que está sentada ao seu lado, etc.

Vendo por meio da luz refletida

A luz emitida por uma fonte incide num objeto, uma planta, por exemplo. A planta reflete uma parcela dessa luz e parte dela atinge nossos olhos.

As fontes primárias podem ser classificadas como:

• **Incandescentes**

Estas fontes emitem luz devido à elevada temperatura em que se encontram.

Exemplos:

Uma barra de ferro ao rubro ou um filamento de uma lâmpada.

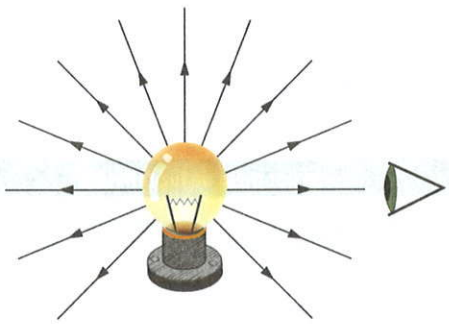
• **Luminescentes**

Estas fontes emitem luz a uma temperatura relativamente baixa e podem ser: **fluorescentes**, quando emitem luz na presença de um elemento excitador, por exemplo, a lâmpada fluorescente; ou **fosforescentes**, quando continuam emitindo luz durante certo intervalo de tempo após a retirada do elemento excitador, por exemplo, os interruptores nas paredes, mostradores de alguns relógios, etc.

Fonte extensa – fonte puntiforme

Pode-se ainda analisar as fontes em relação às suas dimensões em comparação às distâncias que se encontram do observador. Por exemplo, uma lâmpada fluorescente de 1 m de comprimento distante 3 m de um observador será considerada uma fonte extensa, esta mesma lâmpada distante 2 km do observador será considerada uma fonte puntiforme.

Raios de luz e feixes de luz



As noções de raio de luz e feixe de luz são muito úteis na representação da propagação da luz.

Para representar a propagação da luz, vamos utilizar a noção de raio de luz, um segmento de reta orientado, indicando a direção e o sentido da fonte para o observador.

Um conjunto de raios de luz será denominado de feixe de luz e pode ser classificado como: feixe paralelo, feixe convergente e feixe divergente.

Meios de propagação da luz

Os meios encontrados na natureza se comportam de diferentes maneiras em relação à propagação da luz.

Meio transparente

Os raios de luz propagam regularmente, permitindo uma visão nítida dos objetos inseridos neste meio.

Meio translúcido

Os raios de luz descrevem trajetórias irregulares, não permitindo uma visão nítida dos objetos nestes meios.

Meio opaco

São meios que não transmitem a luz, bloqueando completamente sua propagação.

Princípios da óptica geométrica

Princípio da propagação retilínea do raio de luz

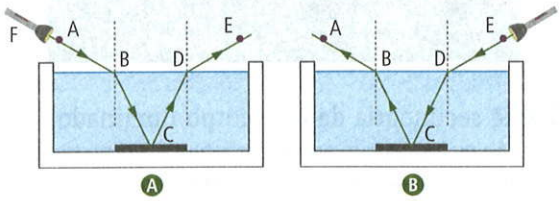
Nos meios homogêneos e transparentes, a luz se propaga em linha reta.

Princípio da independência dos raios de luz

Quando vários raios de luz se cruzam, cada um se comporta como se os outros não existissem.

Princípio da reversibilidade dos raios de luz

A trajetória descrita por um raio de luz independe do sentido de propagação atribuído a ele.



Reflexão da luz

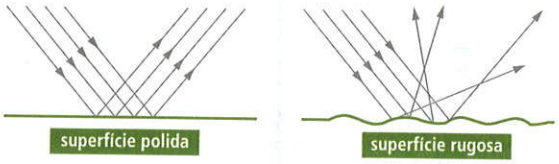
É o fenômeno que ocorre quando a luz atinge a superfície de um objeto e volta ao meio de origem.

Reflexão regular ou especular

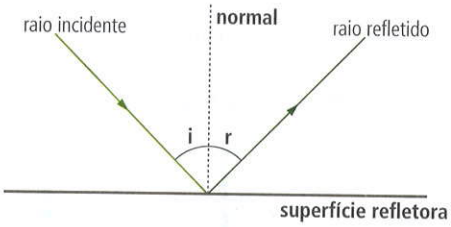
Ocorre em superfícies polidas, incide um feixe paralelo sobre uma superfície e reflete um feixe paralelo.

Reflexão irregular ou difusa

Nas superfícies não polidas ou rugosas, a reflexão é desordenada e os raios refletidos deixam de ser paralelos entre si.



Leis da reflexão



- **1.ª Lei**

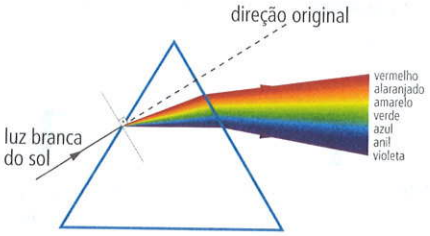
O raio incidente, a reta normal e o raio refletido estão contidos no mesmo plano.

- **2.ª Lei**

O ângulo de incidência e o ângulo de reflexão são iguais entre si.

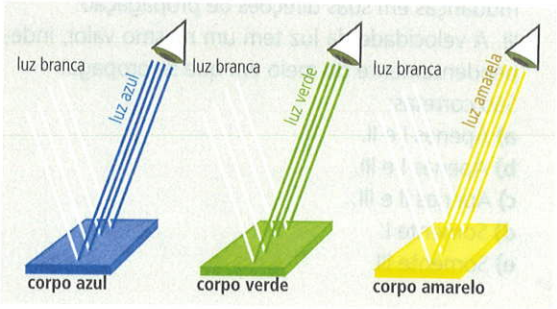
Cor dos objetos

A luz emitida pelo Sol ou por uma vela é branca, uma luz policromática (várias cores), composta por luzes monocromáticas (uma só cor). Para observarmos a decomposição da luz branca, fazemos a luz solar incidir sobre um prisma ou sobre gotículas de água (arco-íris).



Quando um feixe de luz branca incide sobre um corpo vermelho, este corpo absorve todas as cores e reflete apenas o vermelho, o mesmo ocorrendo com um corpo azul que reflete apenas a luz azul, o verde que reflete apenas o verde, etc.

Quando um feixe de luz monocromática, por exemplo, azul, incidir sobre um corpo branco, o corpo reflete a luz azul e o observador percebe este objeto na cor azul, agora, se a luz monocromática azul incidir sobre um corpo verde, este corpo absorve a luz azul e nada reflete, o observador percebe este corpo como um corpo negro.



Testes

01. (PUC) Dois raios de luz que se propagam num meio homogêneo e transparente, interceptam-se num certo ponto. A partir desse ponto, pode-se afirmar que:

a) os raios luminosos se cancelam;
b) mudam a direção de propagação;
c) continuam se propagando na mesma direção e sentido que antes;
d) se propagam em trajetórias curvas;
e) retornam em sentidos opostos.

02. (FUVEST-SP) Admita que o Sol subitamente "morresse", ou seja, sua luz deixasse de ser emitida 24 horas após esse evento, um eventual sobrevivente, olhando para o céu, sem nuvens, veria?

a) A Lua e as estrelas.
b) Somente a Lua e os planetas.
c) Somente as estrelas.
d) Uma completa escuridão.

03. Durante a final da Copa do Mundo, um cinegrafista, desejando alguns efeitos especiais, gravou uma cena em um estúdio completamente escuro, onde existia uma bandeira da "Azurra" (azul e branca), foi iluminada por um feixe de luz amarela

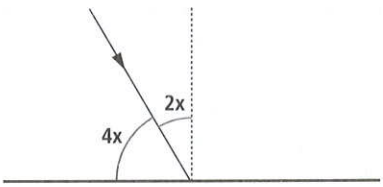
monocromática. Quando a cena foi exibida ao público, a bandeira apareceu:
a) verde e branca;
b) verde e amarela;
c) preta e branca;
d) preta e amarela;
e) azul e branca.

04. Dadas as informações:
I. Nos meios homogêneos e isótropos, a luz se propaga em linha reta.
II. Dois raios luminosos ao se cruzarem apresentam mudanças em suas direções de propagação.
III. A velocidade da luz tem um mesmo valor, independentemente do meio em que se propaga.
São corretas:
a) Apenas I e II.
b) Apenas I e III.
c) Apenas II e III.
d) Somente I.
e) Somente III.

05. Um meio é chamado translúcido quando:
a) não permite a passagem da luz;
b) só permite a passagem da luz de certa cor;
c) permite a passagem da luz e uma visualização perfeita das imagens;
d) permite a passagem da luz e não permite formação de imagem nítida.

06. São exemplos de fontes primárias:
a) ferro em brasa, lâmpada e Lua;
b) Sol, vela e sua caneta;
c) Sol, ferro em brasa e lâmpada acesa;
d) vela acesa, Lua e Sol.

07. Determine o ângulo de reflexão.



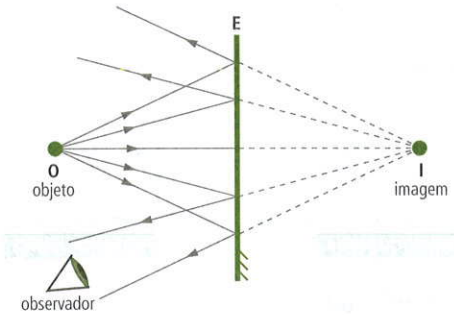
a) 30°
b) 15°
c) 60°
d) 45°
e) 72°

Espelhos planos

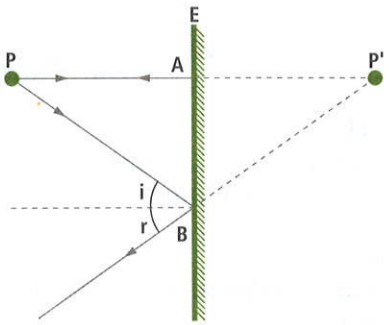
Uma superfície plana e bem polida que produz reflexão regular é denominada de espelho plano.

Formação de imagens nos espelhos planos

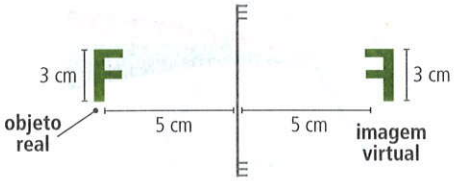
Os espelhos planos constituem um sistema óptico chamado de estigmático, ou seja, forma um único ponto imagem de cada ponto objeto.



Para determinar o ponto imagem de um ponto objeto, deve traçar dois raios de luz, obedecendo às leis da reflexão, conforme a figura abaixo.



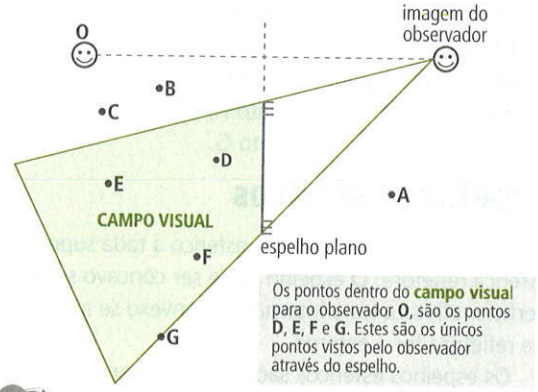
A imagem conjugada de um objeto em um espelho plano é:
- **simétrica** em relação ao espelho;
- **direita**, não está de ponta cabeça em relação ao objeto;
- **virtual**, forma-se atrás do espelho;
- **igual**, tem o mesmo tamanho do objeto;
- **enantiomorfa**, ocorre uma inversão de direita e esquerda.



Campo de visão de um espelho plano

Campo de visão de um espelho é a região que pode ser observada por reflexão através do espelho.

Consideremos o observador O e o espelho plano figurado, tomamos o ponto simétrico de O em relação ao espelho, obtendo o ponto O'. Unimos o ponto O' às extremidades do espelho, a região sombreada é o campo de visão do espelho em relação ao observador. O campo de visão do espelho depende do tamanho do espelho e da posição do observador.



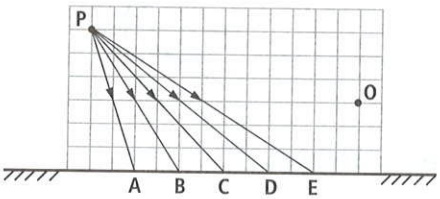
Os pontos dentro do **campo visual** para o observador **O**, são os pontos **D**, **E**, **F** e **G**. Estes são os únicos pontos vistos pelo observador através do espelho.

Testes

08. (F. MAN.) A imagem da palavra ESPELHO ESFÉRICO vista em um espelho plano será:

a) ESPELHO ESFÉRICO
b) OCIRÈƎSƎ OHLƎPƎƎ
c) OCIRÈƎSƎ OHLƎPƎƎ
d) ESFÉRICO ESPELHO
e) OCIRÈƎSƎ OHLƎPƎƎ

09. (UEL-PR) Um observador **O** observa a imagem de um objeto **P** refletida num espelho plano horizontal. A figura mostra um feixe de raios luminosos que partem de **P**.



O raio que atinge o observador O é:

a) PEO
b) PDO
c) PCO
d) PBO
e) PAO

10. É comum quando estamos andando de carro nas ruas, encontrarmos uma ambulância como a ilustrada a seguir, indo prestar socorro onde tenha ocorrido um acidente. Suponha que um motorista está dirigindo seu carro à frente da ambulância e observa a mesma pelo espelho retrovisor plano.

Fotolia/Adaptado

Sobre o exposto acima, julgue as afirmativas:

I. A palavra AMBULÂNCIA está escrita como vemos na figura, pois, assim o motorista verá no seu espelho retrovisor uma imagem revertida.

II. A imagem vista pelo motorista no seu espelho retrovisor é real e invertida.

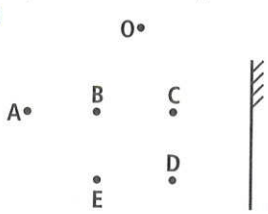
III. A imagem vista pelo motorista no seu espelho retrovisor é virtual, direita e de mesmo tamanho do objeto que a produziu.

Assinale a alternativa correta:

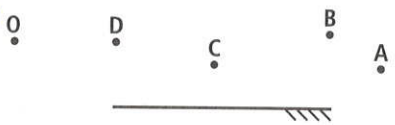
a) Apenas a I é correta.
b) Apenas a II é correta.
c) Apenas a III é correta.
d) São corretas I e III.
e) Todas são corretas.

11. Nas reflexões abaixo, determine os pontos que não podem ser vistos pelo observador **O**.

a)



b)



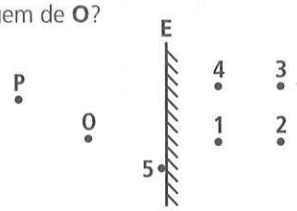
12. Um espelho plano forma:

a) sempre imagens virtuais.
b) sempre imagens reais.
c) imagens reais de objetos reais.
d) imagens virtuais de objetos virtuais.
e) imagens reais de objetos virtuais e vice-versa.

13. (UTFPR) Sobre as proposições:
I. O material refletor de um espelho plano é o vidro.
II. A imagem fornecida por um espelho plano é sempre real.
III. A imagem fornecida por espelho plano é sempre simétrica.

Podemos afirmar que:
a) Somente a proposição I é correta.
b) Somente a proposição II é correta.
c) Somente a proposição III é correta.
d) Nenhuma proposição é correta.
e) Todas as proposições estão corretas.

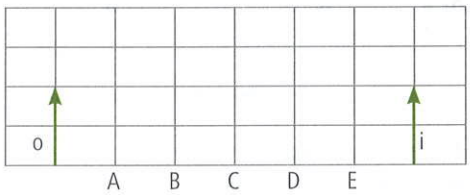
14. (UFRN) Um observador **P** se encontra em frente a um espelho plano **E**. Sendo **O** um objeto fixo, para que posição deve olhar o observador para ver a imagem de **O**?



a) 1
b) 2
c) 3
d) 4
e) 5

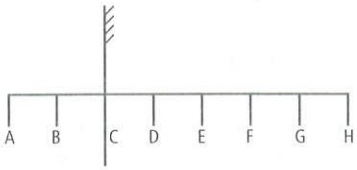
15. (Med-Jundiaí) Um raio de luz incide em um espelho plano. O maior valor possível para o angulo de reflexão desse raio é mais próximo de:
a) 45°
b) 60°
c) 90°
d) 120°
e) 180°

16. (UERJ) Na figura abaixo, deve-se colocar um espelho plano, de modo que **i** seja imagem do objeto **o**.



A posição indicada para o espelho é:
a) A
b) B
c) C
d) D
e) E

17. (UFMS) Na figura está representado um espelho plano vertical e um eixo horizontal onde estão os pontos A, B, C, D, E, F, G e H, equidistantes entre si.

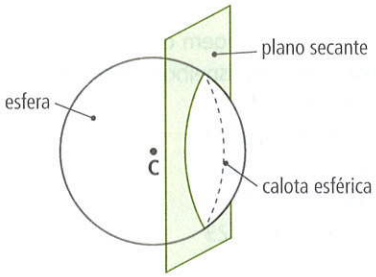


Se o espelho plano sofrer uma translação, passando do ponto C ao ponto D, a imagem de A vai passar:
a) do ponto D para o ponto E;
b) do ponto E para o ponto G;
c) do ponto E para o ponto F;
d) do ponto E para o ponto H;
e) do ponto F para o ponto G.

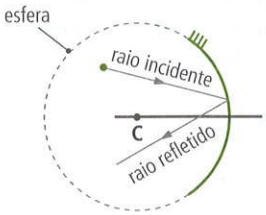
Espelhos esféricos

Denominamos de espelho esférico a toda superfície esférica refletora. O espelho pode ser côncavo se a superfície refletora for a interna, ou convexo se a superfície refletora for a externa.

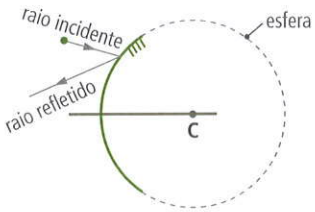
Os espelhos esféricos são formados por calotas esféricas.



- **Espelho côncavo**



- **Espelho convexo**



Aplicações práticas

Os espelhos côncavos são utilizados como espelhos de aumento nos estojos de maquiagem, pelos dentistas, refletores em lanternas, faróis de automóvel, holofotes, telescópios, etc.

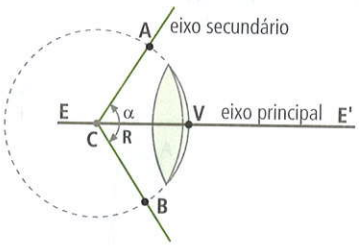
Já os espelhos convexos são utilizados em retrovisores de veículos e motos, saídas de garagens, auxílio ao motorista em cruzamento de ruas, portas de ônibus e em grandes lojas como elemento de segurança. A vantagem dos espelhos esféricos sobre os espelhos planos é possuir um campo visual maior.

Espelho convexo

Espelho côncavo

Elementos geométricos de um espelho esférico

Os elementos de um espelho esférico são, de acordo com a figura:

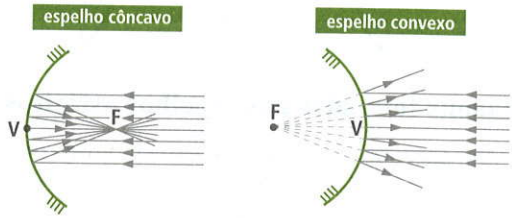


C – Centro de curvatura: É o centro da esfera que deu origem à calota;
R – Raio de curvatura: É o raio da calota esférica;
V – Vértice do espelho: É o polo da calota esférica;
EE' – Eixo principal: É a reta que passa pelo centro de curvatura e pelo vértice do espelho;
EA – Eixo secundário: É qualquer reta que passa pelo centro de curvatura, mas não passa pelo vértice do espelho;
α – Ângulo de abertura do espelho: É o ângulo sob o qual um observador colocado no centro do espelho vê um diâmetro do círculo que serve de base à calota esférica.

Para que as imagens obtidas nos espelhos esféricos sejam nítidas, estes espelhos devem ter ângulos de abertura menor que 10° e os raios de luz incidentes nos espelhos devem ser paralelos ou pouco inclinados em relação ao eixo principal. Estas duas condições são conhecidas como condições de Gauss, propostas por Karl Frederich Gauss (1777-1855), matemático e físico alemão.

Foco de um espelho esférico

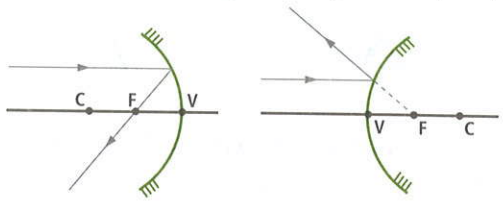
Quando um feixe de luz incide paralelo ao eixo principal do espelho esférico, observa-se que os raios refletidos ou seus prolongamentos se encontram em um único ponto, denominado de foco principal do espelho. Este foco é real no espelho côncavo e virtual no espelho convexo.



Raios principais

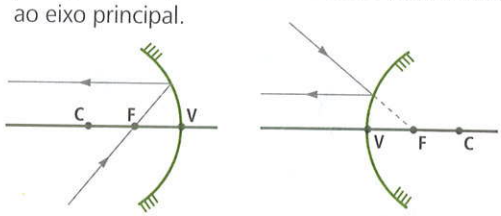
Para a construção gráfica de imagens formadas nos espelhos esféricos, devemos considerar as propriedades dos raios luminosos que incidem nos mesmos.

- Todo raio luminoso que incide paralelamente ao eixo principal, reflete passando pelo foco principal.

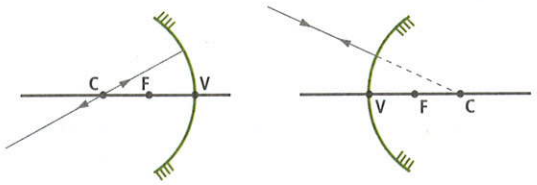


O raio refletido passa realmente pelo foco no espelho côncavo, já no espelho convexo quem passa pelo foco é o prolongamento do raio de luz.

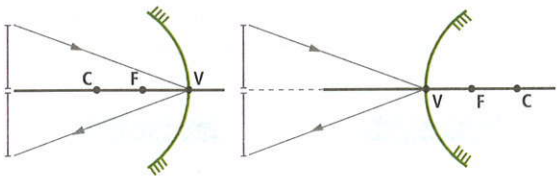
- Todo raio luminoso que incide passando pelo foco principal do espelho esférico reflete paralelamente ao eixo principal.



• Todo raio de luz que incide passando pelo centro de curvatura do espelho esférico reflete sobre si mesmo, não sofrendo desvio.



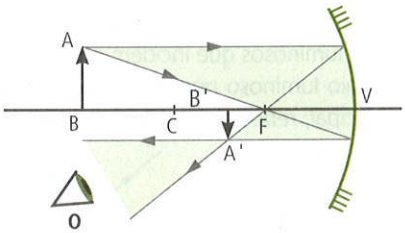
• Todo raio de luz que incide sobre o vértice do espelho esférico reflete simetricamente em relação ao eixo principal.



Imagens formadas nos espelhos esféricos

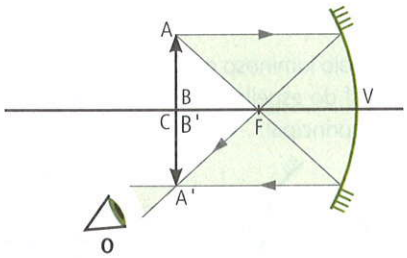
A imagem que um espelho côncavo fornece de um objeto real tem características diferentes, conforme a posição do objeto relativamente ao centro de curvatura e ao foco do espelho.

• Objeto colocado além do centro de curvatura



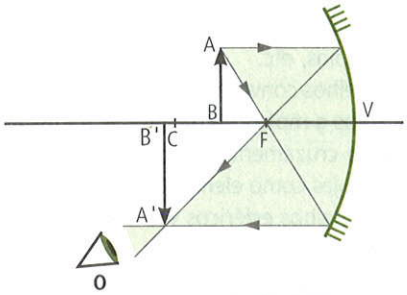
A imagem conjugada é real, invertida e menor que o objeto.

• Objeto colocado sobre o centro de curvatura



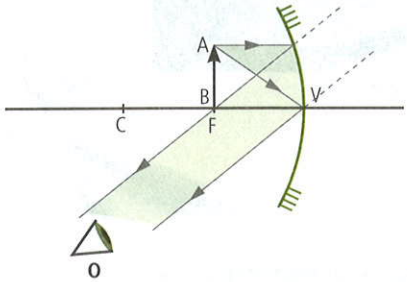
A imagem conjugada é real, invertida e igual (mesmo tamanho que o objeto).

• Objeto colocado entre o centro de curvatura e o foco



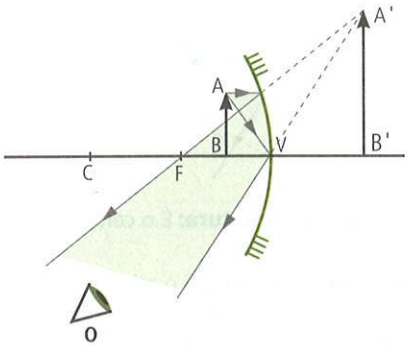
A imagem conjugada é real, invertida e maior que o objeto.

• Objeto colocado sobre o foco do espelho



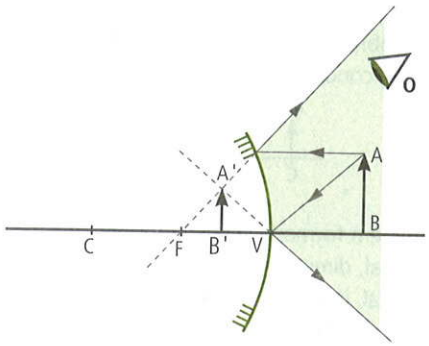
Os raios refletidos são paralelos, a imagem é imprópria, isto é, forma-se no infinito.

• Objeto colocado entre o foco e o vértice do espelho



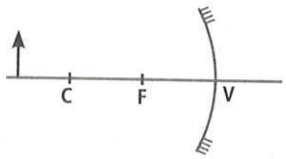
A imagem conjugada está atrás do espelho e é formada pelos prolongamentos dos raios refletidos, é virtual, direita e maior que o objeto.

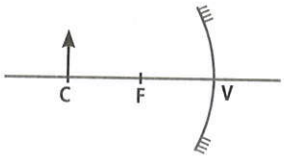
No caso de espelhos convexos, qualquer que seja a posição do objeto real, a imagem conjugada sempre será virtual, direita e menor que o objeto.

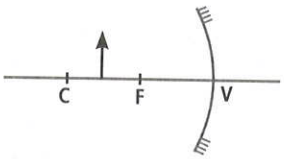


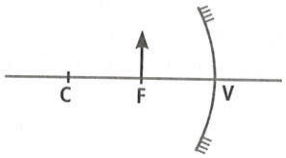
Testes

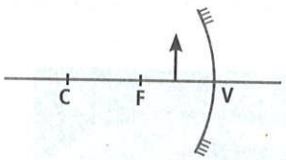
18. Construa e classifique as imagens fornecidas pelos espelhos esféricos a seguir.

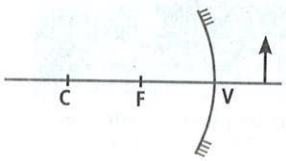












19. (Fuvest) A imagem de um objeto real produzida por um espelho esférico convexo é sempre:

a) virtual e menor que o objeto;
b) virtual e maior que o objeto;
c) real e menor que o objeto;
d) real e maior que o objeto;
e) real e igual ao objeto.

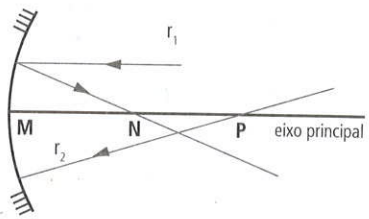
20. (Fatec) Uma menina observa a imagem de seu rosto em um espelho esférico convexo. À medida que ela se aproxima do espelho, a imagem que ela vê:

a) aumenta de tamanho mantendo-se sempre direita;
b) aumenta de tamanho, mas se inverte a partir de determinada distância do espelho;
c) diminui de tamanho mantendo-se sempre direita;
d) diminui de tamanho mantendo-se sempre invertida;
e) aumenta de tamanho até certa distância do espelho a partir da qual passa a diminuir.

21. (PUC-SP) Em um farol de automóvel tem-se um refletor constituído por um espelho esférico e um filamento de pequenas dimensões que pode emitir luz. O farol funciona bem quando o espelho é:

a) côncavo e o filamento está no centro do espelho;
b) côncavo e o filamento está no foco do espelho;
c) convexo e o filamento está no centro do espelho;
d) convexo e o filamento está no foco do espelho;
e) convexo e o filamento está no ponto médio entre o foco e o centro.

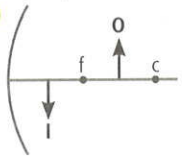
22. (UEL-PR) O esquema abaixo representa um espelho côncavo de pequena abertura, seu eixo principal e os raios incidentes r_1 e r_2.

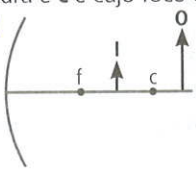


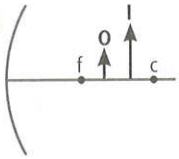
Pelas indicações do esquema, a imagem de um objeto real apoiado sobre o eixo principal, formada pelo espelho, será virtual:

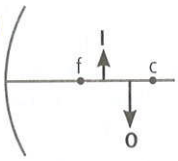
a) somente se o objeto estiver entre M e N;
b) somente se o objeto estiver entre N e P;
c) somente se o objeto estiver além de P;
d) se o objeto estiver no ponto P;
e) qualquer que seja a posição do objeto.

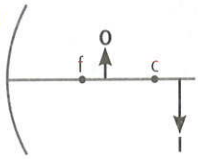
23. Indique a alternativa que representa melhor um objeto **O** e sua imagem, dada por um espelho côncavo, cujo centro de curvatura é **c** e cujo foco é **f**.

a)


d)


b)


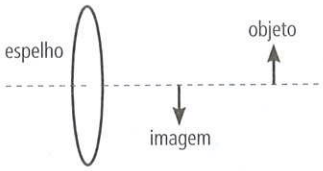
e)


c)


24. (FGV) Um espelho usado por esteticistas permite que o cliente, bem próximo ao espelho, possa ver seu rosto ampliado e observar detalhes da pele. Esse espelho é:

a) côncavo;
b) convexo;
c) plano;
d) anatômico;
e) epidérmico.

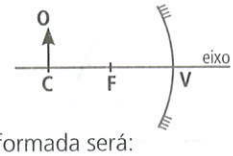
25. Um objeto real, colocado perpendicularmente ao eixo principal de um espelho esférico, tem imagem como mostra a figura a seguir.



Pelas características da imagem, podemos afirmar que o espelho é:

a) Convexo e sua imagem é virtual.
b) Convexo e sua imagem é real.
c) Côncavo e a distância do objeto ao espelho é menor que o raio de curvatura do espelho, mas maior que sua distância focal.
d) Côncavo e a distância do objeto ao espelho é maior que seu raio de curvatura.
e) Côncavo e a distância do objeto ao espelho é menor que a distância focal do espelho.

26. (UFMG) A figura representa um objeto **O** colocado sobre o centro de curvatura **C** de um espelho esférico côncavo:



A imagem formada será:

a) virtual, direita e menor;
b) virtual, invertida e menor;
c) real, direita e menor;
d) real, invertida e maior;
e) real, invertida e de mesmo tamanho.

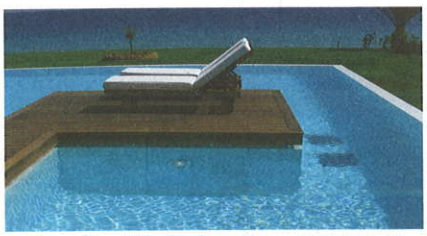
27. (UFV-MG) O espelho retrovisor de uma motocicleta é convexo porque:

a) reduz o tamanho das imagens e aumenta o campo visual;
b) aumenta o tamanho das imagens e aumenta o campo visual;
c) reduz o tamanho das imagens e diminui o campo visual;
d) aumenta o tamanho das imagens e diminui o campo visual;
e) mantém o tamanho das imagens e aumenta o campo visual.

Refração da luz

Quando um feixe de luz incide em um meio homogêneo e transparente, pode ocorrer absorção, reflexão ou transmissão da luz.

Quando a transmissão da luz de um meio para outro é acompanhada de mudança de velocidade, dizemos que houve refração da luz. A refração é importante para o entendimento de muitos fenômenos de nosso cotidiano: como a aparente profundidade menor de uma piscina, quando temos a impressão de que o asfalto está molhado numa viagem em dias quentes, a formação das cores do arco-íris, etc. A refração está presente também na fabricação de instrumentos ópticos, como: lunetas, microscópios, óculos e instrumentos de projeção.


Fotolia

A profundidade da piscina parece ser menor, devido à refração da luz.

Índice de refração absoluto

Índice de refração absoluto **n**, de um meio transparente para uma luz monocromática, é a razão entre a velocidade de propagação da luz no vácuo (c) e a velocidade de propagação da luz no meio (v).

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

O índice de refração absoluto é adimensional e seu valor é maior que 1, qualquer que seja o meio material.

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

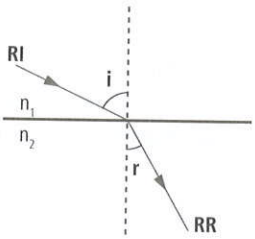
Índice de refração relativo

Índice de refração relativo de um meio material 2 em relação ao meio material 1 é a razão entre as velocidades de propagação de uma luz monocromática no meio 1 (v_1) e no meio 2 (v_2).

$$n_{2,1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Leis de refração

Considere um raio de luz incidindo de um meio material 1 passando para um meio material 2.



A refração obedece a duas leis:

- **1.ª Lei**

O raio incidente, a reta normal à superfície no ponto de incidência e o raio refratado estão em um mesmo plano.

- **2.ª Lei (Lei de Snell-Descartes)**

Para um dado par de meios e para uma dada luz monocromática, a razão entre o seno do ângulo de incidência (i) e o seno do ângulo de refração (r) é sempre constante.

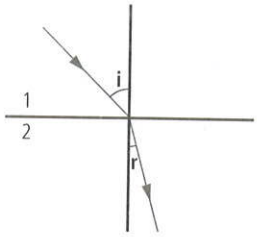
$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = n_{2,1} = \text{constante}$$

Pela Lei de Snell-Descartes e pela definição do índice de refração relativo, pode-se escrever:

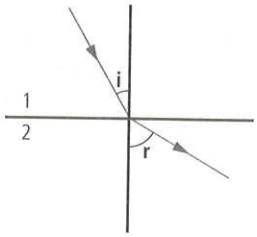
$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

Importante saber

Quando a luz incide em um meio menos refringente para um meio mais refringente ($n_1 < n_2$), o raio de luz refratado se aproxima da reta normal ($i > r$).

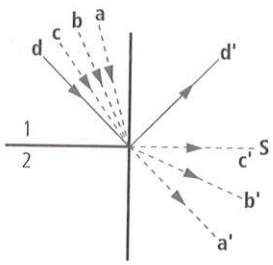


Quando a luz incide em um meio mais refringente para um meio menos refringente ($n_1 > n_2$), o raio de luz refratado se afasta da reta normal ($i < r$).



Ângulo limite e reflexão total

Quando o raio de luz incide de um meio mais refringente, passando para um meio menos refringente, o raio refratado se afasta da reta normal. A figura seguinte mostra vários raios incidentes e os respectivos raios refratados, quanto maior o ângulo de incidência, maior o ângulo de refração.



Quando o raio de luz refrata com ângulo de 90° em relação à reta normal, o ângulo de incidência correspondente é denominado de ângulo limite.

r = 90° → i = L (L = ângulo limite)

Aplicando os valores na Lei de Snell-Descartes:

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

Se o raio de luz incidir do meio mais refringente para o meio menos refringente, com ângulo maior que o ângulo limite para o par de meios, ocorre a reflexão total (raio d).

Testes

28. A velocidade da luz em certo meio transparente é igual a 1/3 da velocidade da luz no vácuo. O índice de refração desse meio é:

a) 3
b) 1/3
c) 2/3
d) 4/3
e) 3/2

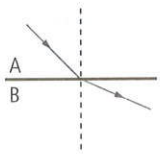
29. (UFBA) A luz se propaga em um meio **A** com a metade da velocidade de sua propagação no vácuo e com um terço em um meio **B**. Assim, o índice de refração do meio **A** em relação ao meio **B** vale:

a) 6
b) $\frac{5}{2}$
c) $\frac{3}{2}$
d) $\frac{4}{3}$
e) $\frac{2}{3}$

30. O índice de refração absoluto de um material vale 1,5. A velocidade de propagação da luz nesse material vale: (Considere o índice de refração absoluto: $n = \frac{C}{V}$ em que C é a velocidade da luz.)

a) $5/3 \times 10^8$ m/s
b) 5×10^8 m/s
c) 300 000 km/s
d) 200 000 km/s
e) 350 000 km/s

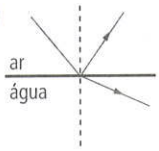
31. A figura mostra a passagem de um raio luminoso do meio A para o meio B. O índice de refração do meio B relativo ao meio A:



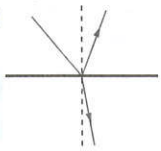
a) é menor que 1;
b) depende apenas do meio A;
c) é igual a 1;
d) depende apenas do meio B;
e) é maior que 1.

32. (Cesgranrio-RJ) Um raio luminoso incide sobre a superfície da água, vindo do ar. Qual das figuras propostas representa, corretamente, o que acontece ao raio na vizinhança da superfície?

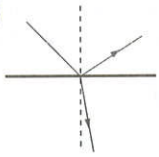
a)



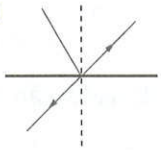
d)



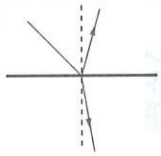
b)



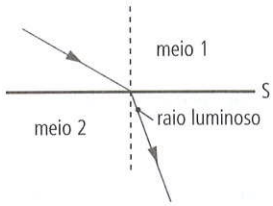
e)



c)



33. (UNIMEP-SP) Um raio luminoso refrata, a partir da superfície plana S, de um meio 1 para outro meio 2, como mostra a figura abaixo. De acordo com o observador, nesta figura, pode-se afirmar que:

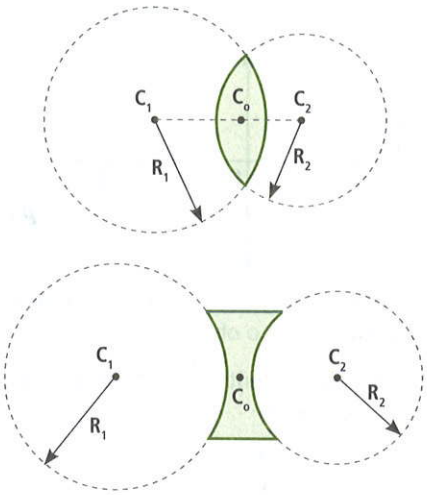


a) O meio 1 é mais refringente que o meio 2.
b) A velocidade da luz no meio 1 é maior que no meio 2.
c) Os dois meios têm o mesmo índice de refração.
d) A velocidade da luz no meio 1 é menor que no meio 2.
e) n.d.a.

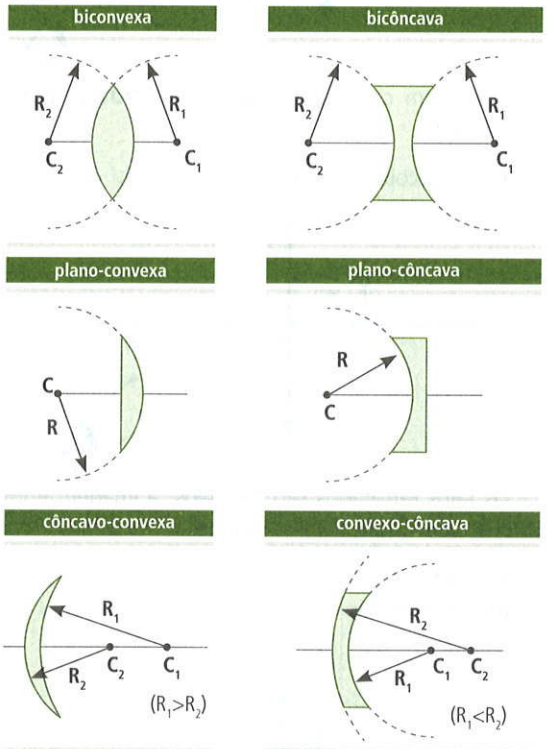
Lentes esféricas

Lente esférica é um meio transparente, homogêneo e isotrópico, limitado por duas faces, em que pelo menos uma é esférica.

Pode-se fabricar uma lente por meio de cortes esféricos em um bloco de material transparente, conforme a figura a seguir:

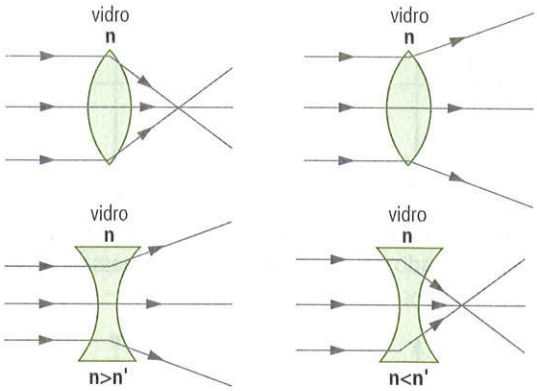


As lentes esféricas podem ser classificadas como lentes convexas, quando apresentam as bordas finas em relação ao centro da lente e lentes côncavas quando apresentam as bordas mais espessas do que o centro.

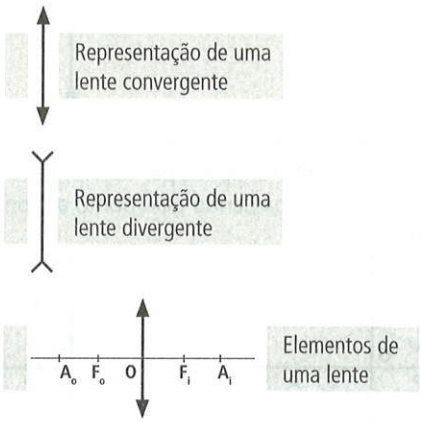


Quanto ao comportamento óptico, as lentes podem ser classificadas como convergente ou divergente.

- Se o índice de refração absoluto da lente for maior que o índice de refração absoluto do meio no qual a lente está imersa, as lentes convexas serão convergentes e as lentes côncavas divergentes.
- Se o índice de refração absoluto da lente for menor que o índice de refração absoluto do meio no qual a lente está imersa, as lentes convexas serão divergentes e as lentes côncavas convergentes.



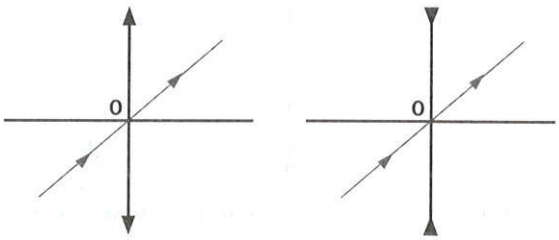
Representação gráfica das lentes



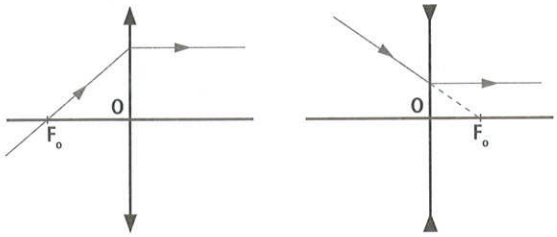
A_o = ponto antiprincipal objeto
A_i = ponto antiprincipal imagem
F_o = foco objeto
F_i = foco imagem
O = centro óptico da lente

Raios principais

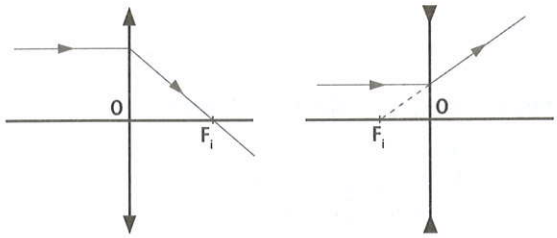
Todo raio de luz que incide no centro óptico da lente não sofre desvio ao ser refratado.



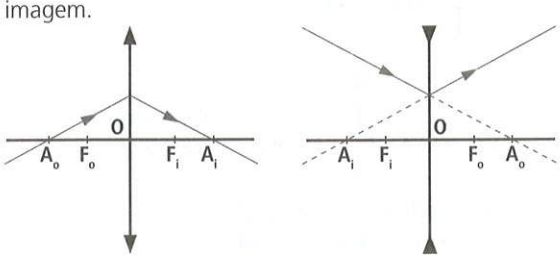
Todo raio de luz (ou seu prolongamento) que incide passando pelo foco objeto é refratado paralelo ao eixo principal.



Todo raio de luz que incide paralelo ao eixo principal é refratado (ou seu prolongamento) passando pelo foco imagem.



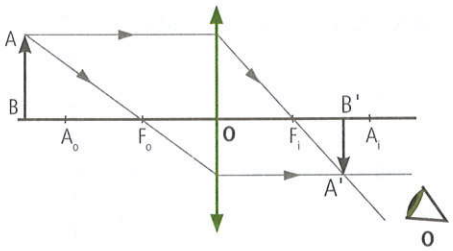
Todo raio de luz (ou seu prolongamento) que incide passando pelo ponto antiprincipal objeto, refrata (ou seu prolongamento) passando pelo ponto antiprincipal imagem.



Imagens formadas nas lentes esféricas

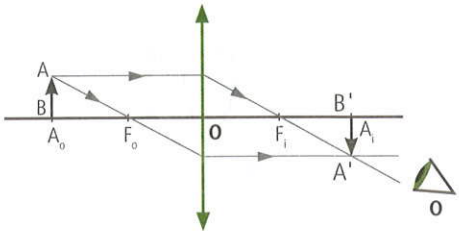
A imagem que uma lente convergente fornece de um objeto real tem características diferentes, conforme a posição do objeto relativamente ao centro óptico da lente.

- Objeto colocado além do ponto antiprincipal objeto:



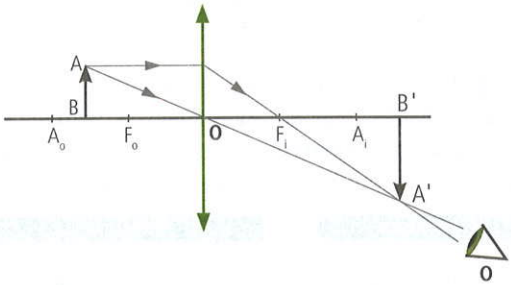
A imagem conjugada é **real**, **invertida** e **menor** que o objeto.

- Objeto colocado sobre o ponto antiprincipal objeto:



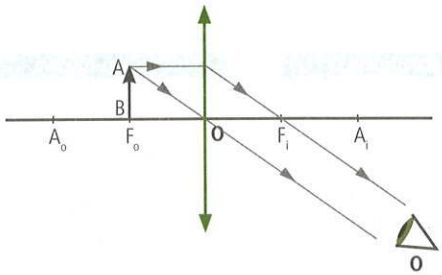
A imagem conjugada é **real**, **invertida** e **igual** (mesmo tamanho que o objeto).

- Objeto colocado entre o ponto antiprincipal objeto e o foco objeto:



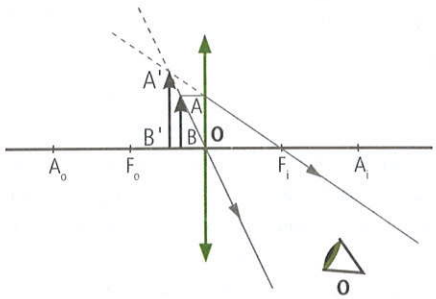
A imagem conjugada é **real**, **invertida** e **maior** que o objeto.

- Objeto colocado sobre o foco objeto:



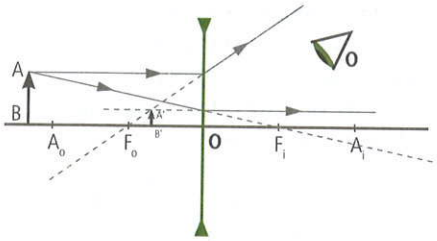
Os raios refratados são paralelos, a imagem é imprópria, isto é, forma-se no infinito.

- Objeto colocado entre o foco objeto e o centro óptico da lente:



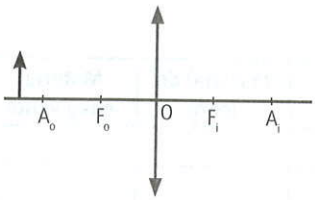
A imagem conjugada está atrás do espelho e é formada pelos prolongamentos dos raios refratados, é **virtual**, **direita** e **maior** que o objeto.

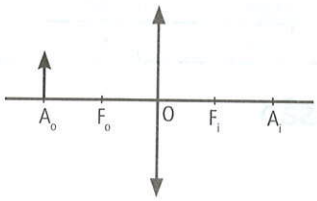
No caso da lente divergente, qualquer que seja a posição do objeto real, a imagem conjugada sempre será virtual, direita e menor que o objeto.

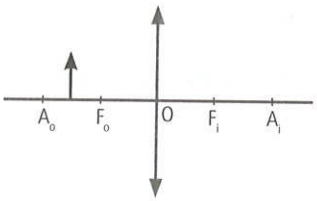


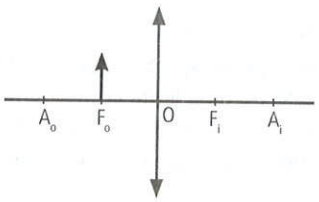
Exercício

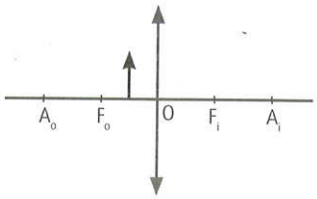
01. Construa e classifique as imagens fornecidas pelas lentes esféricas a seguir.

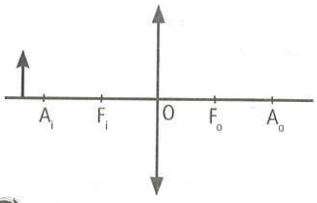










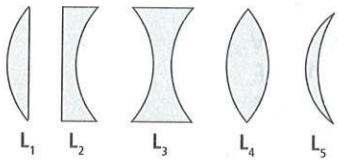


Testes

34. (Unifenas-MG) Uma lente biconvexa de índice de refração absoluto igual a 1,50 é colocada sucessivamente na água ($n_{água}$ = 1,33) e no bissulfeto de carbono ($n_{bissulf}$ = 1,67). Podemos afirmar que:

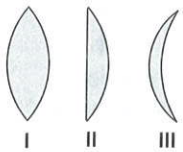
a) Nos dois meios, a lente é convergente.
b) Na água, a lente é convergente; e no bissulfeto de carbono, divergente.
c) Na água, a lente é divergente; e no bissulfeto de carbono, convergente.
d) Nos dois meios, a lente é divergente.
e) É uma lente cilíndrica nos dois meios.

35. As figuras L_1, L_2, L_3, L_4 e L_5 representam lentes de vidro. Poderão servir como lente de aumento, no ar, as lentes da alternativa:



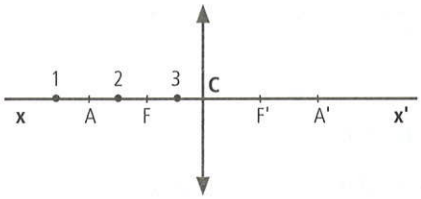
a) L_3 e L_5
b) L_2 e L_3
c) L_4 e L_3
d) L_1 e L_2
e) L_1, L_4 e L_5

36. (Unicentro-PR) As lentes das figuras abaixo são classificadas, respectivamente, em:



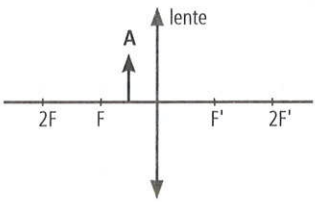
a) Bicôncava, plano-côncava, convexo-côncava.
b) Biconvexa, plano-convexa, convexo-côncava.
c) Convexo-côncava, plano-convexa, convexo-côncava.
d) Bicôncava, côncavo-convexa, convexo-côncava.
e) Biconvexa, plano-convexa, côncavo-convexa.

37. A figura a seguir representa uma lente delgada convergente com seu eixo principal xx', focos principais F e F' e pontos antiprincipais A e A':



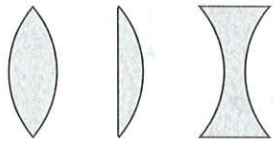
Assinale **V** (verdadeiro) ou **F** (falso):
( ) Se o objeto estiver posicionado em 1, a sua imagem será real, invertida e maior.
( ) Se o objeto estiver posicionado em A, a sua imagem será real, invertida e igual.
( ) Se o objeto estiver posicionado em F, a imagem será imprópria.
( ) Se o objeto estiver posicionado em 3, a imagem será virtual, direita e maior.
( ) Se o objeto estiver posicionado em 2, a imagem será real, invertida e maior.
( ) Se o objeto estiver posicionado em 3, a imagem será virtual, direita e menor.
a) V, V, V, V, V, F
b) F, F, V, V, V, V
c) F, V, V, V, V, F
d) V, F, V, F, V, F
e) V, F, F, F, F, V

38. (FESP) A figura representa um objeto A, posicionado entre o foco e o centro ótico de uma lente convergente. É correto afirmar que a imagem será:



a) Virtual, direita e maior.
b) Virtual, invertida e maior.
c) Real, direita e maior.
d) Real, direita e menor.
e) Real, invertida e maior.

39. Sabe-se que para uma lente ser convergente ou divergente, consideram-se três fatores: a geometria da lente, o material da lente e o material que envolve a lente em ambas as faces.
São dados três meios transparentes e seus respectivos índices de refração absoluto:
ar (N = 1,0), vidro (N = 1,5) e água (N = 1,3).
São dadas ainda três lentes:



lente 1 **lente 2** **lente 3**

Assinale a alternativa que indica uma lente convergente:

	Lente n.º	Material de lente	Material envolvente
a)	1	ar	vidro
b)	2	água	vidro
c)	3	vidro	ar
d)	1	água	vidro
e)	3	água	vidro

Óptica da visão

Olho humano

O olho humano é uma esfera com diâmetro de, aproximadamente, 20 mm.

Possui 3 membranas que o envolvem:

- **Córnea**

Tecido resistente e transparente que cobre a superfície anterior do olho.

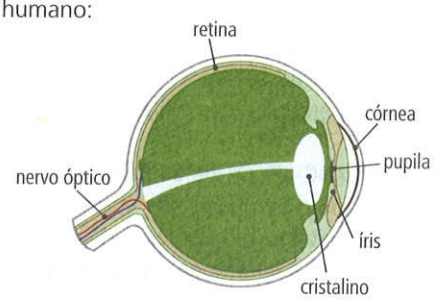
- **Coroide**

É a cobertura externa da esclerótica.

- **Retina**

A luz, proveniente dos objetos, é refratada pela córnea, atravessa o cristalino (corpo transparente e deformável com o formato de uma lente convergente) e atinge o fundo do olho em uma região fotossensível, denominada retina, onde se forma uma imagem **real** e **invertida** do objeto.

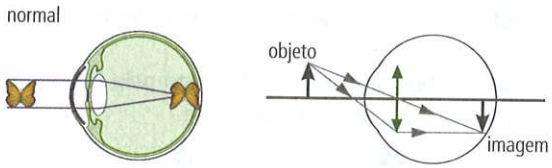
A figura a seguir mostra uma secção transversal do olho humano:



A quantidade de luz que penetra no olho é controlada pela pupila, que é uma abertura variável, que fica no centro de uma membrana colorida, denominada íris. Funciona como um diafragma de uma máquina fotográfica, variando seu diâmetro de 2 mm a 8 mm. Ao trabalho realizado pela íris e pela pupila, controlando a quantidade de luz, denominamos **adaptação visual**.

A projeção da imagem na retina é realizada pelo cristalino que, por ação de músculos ciliares, pode ter sua distância focal alterada, de acordo com a posição do objeto. A esse sistema de focalização da imagem, que consiste na variação da distância focal do cristalino, que permite ver nitidamente objetos longe ou perto, denominamos **acomodação visual**.

Como enxergamos



A acomodação visual não é ilimitada. O olho humano normal consegue acomodar objetos, desde o infinito até uma distância mínima de visão distinta.

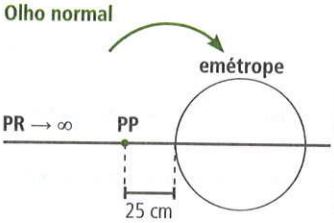
- **Ponto remoto (PR)**

É o ponto de maior distância que um objeto é visto com nitidez. Para o olho normal, o ponto remoto estará no infinito.

- **Ponto próximo (PP)**

É o ponto de menor distância que um objeto é visto com nitidez, com o maior esforço de acomodação.

Olho normal



PP: Ponto próximo, situado a 25 cm do globo ocular.
PR: Ponto remoto, localizado no infinito.

Defeitos da visão

O olho humano normal (emétrope) pode apresentar alguns defeitos, devido à falta de uniformidade na curvatura da córnea ou pela córnea ser pouco ou muito convergente, em função do tamanho do globo ocular. Por isso, aparecerem os defeitos visuais que são chamados de **ametropias**. Os principais são:

Miopia

O globo ocular mais alongado provoca excessiva convergência do cristalino. O ponto remoto (PR) torna-se finito e a imagem se forma antes da retina.

Para a correção da miopia, deve-se usar lente divergente.

Hipermetropia

É exatamente o oposto da miopia, consistindo de um encurtamento do globo ocular. A retina, portanto, fica aproximada do cristalino mais que o normal. Assim a imagem é enviada para trás da retina. A correção da hipermetropia é feita com lente convergente.

Por isso constata-se que, no olho hipermétrope, o ponto próximo sofre um afastamento.

Presbiopia (vista cansada)

Esta anomalia do olho humano consiste numa diminuição da zona de acomodação, causada pelo endurecimento do cristalino. Costuma manifestar-se em pessoas idosas e progredir com o passar dos anos. A crescente dificuldade de visualizar objetos próximos deve-se ao afastamento do ponto próximo do olho, criando um problema analógico ao do hipermétrope. Assim, a correção pode ser feita igualmente com lentes convergentes.

Sendo o ponto remoto (PR) diminuído, deve-se usar lentes bifocais.

Astigmatismo

Uma falta de regularidade na curvatura da córnea e uma consequente imperfeição na simetria do sistema ótico ocular provocam o astigmatismo. O olho passa a conjugar mais de uma imagem de um ponto objeto. Pode-se corrigir este defeito com o uso de lentes cilíndricas capazes de compensar tais diferenças de curvatura.

Estrabismo

Não mantém os eixos ópticos alinhados. Correção por lentes prismáticas.

Testes

40. (USC) Para corrigir os defeitos de visão denominados miopia e hipermetropia, precisamos, respectivamente, de óculos com lentes:
a) Divergentes e convergentes.
b) Convergentes e divergentes.
c) Convergentes e convergentes.
d) Divergentes e divergentes.
e) Divergentes ou convergentes, dependendo dos graus de miopia e hipermetropia.

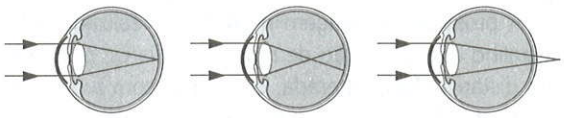
41. (UNICURITIBA-PR)
Melhore seu ponto de vista
Num julgamento criminal ocorreu a seguinte situação: a promotoria tinha como principal prova para a acusação uma testemunha que afirmava ter presenciado o crime e reconhecer o assassino. Contudo, o advogado de defesa solicitou que a testemunha não fosse considerada, pois a distância que a separava do ocorrido, segundo a defesa, era insuficiente para que houvesse o reconhecimento. Isso porque a testemunha tinha um defeito de visão, usava óculos e na hora estava sem eles.

Analisando as afirmações anteriores, podemos afirmar:
a) Se a testemunha tiver miopia, a defesa pode estar errada, pois o olho míope tem a visão à distância praticamente normal.
b) Se a testemunha tiver presbiopia, a defesa está correta, pois esse defeito impossibilita a visão normal, qualquer que seja a distância do objeto.
c) Se a testemunha tiver daltonismo, a defesa pode estar certa, pois esse defeito ocasiona imagens, a qualquer distância, apresentando borrões e consequentemente não nítidas.
d) Se a testemunha tiver hipermetropia, a defesa pode estar errada, pois o olho hipermétrope tem a visão à distância praticamente normal.
e) Qualquer que seja o defeito de visão da testemunha, a defesa está correta.

42. (UEPG-PR) O olho portador de defeito da visão é chamado olho amétrope. Dentre os defeitos da visão, o astigmatismo, defeito que assola boa parte da população mundial, ocorre quando as superfícies dióptricas do globo ocular não apresentam absoluta simetria em relação ao eixo óptico. Corrige-se o astigmatismo pelo uso de:
a) lentes convergentes.
b) lentes divergentes.
c) lentes cilíndricas.
d) uma associação de lentes.
e) lentes convergentes, desde que sejam biconvexas.

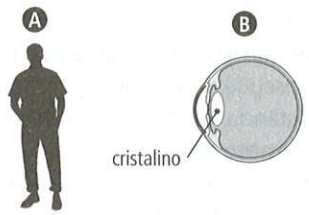
43. (MED. ABC-SP) Os defeitos de visão: miopia, hipermetropia e presbiopia são corrigidos, respectivamente, com o uso de lentes:
a) Convergentes, convergentes, divergentes.
b) Convergentes, divergentes, convergentes.
c) Convergentes, convergentes, convergentes.
d) Divergentes, divergentes, divergentes.
e) Divergentes, convergentes, convergentes.

44. (FCC) A lente do olho (cristalino) e as lentes para corrigir os defeitos I e II são, respectivamente:



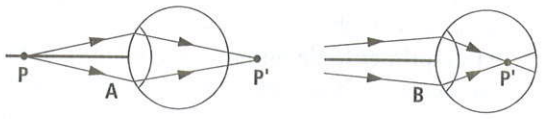
a) convergente, divergente e divergente.
b) divergente, convergente e divergente.
c) convergente, convergente e divergente.
d) divergente, divergente e convergente.
e) convergente, divergente e convergente.

45. Na figura, o homem A é visto pelo homem B, representado pelo olho em corte.



À medida que A se aproxima de B e supondo que o olho é normal:
a) a curvatura do cristalino aumenta para aumentar a distância focal;
b) a curvatura do cristalino diminui para diminuir a distância focal;
c) a curvatura do cristalino não se altera porque o olho é normal;
d) a curvatura do cristalino aumenta para diminuir a distância focal;
e) a curvatura do cristalino diminui para aumentar a distância focal.

46. (PUC) A figura abaixo mostra, esquematicamente, dois defeitos de visão, que podem ser corrigidos pelo uso das seguintes lentes:

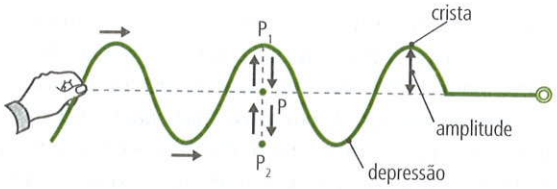


a) convergentes para os casos A e B;
b) divergentes para os casos A e B;
c) convergente para o caso A e divergente para o B;
d) divergente para o caso A e convergente para o B;
e) um dos defeitos mostrados não pode ser corrigido com o uso de lentes.

Ondulatória

Conceito de onda

As ondas são fenômenos periódicos que não transportam matéria, apenas transmitem energia de um ponto para outro.



A perturbação denomina-se pulso.

O movimento do pulso denomina-se onda.

A mão da pessoa que faz o movimento vertical é a fonte.

O meio em que a onda se propaga é a corda.

Temos então que ondas são perturbações periódicas e oscilatórias que transmitem energia sem o transporte de matéria.

Classificação das ondas quanto à natureza

Ondas mecânicas

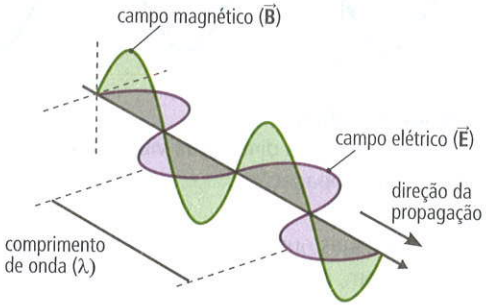
São transmitidas por meio de um meio material, mediante transferência de vibrações das partículas que constituem o meio, portanto não se propagam no vácuo.

Exemplos:

Ondas em cordas, ondas na superfície da água, ondas em molas, ondas sísmicas na crosta terrestre e ondas sonoras.

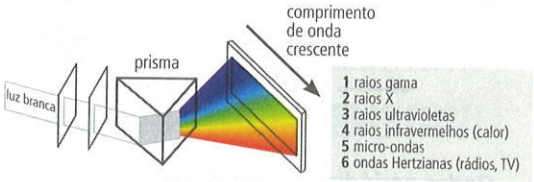
Ondas eletromagnéticas

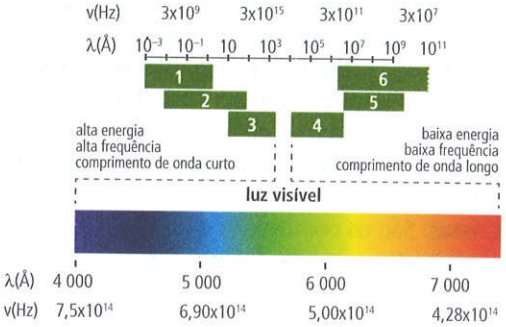
São transmitidas mediante à vibração de dois campos, um elétrico e outro magnético, por meio do vácuo ou de meios materiais. Os campos são perpendiculares entre si e também na direção de propagação. No vácuo, elas se propagam com a mesma velocidade, 300 000 km/s.



Exemplos:

Ondas de rádio, TV, micro-ondas, luz visível, raios X, raios γ, etc.





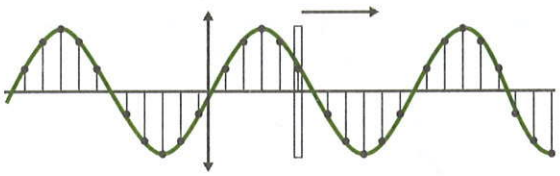
Classificação das ondas quanto ao modo de vibração

Ondas transversais

São aquelas cuja direção de vibração é perpendicular à direção de propagação.

Exemplos:

Ondas eletromagnéticas, ondas numa corda.

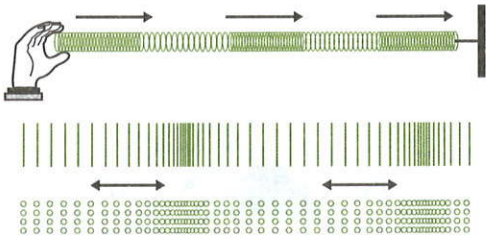


Ondas longitudinais

São aquelas em que a direção de vibração coincide com a direção de propagação.

Exemplos:

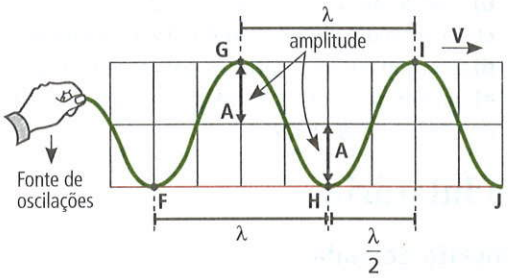
Ondas provocadas numa mola mediante um movimento de vai e vem, som nos fluidos, etc.



Ondas periódicas – elementos

Denominam-se ondas periódicas as ondas geradas por fontes de energia que executam oscilações periódicas, ou seja, que se repetem em intervalos regulares de tempo. A figura a seguir representa uma onda periódica propagando-se numa corda tencionada e, a seguir, estão relacionados alguns importantes elementos a ela associados:

- **Cristas:** São os pontos mais altos dos pulsos que estão voltados para cima (pontos G e I).
- **Vales:** São os pontos mais baixos dos pulsos inferiores (pontos F, H e J).
- **Amplitude:** É o máximo afastamento que cada ponto do meio apresenta em relação à sua posição de equilíbrio, seja para cima ou para baixo.
- **Período T:** É o intervalo de tempo para que cada ponto do meio (por onde a onda se propaga) execute uma oscilação ou ciclo completo.
- **Frequência f:** É o número de oscilações ou ciclos completos que cada ponto do meio (no qual a onda se propaga) executa na unidade de tempo. É fácil perceber que a frequência é inversamente proporcional ao período, ou seja, $f = 1/T$.
- **Comprimento de onda:** λ – representa a distância percorrida pela onda num intervalo de tempo de um período. O valor de λ corresponde exatamente à distância entre duas cristas ou dois vales consecutivos.



Velocidade de propagação de uma onda

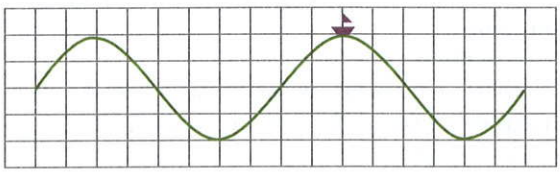
A velocidade de propagação de uma onda vai depender do meio no qual ela se propaga. Vejamos um exemplo: a luz se propaga no vácuo com velocidade 3×10^8 m/s; ao penetrar na água, sua velocidade se reduz para $2{,}25 \times 10^8$ m/s; penetrando no diamante, sua velocidade se reduzirá ainda mais, para $2{,}00 \times 10^8$ m/s. Note que se trata sempre da mesma onda, com a mesma frequência, vinda do mesmo meio (o vácuo). Porém, sua velocidade de propagação está diretamente ligada ao índice de refração do meio onde passa a se propagar.

Se admitirmos um intervalo de tempo igual a um período, sabemos que a onda percorre exatamente um comprimento de onda. Então:

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad \text{ou} \quad v = \lambda \cdot f$$

Testes

47. A figura abaixo representa uma onda periódica propagando-se na água (a onda está representada de perfil). A velocidade de propagação desta onda é de 40 m/s, e cada quadradinho possui 1 m de lado.



Determine:
a) O comprimento de onda (λ) desta onda.
b) A amplitude (A) desta onda.
c) A frequência (f) da onda.
d) O período (T) de oscilação do barquinho sobre a onda.

48. Ondas mecânicas podem ser do tipo transversal, longitudinal ou mistas. Numa onda transversal, as partículas do meio:
a) não se movem;
b) movem-se numa direção perpendicular à direção de propagação da onda;
c) movem-se numa direção paralela à direção de propagação da onda;
d) realizam movimento retilíneo uniforme;
e) n.d.a.

49. Considere uma pessoa batendo periodicamente em um ponto da superfície de um líquido. Uma onda passa a se propagar nessa superfície. Portanto, podemos afirmar que:
I. A velocidade de propagação (v) da onda na superfície de um líquido depende do meio. Assim, em líquidos diferentes (água, óleo, etc.) teremos velocidades de propagação diferentes.
II. A distância entre duas cristas sucessivas é o comprimento de onda.
III. A frequência (f) da onda é igual à frequência da fonte que deu origem à onda.
IV. As grandezas v, f e λ estão relacionadas pela equação $\lambda = v/f$ e, portanto, como v é constante para um dado meio, quanto maior for f, menor será o valor de λ neste meio.

Assinale a alternativa correta:
a) Apenas as afirmativas I, II e IV são corretas.
b) Apenas as afirmativas I e III são corretas.
c) Apenas as afirmativas I, III e IV são corretas.
d) Apenas as afirmativas II e IV são corretas.
e) Todas as afirmativas estão corretas.

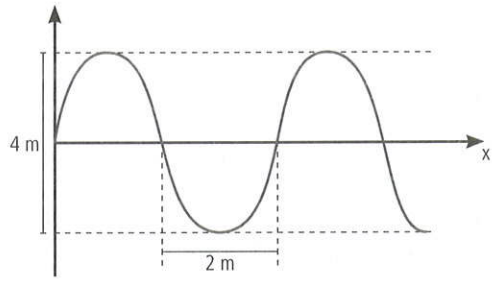
50. Um rapaz e uma garota estão em bordas opostas de uma lagoa de águas tranquilas. O rapaz, querendo comunicar-se com a garota, coloca dentro de um frasco plástico um bilhete e, arrolhando o frasco, coloca-o na água e lhe dá uma pequena velocidade inicial. A seguir, o rapaz pratica movimentos periódicos sobre a água, produzindo ondas que se propagam, pretendendo com isso aumentar a velocidade do frasco em direção à garota. Com relação a esse fato podemos afirmar:
a) Se o rapaz produzir ondas de grande amplitude, a garrafa chega à outra margem mais rapidamente.
b) O tempo que a garrafa gasta para atravessar o lago dependerá de seu peso.
c) Quanto maior a frequência das ondas, menor será o tempo de percurso até a outra margem.
d) A velocidade da garrafa não varia, porque o que se transporta é a perturbação e não o meio.
e) Quanto menor o comprimento de onda, maior será o aumento na velocidade da garrafa.

51. Uma onda desloca-se na superfície de um lago com velocidade de 0,3 m/s. Sabendo que o comprimento de onda é 0,6 m, determine quantas vezes por segundo um pedaço de madeira que flutua neste lago vai realizar um movimento de "sobe-desce". Isso corresponde a perguntar qual é a frequência deste movimento oscilatório, em hertz.

52. Analise as sentenças e escreva **V** (verdadeira) ou **F** (falsa):
( ) Pulso é uma emissão rápida de energia que se propaga.
( ) Uma sucessão periódica de pulsos constitui uma onda periódica.
( ) Uma onda transporta apenas energia, sem transportar matéria.
( ) Qualquer onda se propaga num meio elástico.
( ) Qualquer onda se propaga no vácuo.
( ) Toda onda eletromagnética é transversal.
( ) Toda onda mecânica é longitudinal.
( ) O som é uma onda mecânica.

A sequência correta é:
a) V, V, V, V, F, V, F, V
b) V, V, V, F, F, V, F, F
c) F, V, F, F, V, V, F, V
d) F, F, V, V, F, F, V, F

53. A figura abaixo representa uma onda de frequência igual a 2 Hz. A amplitude e a velocidade de propagação dessa onda são, respectivamente:

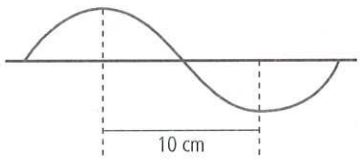


a) 2 m e 0,5 m/s
b) 2 m e 2 m/s
c) 4 m e 2 m/s
d) 2 m e 8 m/s
e) 4 m e 8 m/s

54. (UECE) Em uma corda homogênea e esticada, são geradas duas ondas de amplitudes iguais. Podemos afirmar que essas ondas, necessariamente, terão:
a) comprimentos de ondas iguais;
b) frequências iguais;
c) velocidades de propagação iguais;
d) períodos iguais;
e) fases iguais.

55. (UCMG) Se aumentarmos a frequência com que vibra uma fonte de ondas num dado meio:
a) o período aumenta;
b) a velocidade de onda diminui;
c) o período não se altera;
d) a velocidade de onda aumenta;
e) o comprimento de onda diminui.

56. (PUC-MG) A figura mostra um trecho de uma onda que se propaga, com velocidade constante, numa corda homogênea e de peso desprezível, com frequência de 5 Hz. A velocidade de propagação da onda é de:



a) 2,0 m/s
b) 0,10 m/s
c) 1,0 m/s
d) 0,20 m/s
e) 0,5 m/s

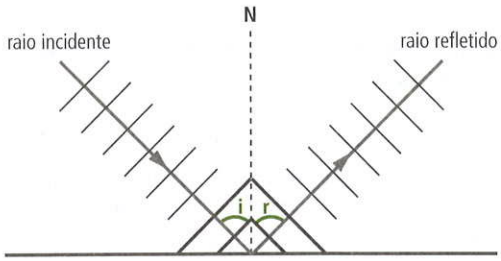
57. (UEL-PR) Uma onda periódica transversal se propaga numa mola, onde cada ponto executa uma oscilação completa a cada 0,20s. Sabendo-se que a distância entre duas cristas consecutivas é 30 cm, pode-se concluir que a velocidade de propagação dessa onda é, em m/s, igual a:
a) 0,15
b) 0,60
c) 1,5
d) 3,0
e) 6,0

Fenômenos ondulatórios

Os fenômenos mais comuns que podem ocorrer com uma onda, propagando-se num determinado meio, são: reflexão, refração, difração, polarização e interferência.

Reflexão de ondas

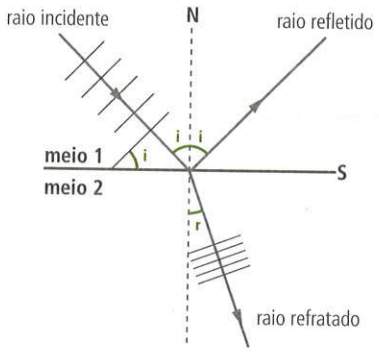
É o fenômeno que consiste em uma onda, propagando-se em um meio 1, que atinge a superfície de separação com um meio 2, voltando ao meio de origem. A reflexão pode ser representada pelas frentes de onda ou pelos seus raios de onda.



- O raio incidente, a normal e o raio refletido, são coplanares.
- O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.
- Na reflexão → f, v e λ não variam.

Refração de ondas

É o fenômeno no qual uma onda, propagando-se em um meio 1, passa a se propagar num meio 2, alterando sua velocidade.



$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

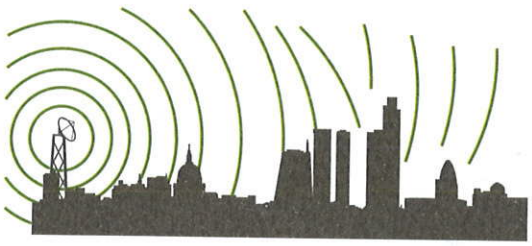
Na refração → v e λ não mudam na mesma proporção.

Na refração → f não de altera.

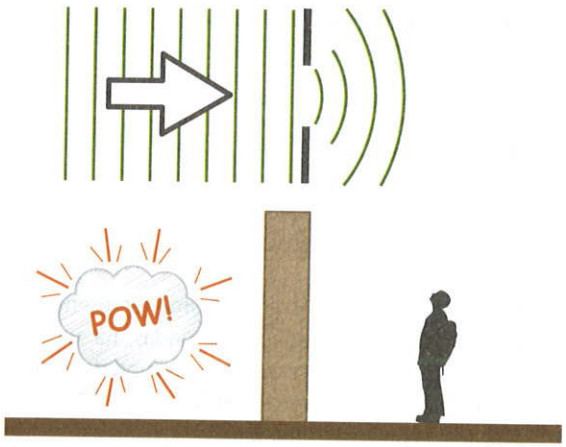
Difração de ondas

Difração é o fenômeno pelo qual uma onda tem a capacidade de contornar um obstáculo.

A figura abaixo representa ondas de rádio difratando em um prédio.



A figura a seguir mostra ondas retas na superfície da água que atingem um obstáculo dotado de uma pequena fenda.



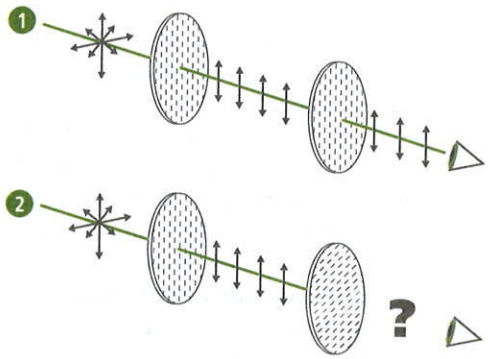
O fenômeno da difração somente é nítido quando as dimensões da abertura ou do obstáculo forem da ordem de grandeza do comprimento de onda da onda incidente.

A difração ocorre com qualquer tipo de onda. As ondas sonoras, por exemplo, permitem que escutemos uma explosão (ou um som qualquer), mesmo que este som ocorra atrás de um obstáculo.

Com a luz também ocorre a difração, porém é mais difícil percebermos a difração de ondas luminosas, porque os obstáculos e as aberturas em que a luz incide são normalmente bastante grandes em relação ao seu comprimento de onda. Entretanto, se fizermos a luz passar por orifícios cada vez menores, observaremos que a luz sofrerá difração.

Polarização de ondas

A polarização é uma propriedade das ondas eletromagnéticas, inclusive da luz, que confina a onda a um único plano de vibração. A luz natural não está polarizada, o que significa que se pudéssemos olhar de frente um raio de luz, veríamos o vetor elétrico vibrando igualmente em todas as direções perpendiculares ao raio.

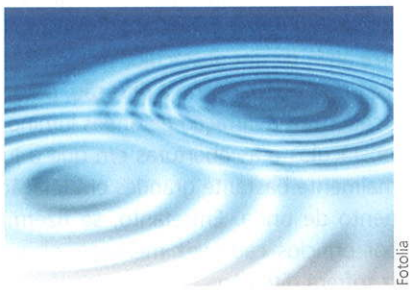


No caso da luz, esse comportamento pode ser percebido com o uso de materiais polarizadores. Dois polarizadores no mesmo plano, estando um em rotação, podem produzir escuridão em determinados ângulos. O primeiro polarizador que a luz encontra permite a passagem apenas da radiação que vibra em uma direção particular. Se o segundo polarizador é colocado de forma a permitir a passagem apenas da luz que vibra na direção perpendicular àquela direção particular, então nenhuma luz transmitida pelo primeiro polarizador será capaz de passar pelo segundo.

Interferência

A interferência é um fenômeno típico das ondas. Podemos observá-la, por exemplo, num tanque de

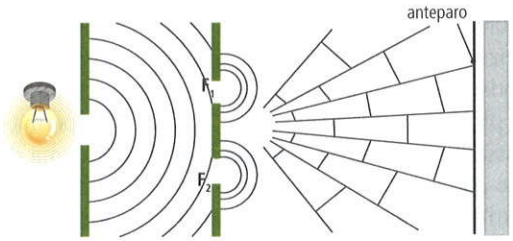
água em que se produzem ondas por meio de duas pontas que tocam periodicamente e sincronizadas à superfície da água. Como resultado, forma-se na superfície um padrão característico, que denominamos figura de interferência.


Fotolia

Ao longo de certas linhas, as duas perturbações se reforçam, ou seja, interferem de modo construtivo. Ao longo de outras linhas, as duas perturbações se anulam, ou seja, interferem de modo destrutivo.

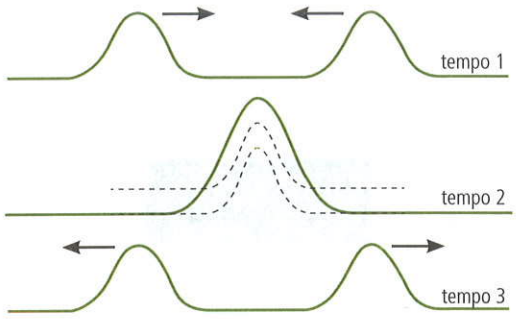
Também podemos obter figuras de interferência com a luz. Para isso, fazemos um feixe de luz passar através de duas fendas vizinhas muito estreitas. Das duas fendas, emergem dois feixes difratados, que interferem entre si e são interceptados por uma tela. Se o feixe de luz é de uma só cor, formam-se, sobre a tela, regiões claras e escuras, alternadas. As regiões claras são aquelas atingidas pelas duplas cristas e duplos vales, ou seja, regiões onde as ondas luminosas interferem construtivamente. As regiões escuras correspondem a regiões atingidas por uma crista e um vale, ou seja, regiões onde as ondas luminosas se interferem destrutivamente. O padrão de faixas de luz projetado na tela é chamado **franjas de interferência**.

A interferência da luz foi inicialmente demonstrada por Thomas Young, em 1806.

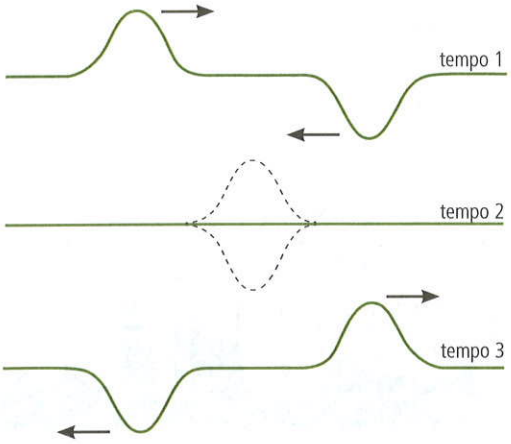


Considere dois pulsos deslocando-se em direções opostas numa corda. Caso estes dois pulsos se interceptem num determinado momento, pode ocorrer interferência construtiva ou destrutiva, de acordo com a forma inicial dos pulsos. Se os dois pulsos estão no mesmo lado da corda, ocorre interferência construtiva e as amplitudes dos pulsos serão somadas. Caso contrário acontece, no momento do encontro, a interferência destrutiva e as amplitudes dos dois pulsos serão subtraídas (o cancelamento completo só existe se os pulsos forem idênticos).

Interferência construtiva



Interferência destrutiva

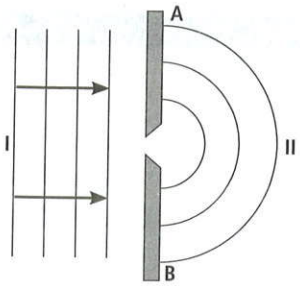


Testes

58. (FEMPAR-PR) Quando uma onda tridimensional atravessa obliquamente a superfície de separação de dois meios e refrata-se, não ocorre alteração em seu(sua):

a) velocidade;
b) frequência;
c) comprimento de onda;
d) direção de propagação;
e) índice de refração absoluto.

59. (UFMG) A figura a seguir é uma representação esquemática de propagação de ondas, na superfície da água de um tanque, de profundidade uniforme, no sentido indicado pelas setas. AB é um obstáculo contendo uma fenda.



Quanto à velocidade de propagação v das ondas e sua frequência f, é correto afirmar que:

a) Na região I, v e f são menores do que na região II.
b) Na região I, v e f são maiores do que na região II.
c) Na região II, f é maior e v é menor do que na região I.
d) Na região II, f é o mesmo e v é maior do que na região I.
e) Nas regiões I e II, v e f têm os mesmos valores.

60. (Mackenzie-SP) Dois homens conversam, apesar de uma espessa parede de 3 m de altura estar interposta entre eles. Este fato pode ser melhor explicado pelo fenômeno da:

a) difração;
b) refração;
c) reflexão;
d) interferência;
e) reverberação.

61. (FATEC-SP) Uma fonte produz ondas que são polarizadas. Pode-se afirmar que estas ondas podem ser:

a) sonoras;
b) luminosas;
c) longitudinais;
d) transversais ou longitudinais;
e) n.d.a.

62. Para que haja interferência destrutiva total entre duas ondas de mesma frequência, é necessário que elas possuam:

a) mesma amplitude e estejam em oposição de fase;
b) amplitudes diferentes e estejam em oposição de fase;
c) mesma amplitude e estejam em concordância de fase;
d) amplitudes diferentes e estejam em concordância de fase;
e) mesma amplitude e estejam em quadratura de fase.

63. Analise as sentenças e marque com **V** (verdadeiras) ou **F** (falsas):

( ) Toda onda mecânica pode ser polarizada.
( ) Toda onda eletromagnética pode ser polarizada.
( ) As ondas sonoras não podem ser polarizadas.
( ) Sempre que passa por um polaroide, a luz sai polarizada.
( ) Nem sempre um polaroide deixa passar um raio de luz.

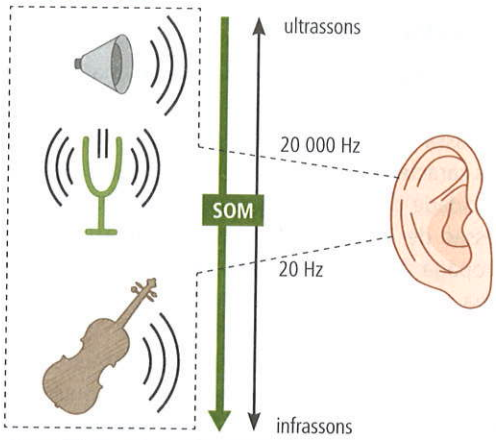
A sequência correta é:

a) F, F, V, V, F
b) F, V, V, F, V
c) V, V, F, F, F
d) V, V, V, V, V
e) V, V, V, F, F

64. Quando um raio de luz atinge a superfície de um tanque de água limpa e transparente, com ângulo de incidência diferente de 0°, parte do raio se reflete e parte se refrata. Neste caso, podemos garantir que:

a) tanto o raio refletido como o raio refratado serão totalmente polarizados;
b) quando o raio refletido e o raio refratado formam entre si um ângulo de 90°, ambos terão a luz totalmente polarizada e vibrando no mesmo plano;
c) o raio refletido sempre será polarizado, mas o refratado não;
d) nenhuma das informações acima está perfeitamente correta.

Acústica



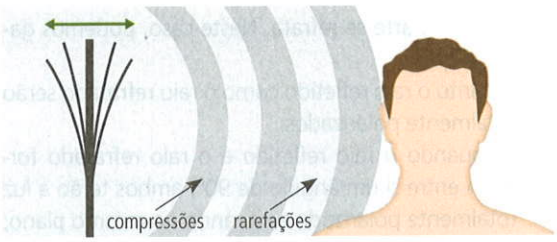
Intervalo audível para o homem. Só podemos indentificar como som vibrações mecânicas de frequências médias de 20 Hz a 20 000 Hz. As frequências inferiores a 20 Hz são denominadas infrassons, e as superiores a 20 000 Hz, ultrassons.

É uma parte da mecânica ondulatória que estuda o som. Para se produzir uma onda sonora, basta fazer qualquer corpo vibrar com uma frequência **f** tal que seja capaz de excitar o ouvido humano. A frequência audível deve apresentar um valor mínimo de 20 Hz e um valor máximo de 20 000 Hz (valores médios). Se a frequência de uma vibração mecânica for inferior a 20 Hz ou superior a 20 000 Hz, não percebemos, isto é, não podemos ouvi-la. Tais vibrações são denominadas, respectivamente, **sons** e **ultrassons**.

Natureza do som

O som é o efeito produzido por ondas mecânicas longitudinais, que se propagam a partir de um meio material elástico e que são capazes de sensibilizar o ouvido humano.

No ar, as ondas sonoras se propagam a partir de zonas de compressão e rarefação do meio material.



O som é uma onda mecânica longitudinal que se propaga a partir de zonas de compressão e rarefação.

O som, sendo uma onda mecânica, necessita de um meio material para se propagar, logo:

O som não se propaga no vácuo.

Velocidade do som

A velocidade do som num dado meio material é determinada pelo próprio meio. A pressão, a temperatura, a massa específica, a constante elástica são, dentre outras características do meio, fatores que determinam a velocidade do som. No ar atmosférico, por exemplo, à pressão de 1 atm e à temperatura de 20°C, o som se propaga a uma velocidade de 340 m/s. Realmente uma velocidade pequena quando comparada à da luz (c = 300 000 km/s). É por este motivo que durante uma tempestade elétrica primeiro percebemos o clarão da descarga para alguns segundos depois ouvirmos o som (o trovão). A tabela a seguir apresenta, a título de exemplo, a velocidade de propagação do som em alguns meios. Observe pela tabela qual som se propaga mais rapidamente nos meios sólidos e nos gases qual apresenta menor velocidade.

Meio	Velocidade do som (m/s)
Ar (20°C)	340
O_2 (0°C)	317
H_2 (15°C)	1 300
Água (15°C)	1 450
Aço (20°C)	5 130
Granito (20°C)	6 000

Fenômenos sonoros

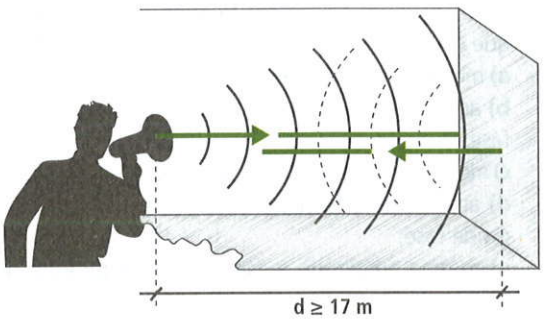
Na propagação do som, observam-se os fenômenos gerais da propagação ondulatória. Dada sua natureza longitudinal, o som não pode ser polarizado; sofre, entretanto, os demais fenômenos, a saber: difração, reflexão, refração, interferência e efeito Döppler.

Reflexão

A reflexão do som obedece às leis da reflexão ondulatória nos meios materiais elásticos e suas consequências. Convém frisar que a reflexão do som ocorre bem em superfícies cuja extensão seja grande em comparação ao comprimento de onda, determinando, por sua vez, novos fenômenos subjetivos, conhecidos como **reforço**, **reverberação** e **eco**.

Eco

O ouvido humano normal, para perceber separadamente dois sons distintos que o atingem, exige que tais sons cheguem a ele separados por uma diferença de tempo igual ou superior a 1/10s. Isso porque o nosso sistema auditivo "retém" uma vibração sonora durante 1/10s. Assim, o eco ocorre quando o som refletido chega ao ouvido de uma pessoa depois que o som direto já se extinguiu. O intervalo de tempo entre a chegada do som direto e do som refletido deve ser, portanto, superior a 0,10s. Como o som no ar se propaga a 340 m/s (20°C), nesse intervalo de 0,10s o som percorre 34,0 m. Deste modo, para se ouvir o eco, devemos nos posicionar do obstáculo refletor a uma distância $d \geq 17$ m.



Reverberação

A reverberação ocorre frequentemente quando sons emitidos por uma fonte se refletem em paredes, tetos, pisos, etc., chegando aos nossos ouvidos antes de se extinguir o som direto. A superposição entre sons diretos e refletidos permite que se ouça um som contínuo e envolvente; o som refletido é uma continuação do som direto. No interior de uma casa sem móveis, cortinas e tapetes, ao se conversar percebe-se a reverberação (a voz se amplifica e se alonga).

Ressonância

Todo corpo na natureza, quando oscila livremente, oscila com uma determinada frequência natural ou própria (também chamada frequência preferencial de vibração).

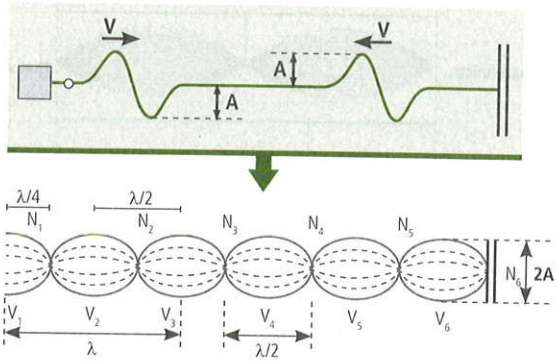
Devido às dissipações de energia decorrentes da ação de atritos, a amplitude das oscilações diminui, até que o corpo cesse as oscilações e retorne ao estado de repouso. Para que um dado corpo, por exemplo, uma taça de cristal, continue vibrando, é necessário submetê-lo a impulsos periódicos, entregando-lhe energia o suficiente para compensar aquela que dissipou. Se o fornecimento de energia ao corpo em oscilação apresentar frequência igual a uma das suas frequências naturais, esse corpo passa a acumular energia, aumentando progressivamente a amplitude de suas oscilações. Nessas condições, diz-se, então, que o sistema fornecedor de energia e o sistema receptor estão em **ressonância**.

Ressonância é o aumento da amplitude de vibração de um sistema oscilante quando atingido por uma onda de frequência coincidente com uma das frequências naturais do sistema.

Se o fornecimento de energia for prolongado, o aumento na amplitude de vibração do corpo oscilante pode causar a sua ruptura. Uma taça de cristal quebra ao entrar em ressonância com o som emitido por um instrumento musical.

Onda estacionária

A imagem a seguir mostra duas ondas propagando-se em sentidos opostos ao longo de uma corda. Essas ondas (uma incidente e outra refletida) possuem mesma amplitude A, a mesma frequência f e o mesmo comprimento de onda l. Desse modo, cada ponto da corda, ao ser atingido por essas ondas, oscila em MHS com a mesma amplitude A e frequência f destas. Entretanto, à medida que estas ondas vão se superpondo ao longo da corda, forma-se nesta uma onda resultante denominada **onda estacionária**.



Onde N representa interferência destrutiva formando um nó e V representa interferência construtiva formando um ventre.

Cordas vibrantes

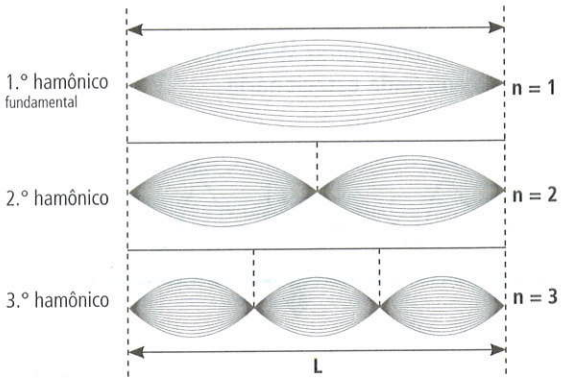
Uma corda vibrante é um fio elástico, tenso, preso entre duas extremidades, capaz de vibrar. Utilizada para o fabrico de instrumentos musicais, como piano, violino, violão, etc., ela apresenta várias frequências naturais de vibração, as quais denominamos **modos de vibração**.


Fotolia

Violão

Violino

Quando uma corda esticada entra em vibração, ao longo dela propagam-se ondas transversais que, ao se refletirem nas extremidades, dão origem a ondas estacionárias.



Ao vibrar, a corda comprime e rarefaz o meio que a envolve, fazendo-o vibrar junto com ela e com a mesma frequência f, originando assim ondas sonoras que se propagam em todas as direções.

Quando a corda vibra com um único ventre (n = 1), ela produz o chamado **som fundamental** ou **1.° harmônico**. Se ela vibrar com dois ventres (n = 2), o som emitido é denominado **2.° harmônico** e assim por diante. O comprimento de onda λ_n e a frequência f_n de um harmônico qualquer podem ser determinados pelas relações:

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \quad \text{e} \quad f_n = \frac{nv}{2L}$$

Tubos sonoros

Os tubos sonoros são os instrumentos musicais de sopro, constituídos de cilindros, nos quais uma porção gasosa é posta a vibrar.

Quando o ar é introduzido em uma das extremidades do tubo, denominada embocadura, as ondas longitudinais, que se propagam no seu interior, são refletidas nas extremidades dos tubos. A interferência entre as ondas incidentes e as ondas refletidas dá origem às ondas estacionárias no interior do tubo.


Fotolia

Trompete

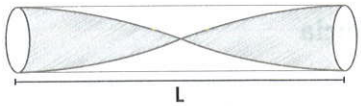
Só são amplificadas as frequências que o tubo é capaz de ressoar, denominadas frequências naturais de vibração. Essas frequências dependem do comprimento do tubo e da outra extremidade, oposta à embocadura, ser aberta ou fechada.

Tubos abertos

A extremidade oposta à embocadura é aberta.

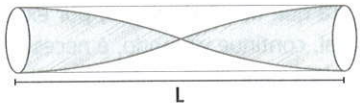
A menor frequência com que o tubo é capaz de ressoar é denominada som fundamental ou 1.° harmônico.

- **Som fundamental ou primeiro harmônico**



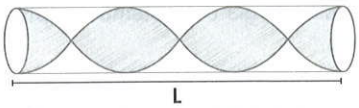
$$L = \frac{\lambda}{2} \rightarrow \lambda = 2L \text{ e } f_1 = \frac{v}{2L}$$

- **Segundo harmônico**



$$L = \frac{2\lambda}{2} \rightarrow f_2 = 2f_1$$

- **Terceiro harmônico**



$$L = \frac{3\lambda}{2} \rightarrow f_3 = 3f_1$$

Para o enésimo harmônico:

$$L = \frac{n\lambda}{2} \rightarrow \lambda_n = \frac{2L}{n}$$

Comparando com o 1.° harmônico:

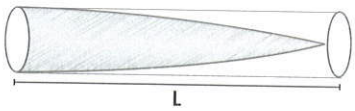
$$f_n = n \cdot f_1$$

Tubos fechados

Os tubos fechados são tubos sonoros em que a extremidade oposta à embocadura é fechada.

Na extremidade fechada, temos a formação de um nó. Para o som fundamental ou 1.° harmônico, temos:

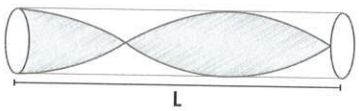
- **Som fundamental ou primeiro harmônico**



Neste caso:

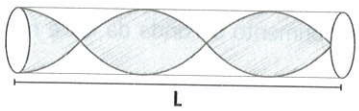
$$L = \frac{\lambda}{4} \qquad \lambda = 4L \qquad f_1 = \frac{v}{4L}$$

- **Terceiro harmônico**



$$L = 3\frac{\lambda}{4} \qquad \lambda = \frac{4L}{5} \qquad f_3 = 3f_1$$

- **Quinto harmônico**



$$L = 5\frac{\lambda}{4} \qquad \lambda = \frac{4L}{5} \qquad f_5 = 5f_1$$

- **N-ésimo harmônico**

$$L = \frac{n\lambda}{4} \qquad \lambda = \frac{4L}{n} \qquad f_n = nf_1$$

Observe que os tubos sonoros fechados apresentam somente harmônicos ímpares n = 1, 3, 5, 7, ...

Qualidades fisiológicas do som

O ouvido humano normal identifica no som três qualidades, denominadas qualidades fisiológicas: **altura**, **intensidade** e **timbre**.

Altura do som

É a qualidade que permite ao ouvido distinguir sons graves (frequências baixas) de sons agudos (frequências altas). De uma forma geral, a voz feminina é mais aguda (voz fina) e a masculina é mais grave (voz grossa). Uma nota musical é caracterizada por sua frequência. Assim, quando um instrumento musical emite notas musicais diferentes, está emitindo sons de diferentes frequências.

Intensidade auditiva do som

É a qualidade que nos permite diferenciar um **som forte** de um **som fraco**. Som forte é aquele de maior intensidade e, por isso mesmo, de maior amplitude, pois transporta mais energia. A voz masculina, de um modo geral, é mais forte que a feminina. O estampido de uma arma de fogo produz um som forte, enquanto o tic-tac de um relógio produz um som fraco.

Se variarmos a intensidade sonora de um som, notaremos que o som fica mais forte. Essa relação, entretanto, não é linear, sendo melhor expressa por uma função logarítmica. Ou seja, para ouvirmos um som duas vezes mais forte, precisamos aumentar a intensidade sonora em dez vezes.

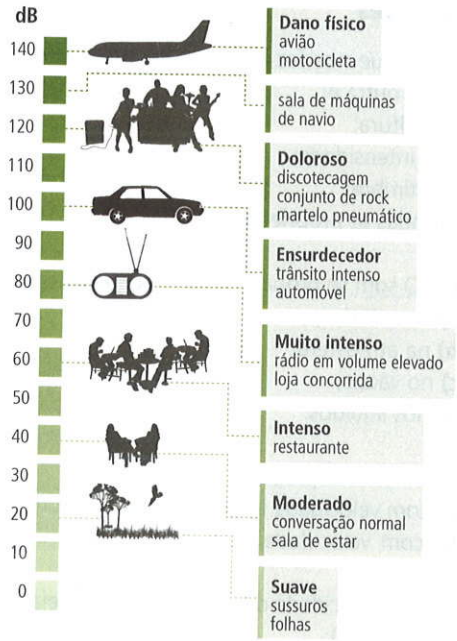
A partir dessa observação, podemos estabelecer uma medida de intensidade sonora.

Se considerarmos I_0 a menor intensidade sonora audível (da ordem de 10^{-12} N/m²) e I a intensidade sonora do som que se deseja medir, a intensidade sonora β de um som é o expoente a que se deve elevar o número 10 para se obter a relação I/I_0.

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

$I_0 = 10^{-12}$ W/m² → intensidade mínima
β = nível sonoro, medida no SI em dB (decibel)

A tabela a seguir mostra o nível sonoro de alguns sons (em decibéis):



Timbre do som

É a qualidade que permite distinguir sons de mesma altura e intensidade, emitidos por diferentes fontes sonoras. O que realmente caracteriza o timbre são os harmônicos que acompanham o som fundamental, ou seja, a forma da onda. Assim, se uma flauta e uma clarineta, por exemplo, emitirem a mesma nota musical, conseguiremos distinguir o som de cada um desses instrumentos. A voz de uma pessoa apresenta também um timbre próprio, e é por esse motivo que podemos identificá-la por meio da voz.

Testes

65. O que nos faz distinguir a voz de uma pessoa da de outra é:
a) a altura;
b) a intensidade;
c) o timbre;
d) todas as propriedades em conjunto.

66. O som se propaga com maior velocidade:
a) nos sólidos;
b) na atmosfera;
c) no vácuo;
d) nos líquidos.

67. O som se propaga:
a) com velocidade igual, seja ruído ou som musical;
b) com velocidade igual, seja no ar úmido ou na água;
c) com velocidade diferente conforme seja ruído ou som musical;
d) com velocidade igual seja no ar, na água ou nos sólidos.

68. Qualidade que permite distinguir um som forte de um som fraco:
a) timbre;
b) intensidade;
c) altura;
d) eco.

69. Um som de alta frequência é muito:
a) forte;
b) agudo;
c) grave;
d) fraco.

70. Numa experiência clássica, coloca-se em uma campânula de vidro, onde se faz o vácuo, uma lanterna acesa e um despertador que está despertando. A luz da lanterna é vista, mas o som do despertador não é ouvido. Isso acontece porque:
a) o comprimento de onda da luz é menor que o do som;
b) nossos olhos são mais sensíveis que nossos ouvidos;
c) o som não se propaga no vácuo e a luz sim;
d) a velocidade da luz é maior que a do som;
e) o vidro da campânula serve de blindagem para o som, mas não para a luz.

71. A propriedade que nos permite distinguir a nota dó emitida por um piano e a nota dó emitida por um violão, sendo ambas de mesma frequência, é a(o):
a) altura;
b) volume;
c) timbre;
d) intensidade.

72. Quando assistimos a filmes em que ocorrem batalhas espaciais, tipo *Star Wars*, notamos que em locais do espaço onde existe vácuo, uma espaçonave de combate atira contra outras, provocando grandes estrondos. A respeito, podemos dizer que:
a) esses estrondos realmente existem, pois o som se propaga no vácuo;
b) esses estrondos são muito mais intensos que os exibidos no cinema, porque surgem da emissão de ondas eletromagnéticas que se originam na desintegração das espaçonaves;

c) esses estrondos são mais fracos que os exibidos no cinema, pois no vácuo os sons se propagam com baixa velocidade;
d) esses estrondos não existem, pois o som não se propaga no vácuo.

73. O eco é um fenômeno que se baseia na:
a) refração do som;
b) reflexão do som;
c) difração do som;
d) interferência do som.

74. Ao mexermos no botão de "volume" do rádio, estamos:
a) variando a altura do som;
b) variando a intensidade do som;
c) variando a frequência do som;
d) variando a velocidade do som.

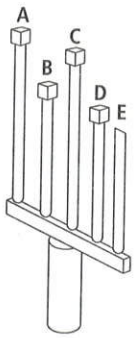
75. A velocidade do som no ar depende da:
a) sua frequência;
b) sua altura;
c) sua intensidade;
d) temperatura do ar.

76. O que diferencia os infrassons dos ultrassons é a:
a) frequência;
b) intensidade;
c) velocidade de propagação;
d) amplitude de vibração.

77. Um menino, enquanto observa um operário martelando sobre um trilho de aço, encosta seu ouvido no trilho e ouve o som de cada batida duas vezes. Uma conclusão correta para esta observação seria que:
a) seus ouvidos estão a distâncias diferentes da fonte;
b) parte da onda sofre reflexões múltiplas entre os trilhos de aço;
c) a velocidade do som é maior no aço que no ar;
d) ocorre interferência construtiva e destrutiva.

78. (PUC-SP) Para pesquisar a profundidade do oceano numa certa região, usa-se um sonar, instalado num barco em repouso. O intervalo de tempo decorrido entre a emissão do sinal (ultrassom de frequência 75 000 Hz) e a resposta ao barco (eco) é de 1s. Supondo a velocidade de propagação do som na água de 1 500 m/s, a profundidade do oceano na região considerada é de:
a) 25 m
b) 50 m
c) 100 m
d) 750 m
e) 1 500 m

79. (UTFPR) A figura ao lado representa um conjunto de 5 hastes vibrantes de mesmo material e espessura. Percutindo a haste A, a haste C – e somente ela – oscilará. Tal fato ocorre também com a haste D, se colocarmos em oscilação a haste B. Já a haste E não oscila se não for abalada diretamente. O fenômeno que explica o que foi descrito é conhecido por:



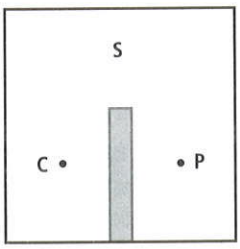
a) batimento;
b) interferência;
c) difração;
d) ressonância;
e) reverberação.

80. O som é uma onda:
a) transversal e eletromagnética;
b) longitudinal e eletromagnética;
c) longitudinal e mecânica;
d) mecânica e eletromagnética.

81. (UFMG) Todas as afirmativas a respeito de ondas estão corretas, exceto:
a) As ondas sonoras são ondas longitudinais que não se propagam no vácuo.
b) As partículas de um meio no qual se propagam ondas longitudinais vibram em uma direção paralela à direção de propagação da onda.
c) As partículas de um meio no qual se propagam ondas transversais vibram em uma direção normal à direção de propagação da onda.
d) A velocidade v de propagação de uma onda é dada por $v = \lambda f$, onde f é a frequência e λ, o comprimento de onda.
e) O comprimento de onda de uma onda sonora é a distância que vai da fonte que emite o som ao ouvido do observador.

82. (PUC-MG) Ondas longitudinais não exibem:
a) difração;
b) interferência;
c) polarização;
d) reflexão;
e) refração.

83. (UFMG) Observe a figura:



Essa figura representa o interior de uma sala, na qual se encontra uma pessoa P e uma campainha C separadas por uma parede de modo que P não pode ver C. Todas as superfícies internas da sala (teto, paredes, chão) são recobertas com material que absorve as ondas sonoras emitidas por C, mas, ainda assim, a pessoa consegue escutar o som proveniente da campainha.

Indique a alternativa que apresenta o fenômeno que permite a P escutar C.

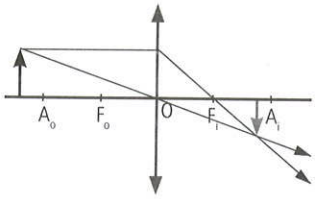
a) Difração.
b) Dispersão.
c) Interferência.
d) Reflexão.
e) Refração.

84. (FATEC-SP) Ondas sonoras são compressões e rarefações do meio material através do qual se propaga. Podemos dizer que:

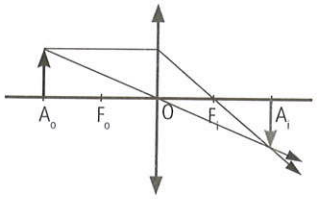
a) o som pode propagar-se através do vácuo;
b) o som não pode propagar-se através de um sólido;
c) o som somente se propaga através do ar;
d) as ondas sonoras transmitem-se mais rapidamente através de líquidos e sólidos do que através do ar;
e) para as ondas sonoras não se verificam os fenômenos de interferência nem de difração.

Respostas

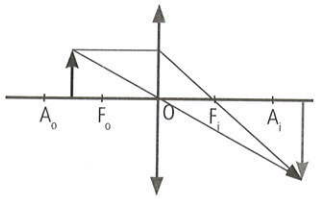
Exercício 01:



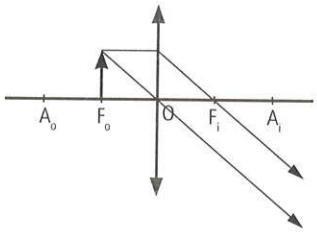
real invertida menor



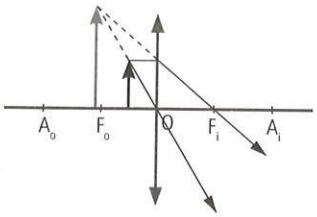
real invertida igual



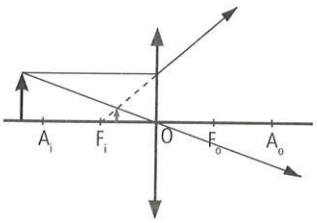
real invertida maior



imprópria



virtual direita maior



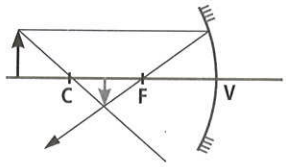
virtual direita menor

Gabarito

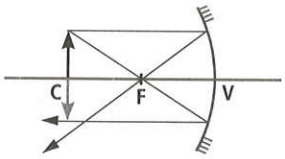
01) C	02) C	03) D	04) D	05) D	06) C
07) A	08) E	09) B	10) D	11)*	12) E
13) C	14) A	15) C	16) C	17) B	18) *
19) A	20) A	21) B	22) A	23) C	24) A
25) D	26) E	27) A	28) A	29) A	30) D
31) A	32) D	33) B	34) B	35) E	36) E
37) C	38) A	39) E	40) A	41) D	42) C
43) E	44) E	45) D	46) C	47) *	48) B
49) E	50) D	51)*	52) A	53) D	54) C
55) E	56) C	57) C	58) B	59) E	60) A
61) B	62) A	63) B	64) D	65) C	66) A
67) A	68) B	69) B	70) C	71) C	72) D
73) B	74) B	75) D	76) A	77) C	78) D
79) D	80) C	81) E	82) C	83) A	84) D

*11. a) A e B; b) D.

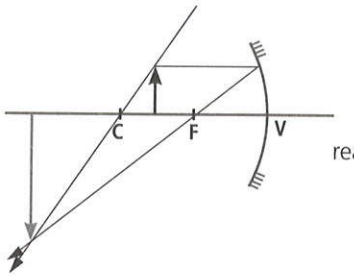
*18.



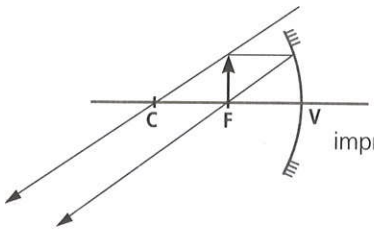
real invertida menor



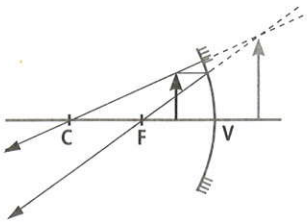
real invertida igual



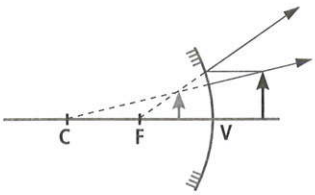
real invertida maior



imprópria



virtual direita maior



virtual direita menor

*47. a) 8 m; b) 2 m; c) 5 Hz; d) 0,2s
* 51. 0,5 Hz

Sumário

Física 6E

Eletricidade 3

Carga elétrica 3
- Divisão da eletricidade 3
- Carga elétrica 3
- Condutores e isolantes 4

Corrente elétrica 5

Diferença de potencial ou tensão 5
- Sentido da corrente elétrica 6
- Intensidade da corrente elétrica 6
- Tipos de corrente elétrica 7
- Efeitos da corrente elétrica 7

Resistores e resistência 10

1.ª Lei de Ohm 10

2.ª Lei de Ohm 11

Associação de resistores 12

Associação em série 13

Associação em paralelo 13
- Resistor em curto-circuito 13

Potência elétrica 17

Potência elétrica em resistor ôhmico 18
- Ligação de lâmpadas incandescentes 18
- Energia elétrica 18

Geradores elétricos 21

O que é um gerador? 21
- Força eletromotriz (F.E.M.) 21
- Resistência interna 21
- Equação do gerador 21
- Gráfico do gerador 21
- Receptor elétrico 22
- Equação do receptor 22

Eletrização e eletroscópio 24

Eletrostática 24
- Corpos eletrizados e neutros 24
- Lei de Du Fay 24
- Princípio da conservação da carga elétrica 24
- Processos de eletrização 24
- Eletroscópio 26

Lei de Coulomb 29
- Constante eletrostática 30

Campo elétrico 32
- Vetor campo elétrico 32
- Campo elétrico gerado por uma carga puntiforme 33
- Módulo do vetor campo elétrico 33
- Linha de campo ou linha de "força" 33
- Campo elétrico uniforme (C.E.U.) 33
- Movimento de cargas no C.E.U. 34

Trabalho e potencial 36
- Trabalho e potencial gravitacional 36
- Trabalho e potencial elétrico 36

Sumário

Diferença de potencial (d.d.p.) 36
Potencial gerado por uma carga puntiforme 37
Potencial gerado por várias cargas em um ponto 37

Superfícies equipotenciais 37
D.D.C. no C.E.U. 37

Capacidade e capacitores 39
Capacidade ou capacitância 39
Capacitores 40

Anotações

Física

6 E

Eletricidade

Relâmpago

Carga elétrica

A eletricidade existe desde o início do Universo. Quando não havia vida em nosso planeta, há mais de 4 bilhões de anos, fortes relâmpagos iluminavam os céus. À medida que a vida evoluiu, a eletricidade tornou-se essencial. Ela é a base do estímulo nervoso. Nossos movimentos e percepções dependem de sinais elétricos transmitidos pelas células nervosas. Nos últimos dois séculos, tivemos grandes avanços na eletricidade e suas aplicações, e hoje é difícil imaginar a sociedade sem ela.

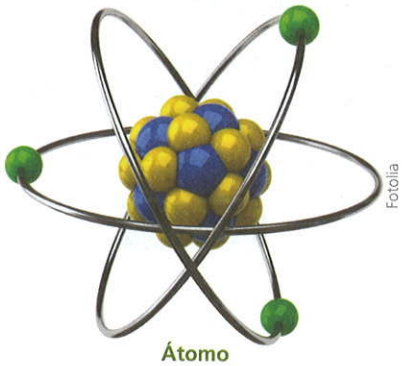
Divisão da eletricidade

Estudaremos os fenômenos elétricos e, por razões didáticas, dividiremos nosso estudo em duas partes:

- **Eletrodinâmica:** Estuda a corrente elétrica e seus efeitos.
- **Eletrostática:** Estuda as cargas elétricas em equilíbrio.

Átomo

Sabemos que a matéria é constituída por átomos, os quais são formados por um núcleo, onde existem os prótons e os nêutrons, e uma região em torno do núcleo na qual os elétrons se movimentam.



Átomo

Carga elétrica

A carga elétrica é uma grandeza física escalar indefinível, associada aos elétrons e prótons para possibilitar o estudo das interações elétricas.

A unidade utilizada para medir carga elétrica no SI (Sistema Internacional) é o **coulomb**, cujo símbolo é C, em homenagem a Charles Augustin Coulomb (1736-1806).

Carga do elétron → $-1{,}6 \times 10^{-19}$C

Carga do próton → $+1{,}6 \times 10^{-19}$C

Carga do nêutron → nula

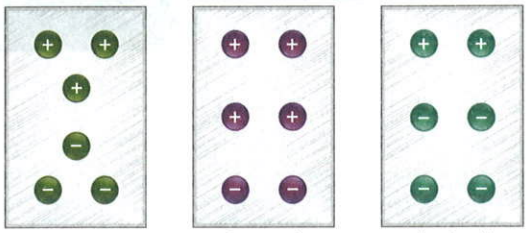
A carga do próton ou do elétron é chamada de **carga elétrica elementar** ou **fundamental** (representa-se por **e**), por ser a menor quantidade de carga possível de existir na natureza.

Portanto:

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

Corpos eletrizados e neutros

A princípio, em um átomo, o número de prótons é igual ao número de elétrons, ou seja, é chamado de átomo neutro. Se um átomo ganhar ou perder elétrons, ficará ionizado ou eletrizado. Podemos estender este conceito para corpos, tendo em vista que estes são basicamente compostos de átomos.



Corpo neutro — Eletrizado positivamente — Eletrizado negativamente

Princípio da quantização

Qualquer carga elétrica adquirida por um corpo é sempre múltiplo da carga elétrica elementar **e**.

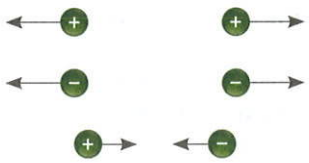
Este princípio pode ser expresso por:

$$q = e \cdot n$$

Em que:
q = carga adquirida pelo corpo (coulomb).
n = número de elétrons ganhos ou perdidos pelo corpo (valor inteiro e positivo).

Lei de Du Fay

Cargas elétricas de mesmo sinal se repelem e cargas de sinais contrários se atraem.



Condutores e isolantes

Condutores sólidos

Possuem considerável número de elétrons livres, ou seja, são os elétrons das órbitas mais externas que estão fracamente ligados aos respectivos átomos, adquirindo liberdade de se movimentar no interior do sólido. Os condutores mais comuns são os metais (prata, cobre, alumínio, etc.).

Condutores líquidos e gasosos

- Soluções aquosas de ácidos, bases e sais.
- Gases rarefeitos.

Exemplo:
Lâmpadas de neônio para anúncios luminosos.

Isolantes ou dielétricos

Ao contrário dos condutores, existem sólidos nos quais os elétrons estão firmemente ligados aos respectivos átomos, isto é, estas substâncias não possuem elétrons livres (ou o número de elétrons livres é relativamente pequeno).

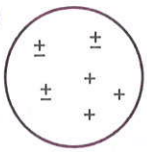
Exemplos:
Porcelana, borracha, vidro, plástico, papel, madeira, ar seco, etc.

Exercícios

01. Retiramos $6{,}25 \cdot 10^{18}$ elétrons de um corpo. Qual o módulo da carga adquirida expressa em coulomb?
(Dado: $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$C)

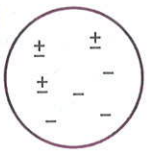
02. Complete o valor da carga de cada corpo:

a)



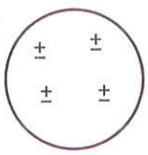
Carga q = _____

b)



Carga q = _____

c)



Carga q = _____

Testes

01. A qualidade que permite distinguir corpos condutores de isolantes é:
a) Apresentarem prótons móveis.
b) Possuírem elétrons.
c) Não possuírem elétrons.
d) Possuírem elétrons em mesma quantidade que prótons.
e) Apresentarem número considerável de elétrons livres.

02. A respeito dos conceitos básicos da eletricidade, são feitas as afirmações:
I. O isolante ou dielétrico possui poucos elétrons livres.
II. O condutor possui muitos elétrons livres.
III. Um exemplo de dielétrico é o cobre.
IV. Um exemplo de condutor é o vidro.
Podemos afirmar que:
a) Somente a I é correta.
b) Somente a II é correta.
c) Somente a III é correta.
d) Somente a IV é correta.
e) Somente a I e II são corretas.

03. Quantos elétrons são necessários retirar ou fornecer de uma moeda de cobre inicialmente neutra de modo que a carga total seja igual a $q = 3{,}2 \cdot 10^{-9}$C?
a) fornecer $2 \cdot 10^{10}$ elétrons.
b) retirar $5 \cdot 10^{-11}$ elétrons.
c) retirar $2 \cdot 10^{10}$ elétrons.
d) fornecer $5 \cdot 10^{-11}$ elétrons.
e) retirar $4 \cdot 10^{-20}$ elétrons.

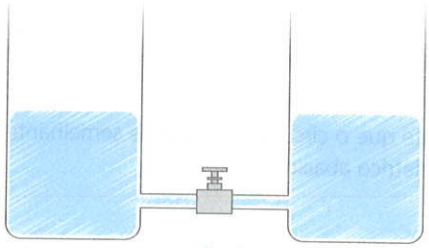
04. A respeito dos conceitos básicos da eletricidade, assinale a alternativa correta:
a) A carga do elétron vale $+1{,}6.10^{-19}$ C.
b) A carga do próton é negativa.
c) Corpos com cargas de mesmo sinal se atraem.
d) A unidade SI da carga elétrica é o coulomb (C).
e) Corpos com cargas de sinais opostos se repelem.

05. Por carga elétrica elementar, entende-se:
a) A carga equivalente a 1 C.
b) A carga do próton.
c) A carga equivalente a 1 joule.
d) A carga equivalente a 1 volt.
e) A carga equivalente a 1 ampère.

Corrente elétrica

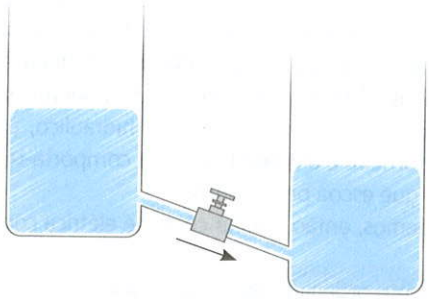
Diferença de potencial ou tensão

Observe a experiência abaixo, ela nos ajudará a entender essa nova grandeza física. Sejam dois reservatórios de água ligados por um tubo.



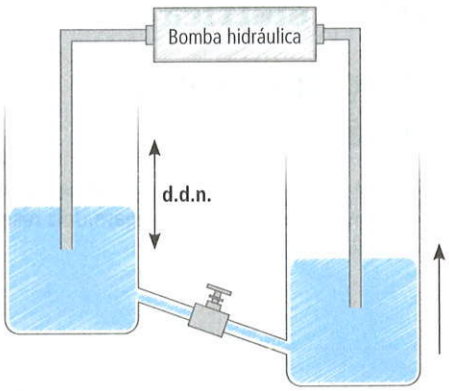
A água não passa de um reservatório para o outro mesmo que a torneira seja aberta, pois não há diferença de nível (d.d.n.).

Vamos agora estabelecer uma diferença de nível entre os reservatórios.

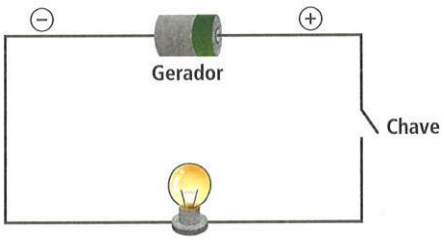


Se abrirmos a torneira notaremos que a água escoa do reservatório que está a um nível mais alto, devido a d.d.n. No presente caso, a corrente de água estabelecida de um reservatório para outro é temporária, pois só dura enquanto existir diferença de nível (d.d.n.) entre os reservatórios.

Para tornar a corrente permanente é necessário que haja uma bomba que eleve a água do reservatório do nível mais baixo para o outro, a fim de manter a diferença de nível. Temos assim o que poderíamos chamar de circuito hidráulico.



Note que o circuito hidráulico é semelhante ao circuito elétrico abaixo:



No circuito elétrico, quem faz o papel de "bomba" das cargas elétricas é o gerador, cuja função é gerar e manter a diferença de potencial (d.d.p.) ou tensão. Os principais exemplos são as pilhas e as baterias. Notamos também que os fios do circuito podem ser comparados com os canos do circuito hidráulico, a chave com a torneira e a corrente elétrica comporta-se como a água que escoa pelos canos.

Podemos, então, definir corrente elétrica como:

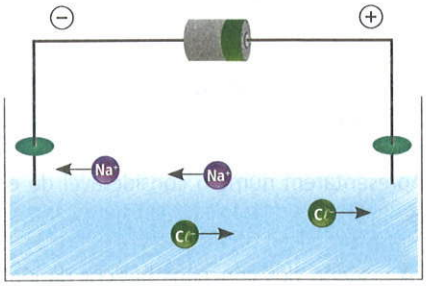
Movimento ordenado dos elétrons livres, devido a uma diferença de potencial entre dois pontos do condutor.

Tensão ou D.D.P. → causa
Corrente elétrica → efeito

Representaremos a tensão por U e sua unidade SI é o volt (V), em homenagem ao físico italiano Alessandro Volta (1745-1827), que construiu a primeira pilha elétrica.

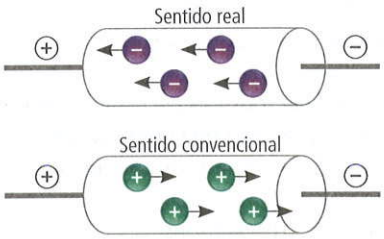
Sentido da corrente elétrica

Num condutor metálico, os elétrons livres se movimentam do polo negativo para o polo positivo. Nos condutores gasosos e soluções eletrolíticas, a corrente elétrica é constituída de íons positivos e negativos se movimentando nos dois sentidos.



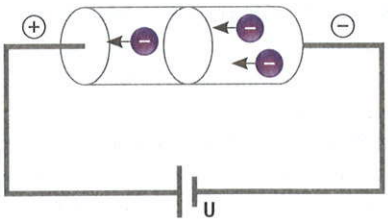
Para estabelecermos um padrão para o sentido da corrente elétrica adotaremos o sentido convencional, ou seja, sentido da corrente é o sentido de movimento das cargas positivas (teórico).

Nos metais, as cargas que se movimentam são os elétrons. Portanto, o sentido convencional da corrente elétrica é o sentido **oposto** ao do movimento dos elétrons.



Intensidade da corrente elétrica

Considere uma secção transversal de um fio condutor percorrido por uma corrente elétrica.



A grandeza física escalar **intensidade de corrente elétrica** será definida como a razão entre a carga que passa pela secção e o intervalo de tempo para atravessá-la.

$$i = \frac{q}{\Delta t} \quad \text{ou} \quad q = i \cdot \Delta t$$

Da expressão acima, podemos estabelecer a unidade da intensidade de corrente elétrica:

$$\text{unidade (i)} = \frac{\text{coulomb}}{\text{segundo}} = \textbf{ampère (A)}$$

Usamos bastante também:

$1mA = 10^{-3}$ A

$1\mu A = 10^{-6}$ A

O nome ampère é uma homenagem ao cientista francês André Marie Ampère (1775-1836).

Se combinarmos $q = i \cdot \Delta t$ com $q = e \cdot n$, teremos:

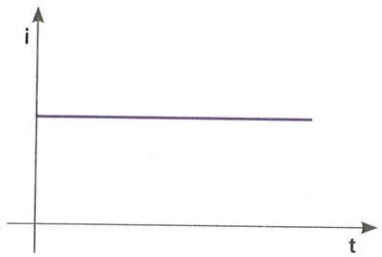
$$n \cdot e = i \cdot \Delta t$$

Tipos de corrente elétrica

Podemos classificar a corrente elétrica em função de sua intensidade e de seu sentido no decorrer do tempo. Podemos, então, ter dois tipos de corrente elétrica:

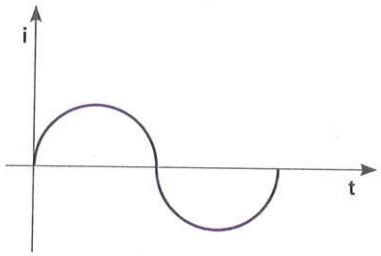
Corrente contínua

É aquela cuja intensidade e sentido permanecem constantes no decorrer do tempo. Este tipo de corrente é fornecido por pilhas comuns e baterias de automóvel. O gráfico i x t:



Corrente alternada

É aquela cuja intensidade varia de forma senoidal com o tempo e o sentido inverte periodicamente. Este tipo de corrente é usado nas residências. O gráfico i x t:

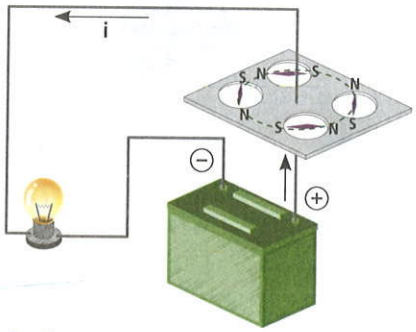


Efeitos da corrente elétrica

Ao passar por um condutor a corrente elétrica pode produzir diversos efeitos, que são:

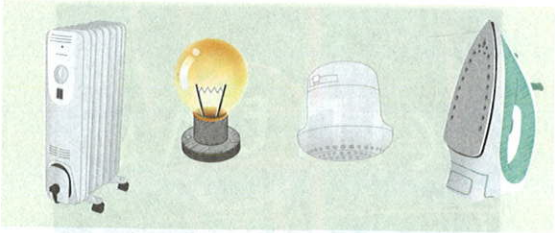
Efeito magnético

Quando a corrente elétrica percorre um condutor cria ao seu redor um campo magnético, que pode facilmente ser verificado usando-se uma bússola.



Efeito joule

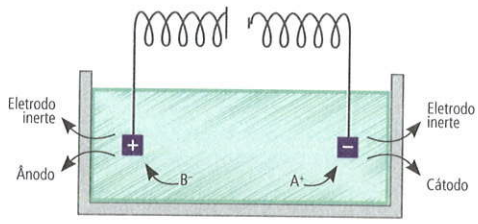
Consiste no aquecimento dos condutores devido à passagem da corrente elétrica. É a transformação da energia elétrica em térmica. Como exemplos de dispositivos que fazem esse processo podemos citar: aquecedor elétrico, chuveiro elétrico e ferro de passar.



Efeito químico

Quando a corrente percorre uma solução eletrolítica. É bastante usado em processos industriais, tais como: niquelação, cromação, prateação, etc.

Gerador de corrente contínua



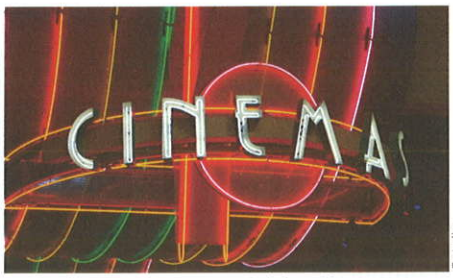
Cuba eletrolítica AB (eletrólito)

Efeito fisiológico

É a passagem da corrente elétrica em seres vivos, provocando contrações musculares, pois age diretamente no sistema nervoso. É o conhecido choque elétrico que, dependendo da intensidade (de 10 mA a 3 A) da corrente elétrica e da maneira como a pessoa sofre o choque, pode ser fatal.

Efeito luminoso

É a transformação da energia elétrica em energia luminosa. Como exemplo, podemos citar as lâmpadas fluorescentes e os anúncios luminosos que utilizam gases ionizados percorridos pela corrente elétrica.



Fotolia

Letreiro comercial de néon

Exercícios

03. Numa secção reta de um fio condutor passam $6{,}25 \cdot 10^{18}$ elétrons por segundo. Sendo $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C a carga de cada elétron, qual é a corrente que percorre o fio?

02. Em uma analogia entre o fluxo do tráfego de automóveis e a corrente elétrica, o que corresponderia à carga elétrica? O que corresponderia à corrente elétrica?

Testes

06. Uma corrente elétrica com intensidade igual a 5 ampères circula em um condutor durante 15 segundos. A carga elétrica transportada nesse intervalo de tempo é:

a) 10 C
b) 15 C
c) 25 C
d) 75 C
e) 85 C

07. Uma secção transversal de um condutor é atravessada por um fluxo contínuo de carga de 6 coulombs por minuto, o que equivale a uma corrente elétrica, em ampères, de:

a) 60,0
b) 0,1
c) 6,0
d) 0,6
e) 1,0

08. A corrente elétrica através de um fio metálico é constituída pelo movimento de:

a) cargas positivas no sentido convencional.
b) cargas positivas no sentido oposto ao convencional.
c) elétrons livres no sentido oposto ao convencional.
d) íons positivos e negativos.
e) íons positivos somente.

09. Vários processos físicos envolvem os efeitos da corrente elétrica. Associe as colunas, assinalando a alternativa que indica corretamente as associações entre elas:

• Dispositivo ou processo:
1. aquecedor elétrico.
2. revestir uma colher de prata.
3. lâmpada fluorescente de um escritório.
4. uma bússola muda sua orientação normal (norte

geográfico da Terra) frente a um fio percorrido por corrente elétrica.
5. um eletricista sofre um choque elétrico ao consertar um chuveiro elétrico.

• Efeito da corrente elétrica:
a. magnético
b. químico
c. joule
d. luminoso
e. fisiológico

a) 1-d, 2-e, 3-b, 4-a, 5-c
b) 1-c, 2-a, 3-b, 4-e, 5-d
c) 1-b, 2-e, 3-d, 4-a, 5-c
d) 1-d, 2-b, 3-c, 4-a, 5-e
e) 1-c, 2-b, 3-d, 4-a, 5-e

10. Efeito joule é:
a) produção de calor pela corrente elétrica.
b) produção de campo magnético pela corrente elétrica.
c) o "choque" provocado quando uma corrente passa por um músculo do homem.
d) a capacidade de se decompor a água utilizando-se uma corrente elétrica.
e) transformação da energia elétrica em química.

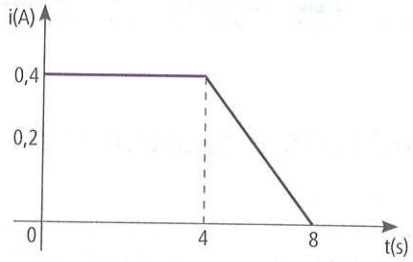
11. (PUC-SP) A corrente elétrica de um fio metálico é constituída por movimento de:
a) cargas positivas no sentido da corrente.
b) cargas positivas no sentido oposto ao da corrente.
c) elétrons livres no sentido oposto ao da corrente.
d) íons positivos e negativos.
e) n.d.a.

12. (Unitau) 5,0μC de carga atravessa a secção reta de um fio metálico, num intervalo de tempo igual a 2,0 milissegundos. A corrente elétrica que atravessa a secção é de:
a) 1,0 mA
b) 1,5 mA
c) 2,0 mA
d) 2,5 mA
e) 3,0 mA

13. (Moji) Uma corrente elétrica de intensidade 5A é mantida durante um minuto em um condutor metálico. A carga elétrica, em coulombs, que atravessa uma secção reta do condutor nesse tempo é igual a:
a) 600C
b) 300C
c) 150C
d) 60C
e) 12C

14. (Osec) Um condutor é percorrido por uma corrente elétrica de 4mA. O tempo necessário para que uma secção transversal deste condutor seja atravessada por uma carga elétrica de 12C, em segundos, é:
a) 3 000
b) 1 200
c) 400
d) 200
e) 120

15. O gráfico mostra, em função do tempo t, o valor da corrente elétrica i através de um condutor.



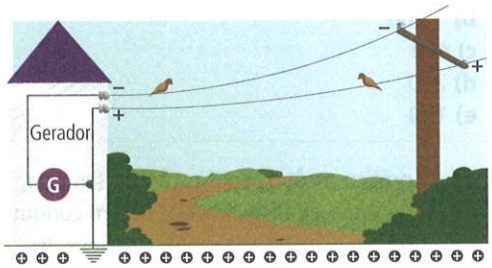
Determine:
a) a quantidade de carga elétrica que passou por uma secção transversal do fio condutor nos 8 primeiros segundos.

b) a intensidade da corrente média nos 8 primeiros segundos.

Importante saber

É a tensão ou a corrente que faz mal?

Muitas vezes você vê uma placa dizendo: "Perigo – alta voltagem"; mas alta voltagem, ou alto potencial, não lhe causará mal. Alta voltagem pode dar lugar a uma intensa corrente, e esta é que produz o dano. Um pombo, pousando num fio de alta voltagem, não é afetado por esta, porque uma corrente elétrica insignificante passa através do seu corpo. Se ele tocar dois fios ao mesmo tempo, será eletrocutado.



Disponível em: <http://www.mundofisico.joinville.udesc.br/index.php?idSecao=8&idSubSecao=&idTexto=38> Acesso em: 31 ago. 2010.

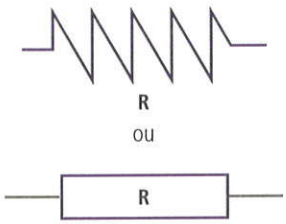
Resistores e resistência

Resistor ou receptor passivo é todo condutor que, ao ser percorrido por uma corrente elétrica, transforma energia elétrica em térmica (**efeito joule**), estando presente em chuveiros elétricos, torneiras elétricas, ferros elétricos, filamentos de tungstênio em lâmpadas elétricas incandescentes, etc.

Quando acontecer a passagem da corrente elétrica em um resistor ocorrerá o choque dos elétrons livres contra seus átomos. Neste choque, os elétrons transferem parte de sua energia aos átomos do condutor, ocasionando um aumento de temperatura.

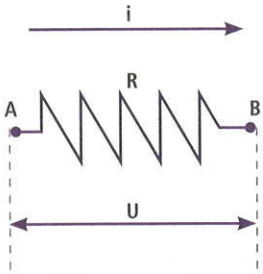
A essa "oposição" que os elétrons encontram denominamos **resistência elétrica**, que será representada pela letra **R**, e a sua unidade no SI será o **ohm**, cujo símbolo é a letra grega "**ômega**": Ω. O nome deve-se a uma homenagem ao cientista alemão George Simon Ohm (1787-1854).

- **Símbolo**



1.ª Lei de Ohm

Considere o resistor abaixo, mantido a uma temperatura constante, percorrido por uma corrente elétrica de intensidade **i**, quando entre seus terminais for aplicada a d.d.p. **U**.



Alterando-se a d.d.p. sucessivamente para U_1, U_2, ..., o resistor passa a ser percorrido por corrente de intensidade i_1, i_2, ...

Ohm verificou, experimentalmente, que mantida a temperatura constante, o quociente da d.d.p. aplicada pela respectiva intensidade de corrente era uma constante característica do resistor:

$$\frac{U}{i} = \frac{U_1}{i_1} = \frac{U_2}{i_2} = \text{constante} = R$$

Da relação acima podemos concluir que a intensidade de corrente elétrica é diretamente proporcional à d.d.p. e a constante R representa a resistência elétrica do condutor. Logo:

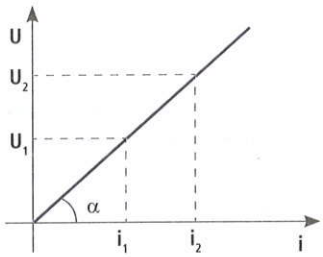
$$U = R \cdot i$$

Podemos então enunciar a Lei de Ohm:

Em um resistor mantido a temperatura constante, a d.d.p. aplicada aos seus terminais é diretamente proporcional à intensidade de corrente que o atravessa.

Os condutores que obedecem a Lei de Ohm são chamados de **ôhmicos** ou **lineares**.

Observe graficamente a relação entre U x i:



$$\text{tg}\ \alpha = R$$

2.ª Lei de Ohm

Além de verificar a relação entre tensão e intensidade da corrente em um condutor, Ohm verificou que a resistência elétrica de um condutor depende do tipo de material usado e das suas dimensões.

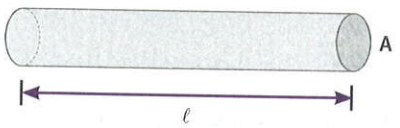
Experimentalmente verifica-se que a resistência elétrica de um condutor depende:

- Do comprimento (ℓ)
- Da área de secção transversal (A)
- Da natureza do condutor (ρ)

Quanto maior o comprimento do condutor maior a resistência.

Quanto maior a área de secção transversal, menor a resistência.

Condutores de mesmo comprimento e mesma área de secção podem apresentar resistências elétricas diferentes, se forem de materiais diferentes. Caracterizamos a influência do material pela grandeza **resistividade elétrica do material**. Essas relações de dependência podem ser expressas pela expressão:



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

A constante de proporcionalidade ρ (letra grega rô) denomina-se **resistividade do material**.

A resistividade depende de:

- Material;
- Temperatura.

Unidade da resistividade no SI $\rightarrow \Omega \cdot m$ (ohm . metro)

A tabela abaixo ilustra alguns valores de resistividade elétrica de alguns metais bons condutores a 20°C.

Material	r ($\Omega \cdot m$)
Prata	$1,5 \cdot 10^{-8}$
Ouro	$1,6 \cdot 10^{-8}$
Cobre	$1,7 \cdot 10^{-8}$
Alumínio	$2,6 \cdot 10^{-8}$
Tungstênio	$5,5 \cdot 10^{-8}$
Ferro	$10 \cdot 10^{-8}$
Chumbo	$22 \cdot 10^{-8}$
Mercúrio	$94 \cdot 10^{-8}$
Níquel-cromo	$100 \cdot 10^{-8}$

Um material é melhor condutor quanto menor sua resistividade.

Podemos então dizer que em geral um aumento de temperatura provoca um aumento da resistividade.

Alguns materiais, como o carbono, o silício e o germânio têm comportamento oposto, são os chamados **semicondutores**.

Exercícios

05. Um chuveiro elétrico é percorrido por uma corrente de 22 A, quando ligado em 110 V. Qual a sua resistência elétrica, em ohms?

06. Calcule a resistência elétrica de um fio de cobre, utilizado em instalações domiciliares, de 60 m de comprimento e $3,0 \cdot 10^{-6}$ m² de área da secção transversal. A resistividade do cobre vale $1,7 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m$.

Testes

16. Os choques elétricos produzidos no corpo humano podem provocar efeitos que vão desde uma simples dor ou contração muscular, até paralisia respiratória ou fibrilação ventricular. Tais efeitos dependem de fatores como a intensidade de corrente elétrica, duração e resistência da porção do corpo envolvida. Suponha, por exemplo, um choque produzido por uma corrente de apenas 4 mA e que a resistência da porção do corpo envolvida seja de 3 000 Ω. Então, podemos afirmar que o choque elétrico pode ter sido devido ao contato com:

a) uma pilha grande de 1,5 V.

b) os contatos de uma lanterna contendo uma pilha grande de 6 V.

c) os contatos de uma bateria de automóvel de 12 V.

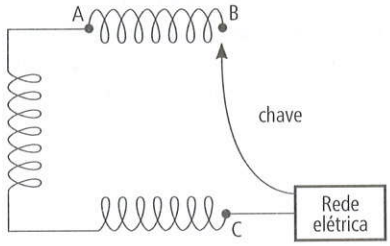
d) uma descarga elétrica produzida por um raio num dia de chuva.

e) os contatos de uma tomada de rede elétrica de 120 V.

17. Uma lâmpada incandescente com filamento de tungstênio funciona em geral sob tensão de 120 V. Sua resistência elétrica suposta constante vale 240 Ω. O valor da intensidade de corrente elétrica que a atravessa vale:

a) 0,1
b) 0,2
c) 0,3
d) 0,4
e) 0,5

18. Em um chuveiro elétrico, a passagem da corrente elétrica pelo resistor provoca o efeito térmico ou efeito joule que aquece a água. Na figura, temos o esquema da parte interna de um chuveiro. Destacando-se o resistor, a chave e os pontos onde ela se conecta para regular a temperatura desejada da água, ou seja, inverno (água quente) e verão (água morna).



Das afirmações abaixo, assinale a correta:

a) No verão, a chave se conecta em B, pois o comprimento do resistor é maior, a resistência é maior e a água aquece menos.
b) No verão, a chave se conecta em A, pois o comprimento do resistor é menor, a resistência é menor e a água aquece menos.
c) No inverno, a chave se conecta em B, pois o comprimento do resistor é maior, a resistência é maior e a água aquece mais.
d) No inverno, a chave se conecta em A, pois o comprimento do resistor é menor, a resistência é maior e a água aquece mais.
e) No inverno, a chave se conecta em A, pois o comprimento do resistor é maior, a resistência é menor e a água aquece menos.

19. Os passarinhos mesmo pousando sobre fios condutores desencapados de alta tensão, não estão sujeitos a choques elétricos que possam causar-lhes algum dano. Qual das alternativas indica uma explicação correta para o fato?

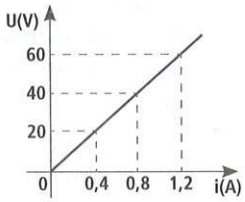
a) A diferença de potencial elétrico entre os dois pontos de apoio do pássaro no fio (pontos A e B) é quase nula.
b) A diferença de potencial elétrico entre os dois pontos de apoio do pássaro no fio (pontos A e B) é muito elevada.
c) A resistência elétrica do corpo do pássaro é praticamente nula.
d) O corpo do passarinho é um bom condutor de corrente elétrica.
e) A corrente elétrica que circula nos fios de alta tenção é muito baixa.

20. (PUC-RS) Um resistor ôhmico tem resistência elétrica igual a 10 Ω. Quando atravessado por uma corrente elétrica de 10A, a diferença de potencial elétrico entre seus extremos vale:

a) 0,1 V
b) 1,0 V
c) 10 V
d) 100 V
e) 1 000 V

21. A figura representa a curva característica de um resistor ôhmico. Quando submetido a uma diferença de potencial de 75 V, ele é percorrido por uma corrente elétrica, m ampères, de:

a) 1,3
b) 1,5
c) 2,0
d) 2,5
e) 3,0



Associação de resistores

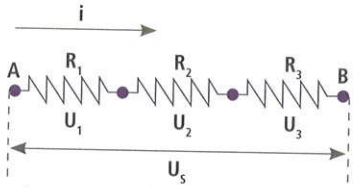
Muitas vezes necessitamos de um resistor específico, cujo valor da resistência não é encontrado comercialmente ou não dispomos no momento. Entretanto, podemos obter esse valor, associando convenientemente alguns resistores de forma que esta associação forneça a resistência desejada.

Podemos então associar os resistores da seguinte forma: **série**, **paralelo** e **mista**.

Qualquer que seja a associação, podemos substituí-la por um único resistor chamado de **resistor equivalente**, que submetido à mesma d.d.p. da associação, seja percorrido pela corrente total da associação.

Associação em série

Seja um conjunto de resistores ligados, um em seguida do outro, de tal forma que sejam percorridos pela mesma corrente.



De acordo com o princípio da conservação da carga elétrica, podemos afirmar que a carga elétrica que atravessa o condutor por unidade de tempo é a mesma para todos os resistores, consequentemente a intensidade de corrente elétrica é constante para todos os resistores, que é a corrente total. Logo:

$$i_s = i_1 = i_2 = i_3$$

A d.d.p. total da associação é igual à soma das d.d.p.s em cada resistor:

$$U_s = U_1 + U_2 + U_3$$

Aplicando U = R . i na expressão anterior teremos o valor da resistência do resistor equivalente em série:

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3$$

Importante saber

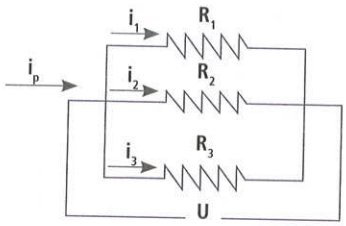
- A d.d.p. ou tensão é maior no resistor de maior resistência.

$U\uparrow = R\uparrow . i$ **constante**

- A resistência equivalente é maior do que a resistência de qualquer resistor da associação.
- O funcionamento de um dos elementos **depende** do funcionamento dos demais.

Associação em paralelo

Seja um conjunto de resistores ligados, de tal forma que todos ficam submetidos à mesma diferença de potencial.



Nesse caso, podemos então escrever:

$$U_p = U_1 = U_2 = U_3$$

Em relação à intensidade de corrente pode-se demonstrar que a intensidade de corrente total da associação é a soma das correntes em cada resistor da associação.

$$i_p = i_1 + i_2 + i_3$$

Aplicando U = R . i na expressão anterior teremos o valor da resistência do resistor equivalente em paralelo:

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

Importante saber

- Passa uma corrente maior pelo resistor de menor resistência.

$i\uparrow = \frac{U}{R\downarrow}$ **constante**

- A resistência equivalente é menor do que a resistência de qualquer resistor da associação.
- O funcionamento de um dos elementos independe do funcionamento dos demais.

Casos particulares

a) Quando for **n** resistores iguais, de resistência **R** cada, associados em paralelo, a resistência equivalente será:

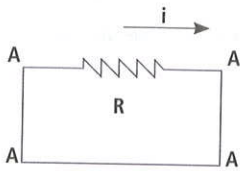
$$R_p = \frac{R}{n}$$

b) Quando tivermos **apenas dois** resistores, de resistências R_1 e R_2, associados em paralelo, a resistência equivalente será:

$$R_p = \frac{R_1 . R_2}{R_1 + R_2}$$

Resistor em curto-circuito

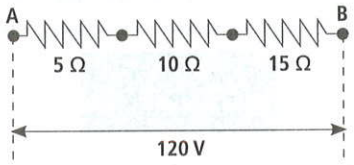
Um resistor está em curto-circuito quando o mesmo está ligado a um condutor de resistência desprezível.



Notamos que o ponto A pode ser deslocado por meio do fio ideal (possui resistência nula). Toda a corrente elétrica passará por este fio e o resistor **R** não desempenhará nenhuma função.

Exercícios

07. Uma associação em série é formada por três resistores cujas resistências valem, respectivamente, 5 Ω, 10 Ω e 15 Ω. Aplica-se na associação uma d.d.p. de 120 V. Responda aos itens abaixo:

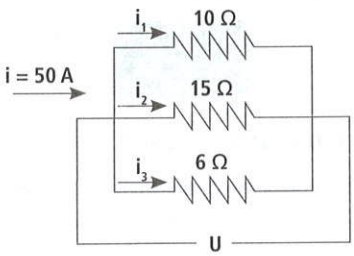


a) Determine o valor da resistência equivalente;

b) Determine a intensidade de corrente que percorre os resistores;

c) Calcule a d.d.p. em cada resistor.

08. Para o circuito esquematizado abaixo, calcule:



a) A resistência equivalente da associação;

b) A d.d.p. da associação;

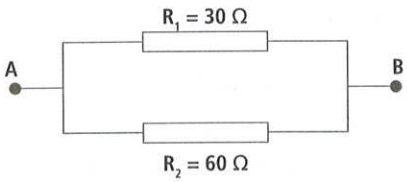
c) A intensidade de corrente elétrica em cada resistor.

Testes

22. Ache a resistência equivalente entre os pontos A e B.

a) 10 Ω
b) 20 Ω
c) 30 Ω
d) 40 Ω
e) 50 Ω

23. Ache a resistência equivalente entre os pontos A e B.



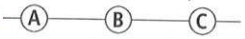
a) 10 Ω
b) 20 Ω
c) 30 Ω
d) 40 Ω
e) 50 Ω

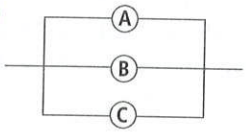
24. Um conjunto de lâmpadas associadas em série está ligado numa fonte elétrica. Se uma lâmpada queimar, é correto afirmar que:
a) as demais continuam acesas.
b) as demais apagam e não queimam.
c) todas queimam.
d) se for a primeira, as demais continuam acesas.
e) se for a última, as demais continuam acesas.

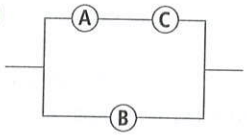
25. Um conjunto de lâmpadas associadas em paralelo está ligado numa rede de energia elétrica. Se uma lâmpada queimar, é correto afirmar que:

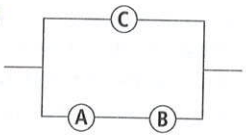
a) as demais continuam acesas.
b) as demais apagam e não queimam.
c) todas queimam.
d) com a queima de uma lâmpada, aumenta a intensidade de corrente elétrica nas demais até queimá-las.
e) a única maneira de não queimar as demais lâmpadas é trocando rapidamente a lâmpada queimada.

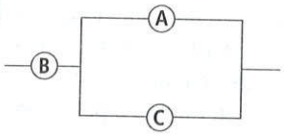
26. Três lâmpadas, A, B e C, estão submetidas a uma certa tensão constante. Ao se queimar a lâmpada A, as lâmpadas B e C permanecem acesas com o mesmo brilho de antes. A alternativa que indica o circuito em que isso poderia acontecer é:

a)


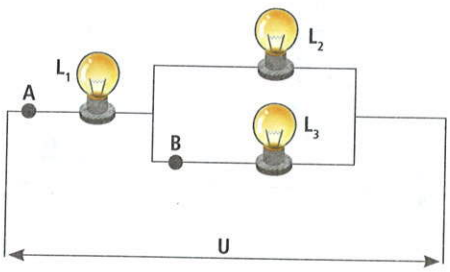
b)


c)


d)


e)


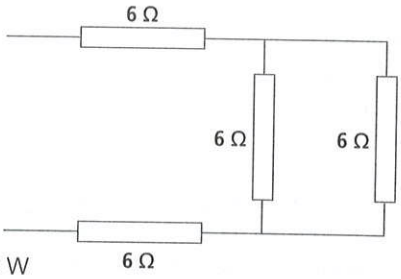
27. Supondo idênticas as três lâmpadas da associação, julgue as proposições:



I. Abrindo o circuito no ponto B, somente a lâmpada L_3 apaga.
II. Abrindo o circuito no ponto A, todas as lâmpadas apagam.
III. Abrindo o circuito no ponto B, L_1 e L_2 são percorridas pela mesma corrente elétrica.
IV. A intensidade de corrente elétrica nas três lâmpadas é igual.
V. L_1 e L_3 possuem a mesma tensão.

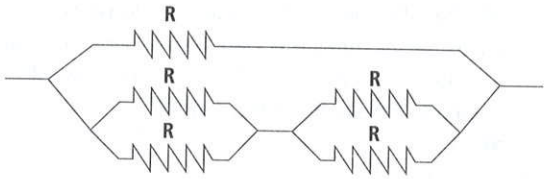
a) Somente a afirmação I é correta.
b) Somente a afirmação II é correta.
c) Somente a afirmação III é correta.
d) São corretas apenas I, II e III.
e) Nenhuma afirmação é correta.

28. (Unitau) Na associação de resistores indicada na figura, o resistor equivalente tem resistência:



a) 5 W
b) 10 W
c) 15 W
d) 20 W
e) 3 W

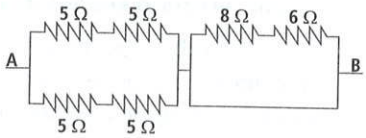
29. A resistência do resistor equivalente da associação do esquema vale:



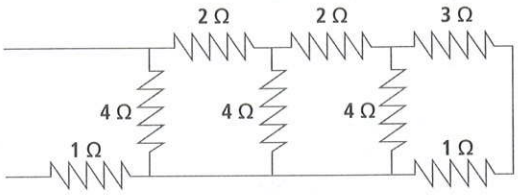
a) 2R
b) R
c) R/2
d) R/3
e) R/4

30. (UFMG) A resistência equivalente entre A e B mede, em ohms:

a) 5
b) 12
c) 19
d) 34
e) 415



31. Neste circuito, a resistência equivalente entre os pontos A e B vale, em ohms:



a) 2
b) 4
c) 5
d) 3
e) 1

32. Uma associação em série de dois resistores ($R_1 = 2\ \Omega$ e $R_2 = 4\ \Omega$) está submetida a uma d.d.p. de 24V. A intensidade da corrente em cada resistor vale, respectivamente:

a) 12 A e 6 A
b) 10 A e 8 A
c) 4 A e 4 A
d) 8 A e 10 A
e) 6 A e 12 A

33. (UFRGS) Dispõe-se de três resistores, um de 10 Ω, um de 20 Ω e um de 30 Ω. Ligando-se esses resistores em paralelo e aplicando-se uma diferença de potencial de 12 V aos extremos dessa associação, qual a corrente elétrica total que percorre o circuito?

a) 0,2 A
b) 0,4 A
c) 2,2 A
d) 2,5 A
e) 5,0 A

34. Admita que um fio metálico que possui resistência de 20 ohms é cortado em 4 pedaços iguais e, então, esses pedaços são ligados em paralelo. A nova resistência, em ohms, será de:

a) 1,25
b) 2,50
c) 5,00
d) 10,0
e) a resistência não se altera.

Leitura Complementar

Curto-circuito em fios da rede elétrica

Quando dois fios da rede elétrica de uma casa entram em contato elétrico, dizemos que ocorreu curto-circuito, e uma nova corrente elétrica será estabelecida. Como a resistência nos fios torna-se praticamente nula, a intensidade da corrente torna-se muito elevada. Em virtude do efeito joule, a temperatura nos fios se eleva e isto pode vir a provocar até mesmo incêndios caso não haja uma proteção adequada (fusível ou disjuntor).

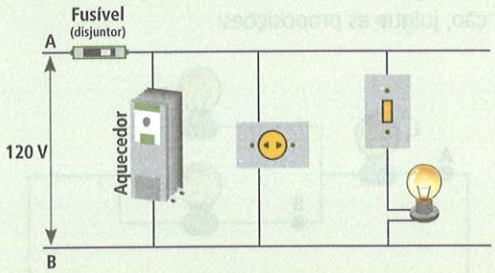
Aplicações práticas de associação de resistores

- Da ligação em série: em geral nas lâmpadas de árvores de Natal.
- Da ligação em paralelo: rede elétrica domiciliar.

Ligação de aparelhos elétricos em residências

Como vimos, nas residências os aparelhos estão associados em paralelo: dois fios A e B, entre os quais é mantida uma d.d.p. constante (120 V, em algumas cidades, ou 220 V, em outras), são instalados ao longo de toda a casa. Observe que:

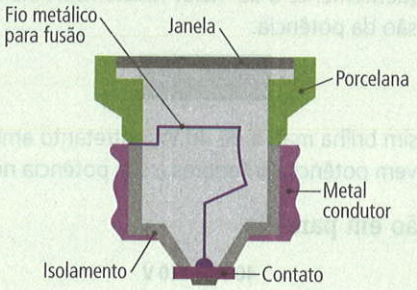
- todos os aparelhos estão submetidos a mesma d.d.p.;
- desligando-se o interruptor da lâmpada, por exemplo, apenas ela se apaga, sem afetar o funcionamento dos demais elementos;
- quanto maior for o número de aparelhos ligados, **menor** será a resistência total do circuito da casa. Consequentemente, **maior** será a corrente total que entra na residência, passando pelo fusível, cuja função é proteger a instalação contra um aquecimento dos fios. Se a corrente elétrica ultrapassar um certo valor de segurança: 30 A ou 40 A, etc., o fusível interrompe a passagem da corrente.



O fusível é representado no circuito por meio do símbolo:

Fusíveis e disjuntores

Os fusíveis e disjuntores são dispositivos que protegem os circuitos elétricos contra danos causados por sobrecargas de corrente, que podem provocar até incêndios e explosões.



O funcionamento do fusível baseia-se no princípio segundo o qual uma corrente que passa por um condutor gera calor proporcional ao quadrado de sua intensidade. Quando a corrente atinge a intensidade máxima tolerável, o calor gerado não se dissipa com rapidez suficiente, derretendo um componente e interrompendo o circuito.

O tipo mais simples é composto basicamente de um recipiente tipo soquete, em geral de porcelana, cujos terminais são ligados por um fio curto, que se derrete quando a corrente que passa por ele atinge determinada intensidade. O chumbo e o estanho são dois metais utilizados para esse fim. O chumbo se funde a 327°C e o estanho a 232°C. Se a corrente for maior do que aquela que vem especificada no fusível: 10 A, 20 A, 30 A, etc., o seu filamento se funde (derrete).

Quanto maior a corrente especificada pelo fabricante, maior a espessura do filamento. Assim, se a espessura do filamento do fusível suporta no máximo uma corrente de 10 A e por um motivo qualquer a corrente exceder esse valor, a temperatura atingida pelo filamento será suficiente para derretê-lo, e desta forma a corrente será interrompida.

Os fusíveis se encontram normalmente em dois lugares nas instalações elétricas de uma residência: no quadro de distribuição e junto do relógio medidor. Além disso, eles estão presentes no circuito elétrico dos aparelhos eletrônicos, no circuito elétrico do carro, etc.

Fotolia

Disjuntor

Fusíveis

O fusível de cartucho, manufaturado e lacrado em fábrica, consiste de um corpo oco não condutivo, de vidro ou plástico, cujo elemento condutor está ligado interiormente a duas cápsulas de metal, os terminais, localizados nas extremidades.

Disjuntores

Modernamente, nos circuitos elétricos de residências, edifícios e indústrias, em vez de fusíveis, utilizam-se dispositivos baseados no efeito magnético da corrente denominados disjuntores. Em essência, o disjuntor é uma chave magnética que se desliga automaticamente quando a intensidade da corrente supera certo valor. Tem sobre o fusível a vantagem de não precisar ser trocado. Uma vez resolvido o problema que provocou o desligamento, basta religá-lo para que a circulação da corrente se restabeleça.

Disponível em: <http://www.mundofisico.joinville.udesc.br/index.php?idSecao=8&idSubSecao=&idTexto=178> Adaptado. Acesso em: 31 ago. 2010.

Potência elétrica

Seja um resistor de resistência **R** submetido a uma d.d.p. **U** e percorrido por uma corrente elétrica de in-

tensidade **i**. Seja **q** a carga elétrica que percorre esse resistor num intervalo de tempo **Δt**. Assim, as cargas são movidas por uma força elétrica, a qual realiza um trabalho dado pela expressão: $\tau = \mathbf{q \cdot U}$, entretanto, na mecânica, potência é a rapidez com que se realiza um trabalho. Logo, podemos escrever:

$$P = \frac{\tau}{\Delta t} \rightarrow P = \frac{q \cdot U}{\Delta t}$$

$$P = i \cdot U$$

A unidade SI da potência é o watt (W), em homenagem ao inventor da máquina a vapor James Watt (1736-1819).

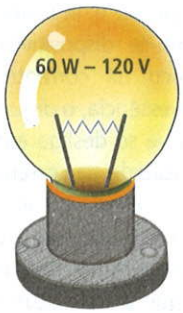
Potência elétrica em resistor ôhmico

Já vimos anteriormente que U = R . i, substituindo, convenientemente, na expressão da potência P = i . U, teremos:

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

Ligação de lâmpadas incandescentes

Em uma lâmpada comum encontramos as seguintes especificações do fabricante:

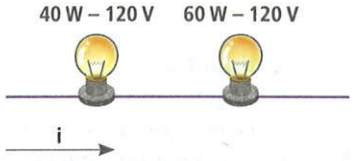


A especificação 120 V indica que a lâmpada deve ser ligada a uma d.d.p. de 120 V. Nestas condições, ela dissipará uma potência de 60 W, que podemos chamar de **potência nominal**.

Se a lâmpada for ligada a uma tensão acima da especificada, por exemplo 220 V, ela dissipará uma potência maior que 60 W e "queimará" após curto intervalo de tempo.

Entretanto, se for ligada a uma tensão inferior a 120 V, ela terá um brilho inferior ao normal, pois estará dissipando uma potência menor do que 60 W.

Ligação em série

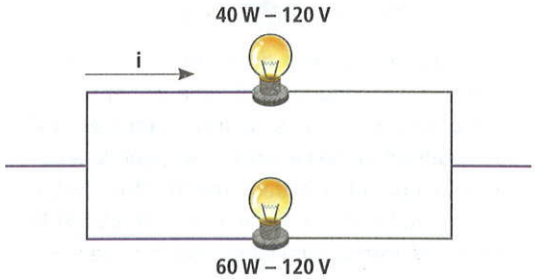


Brilha mais a lâmpada de menor potência nominal, consequentemente a de maior resistência. Analise pela expressão da potência.

$$P\uparrow = R\uparrow \cdot i^2$$

Assim brilha mais a de 40 W, entretanto ambas desenvolvem potências inferiores à sua potência nominal.

Ligação em paralelo



Brilha mais a lâmpada de maior potência nominal, consequentemente a de menor resistência. Analise pela expressão da potência.

$P\uparrow = R\uparrow \cdot i^2$ **constante**

Em paralelo as lâmpadas dissipam sua potência nominal, portanto brilha mais a de 60 W.

Exemplo:

Ligações residenciais.

Energia elétrica

A energia elétrica consumida por um aparelho num intervalo de tempo Δt é dada por:

$$E_N = P \cdot \Delta t$$

Unidades

Sabemos que a unidade da energia no SI é o joule (J), entretanto podemos usar uma unidade prática, o

kWh, que é a energia liberada pela potência de 1 kW num intervalo de tempo de 1h.

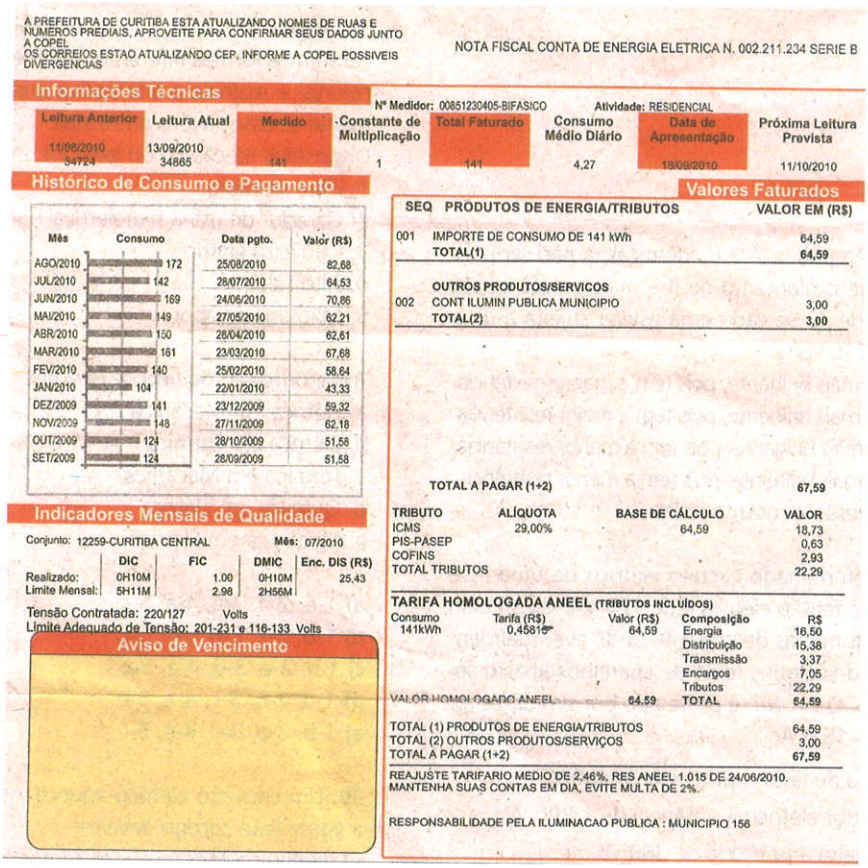
Esta unidade é usada na cobrança da energia elétrica consumida nas residências pelas companhias fornecedoras de energia elétrica. No caso do Paraná é a COPEL (Companhia Paranaense de Energia), em São Paulo é a CESP (Companhia Energética de São Paulo), em Minas Gerais a CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais), cada estado brasileiro tem uma fornecedora.

Ou seja:

$1\ kWh = 10^3 \,.\, W \,.\, 3\,600s = 3{,}6 \,.\, 10^6\ J$

$$1\ kWh = 3{,}6 \,.\, 10^6\ J$$

A unidade kWh é utilizada para cobrar o uso da energia elétrica, como mostra a ilustração de parte de uma fatura em uma residência.



A PREFEITURA DE CURITIBA ESTA ATUALIZANDO NOMES DE RUAS E NUMEROS PREDIAIS, APROVEITE PARA CONFIRMAR SEUS DADOS JUNTO A COPEL
OS CORREIOS ESTAO ATUALIZANDO CEP, INFORME A COPEL POSSIVEIS DIVERGENCIAS

NOTA FISCAL CONTA DE ENERGIA ELETRICA N. 002.211.234 SERIE B

Informações Técnicas

Nº Medidor: 00851230405-BIFASICO Atividade: RESIDENCIAL

Leitura Anterior	Leitura Atual	Medido	Constante de Multiplicação	Total Faturado	Consumo Médio Diário	Data de Apresentação	Próxima Leitura Prevista
11/08/2010 34724	13/09/2010 34865	141	1	141	4,27	18/09/2010	11/10/2010

Histórico de Consumo e Pagamento

Mês	Consumo	Data pgto.	Valor (R$)
AGO/2010	172	25/08/2010	82,68
JUL/2010	142	28/07/2010	64,53
JUN/2010	169	24/06/2010	70,86
MAI/2010	149	27/05/2010	62,21
ABR/2010	150	26/04/2010	62,61
MAR/2010	161	23/03/2010	67,68
FEV/2010	140	25/02/2010	58,64
JAN/2010	104	22/01/2010	43,33
DEZ/2009	141	23/12/2009	59,32
NOV/2009	148	27/11/2009	62,18
OUT/2009	124	28/10/2009	51,58
SET/2009	124	28/09/2009	51,58

Indicadores Mensais de Qualidade

Conjunto: 12259-CURITIBA CENTRAL Mês: 07/2010

	DIC	FIC	DMIC	Enc. DIS (R$)
Realizado:	0H10M	1.00	0H10M	25,43
Limite Mensal:	5H11M	2.98	2H56M	

Tensão Contratada: 220/127 Volts
Limite Adequado de Tensão: 201-231 e 116-133 Volts

Aviso de Vencimento

Valores Faturados

SEQ	PRODUTOS DE ENERGIA/TRIBUTOS	VALOR EM (R$)
001	IMPORTE DE CONSUMO DE 141 kWh	64,59
	TOTAL(1)	64,59
	OUTROS PRODUTOS/SERVICOS	
002	CONT ILUMIN PUBLICA MUNICIPIO	3,00
	TOTAL(2)	3,00
	TOTAL A PAGAR (1+2)	67,59

TRIBUTO	ALÍQUOTA	BASE DE CÁLCULO	VALOR
ICMS	29,00%	64,59	18,73
PIS-PASEP			0,63
COFINS			2,93
TOTAL TRIBUTOS			22,29

TARIFA HOMOLOGADA ANEEL (TRIBUTOS INCLUÍDOS)

Consumo	Tarifa (R$)	Valor (R$)	Composição	R$
141kWh	0,45815	64,59	Energia	16,50
			Distribuição	15,38
			Transmissão	3,37
			Encargos	7,05
			Tributos	22,29
VALOR HOMOLOGADO ANEEL		64,59	TOTAL	64,59

TOTAL (1) PRODUTOS DE ENERGIA/TRIBUTOS 64,59
TOTAL (2) OUTROS PRODUTOS/SERVIÇOS 3,00
TOTAL A PAGAR (1+2) 67,59

REAJUSTE TARIFARIO MEDIO DE 2,46%, RES ANEEL 1.015 DE 24/06/2010.
MANTENHA SUAS CONTAS EM DIA, EVITE MULTA DE 2%.

RESPONSABILIDADE PELA ILUMINACAO PUBLICA : MUNICIPIO 156

Exercícios

09. Um ventilador dissipa uma potência de 30 W, quando ligado a uma rede elétrica que fornece uma tensão eficaz de 120 V. Calcule em mA a corrente que atravessa o ventilador.

10. Em uma casa na qual a tensão é 110 V, está instalado um fusível de 30 A. Nessa casa são utilizados, eventualmente, diversos aparelhos eletrodomésticos, em cada um dos quais se encontra especificada a potência, como segue:

- um televisor – 120 W
- um liquidificador – 240 W
- um aparelho de ar condicionado – 2 000 W
- um forno de micro-ondas – 1 500 W
- várias lâmpadas de 100 W (cada)

a) Se ligarmos o forno de micro-ondas e o ar condicionado, o fusível "queimará"? Explique.

b) Quantas lâmpadas pode-se ligar sem "queimar" o fusível, supondo que apenas as lâmpadas serão ligadas?

Testes

35. Duas lâmpadas, A e B, idênticas, a não ser pelo fato de que o filamento de B é mais grosso que o filamento de A. Se cada uma estiver sujeita a uma d.d.p. de 110 volts:

a) A será a mais brilhante, pois tem a maior resistência.
b) B será a mais brilhante, pois tem a maior resistência.
c) A será a mais brilhante, pois tem a menor resistência.
d) B será a mais brilhante, pois tem a menor resistência.
e) ambas terão o mesmo brilho.

36. Um determinado circuito elétrico de uma residência, cuja tensão elétrica é de 120 V, é constituído por cinco tomadas de corrente onde eventualmente são ligados alguns tipos de aparelhos abaixo selecionados. O circuito é protegido por um disjuntor (fusível) de 15,0 A.

1. Máquina de lavar – potência de 480 W
2. Aquecedor elétrico – potência de 1 200 W
3. Enceradeira – potência de 360 W
4. Aspirador de pó – potência de 720 W
5. Televisão – potência de 240 W

O circuito será interrompido pelo disjuntor (fusível) ao se ligarem simultaneamente:

a) Máquina de lavar roupa e aquecedor.
b) Máquina de lavar roupa, enceradeira e televisão.
c) Enceradeira, aspirador de pó e televisão.
d) Aquecedor e aspirador de pó.
e) Em nenhum dos casos apresentados o circuito será interrompido.

37. Um chuveiro foi fabricado para funcionar em Santa Catarina, a uma diferença de potencial de 220 V e com potência de 6 000 W. Se o mesmo chuveiro for, por engano, ligado a uma diferença de potencial de 110 V:

a) a potência passará a ser de 1 500 W.
b) a potência passará a ser de 12 000 W.
c) o chuveiro queimará imediatamente.
d) a potência passará a ser de 3 000 W.
e) a potência continuará a mesma, pois sua resistência não se altera.

38. Vários processos físicos envolvem transformações entre formas diferentes de energia. Associe as colunas e assinale a alternativa que indica corretamente as associações entre elas:

Dispositivo mecânico ou gerador:
1. Pilha de rádio
2. Gerador de usina hidrelétrica
3. Chuveiro elétrico
4. Alto-falante
5. Máquina a vapor

Transformação de tipo de energia:
a. Elétrica em Mecânica
b. Elétrica em Térmica
c. Térmica em Mecânica
d. Química em Elétrica
e. Mecânica em Elétrica

a) 1-d, 2-e, 3-b, 4-a, 5-c
b) 1-d, 2-a, 3-b, 4-e, 5-c
c) 1-b, 2-e, 3-d, 4-a, 5-c
d) 1-d, 2-b, 3-c, 4-a, 5-e
e) 1-b, 2-a, 3-d, 4-e, 5-c

39. Um chuveiro elétrico aquece insuficientemente a água. Para corrigir deve-se:

a) diminuir a tensão nos extremos do fio.
b) diminuir o comprimento do fio que serve de resistência.
c) aumentar o comprimento do fio que serve de resistência.
d) diminuir a área de secção do fio que serve de resistência.
e) aumentar o fluxo da água.

40. Fazendo parte da instalação elétrica de uma residência, existe um circuito onde devem ser ligados: um forno de 1 000 W de potência, uma lavadora

de 500 W e duas lâmpadas de 100 W cada uma. Como a tensão elétrica da rede é igual a 120 V, o disjuntor mais adequado para ser instalado no circuito deve suportar, no máximo, uma corrente, em ampère, de:

a) 10
b) 15
c) 20
d) 25
e) 30

41. (PUC-SP) Numa casa residem 3 pessoas que tomam banho diário num chuveiro de 2 500 W. Cada banho dura 10 minutos. Sabendo-se que o kWh custa R$ 0,26, qual a importância gasta por mês (30 dias)?

a) R$ 9,75
b) R$ 3,85
c) R$ 4,00
d) R$ 6,00
e) R$ 0,32

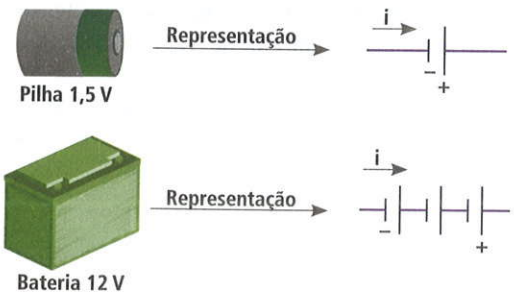
42. (Osec) Um chuveiro elétrico, quando sob d.d.p. de 220 V, é atravessado por uma corrente elétrica de intensidade de 10 A. Qual é a energia elétrica consumida, em kWh, em 15 minutos de funcionamento?

a) 33
b) 3,3
c) 1,21
d) 5,5
e) 0,55

Geradores elétricos

O que é um gerador?

É um dispositivo que transforma energia não elétrica (química, mecânica, etc.) em energia elétrica. Como exemplos temos as pilhas comuns e as baterias de carros.



Força eletromotriz (F.E.M.)

A função do gerador é a de manter a d.d.p. entre dois pontos de um circuito elétrico. É essa d.d.p. que permite o movimento ordenado das cargas que constituem a corrente elétrica.

Para transportar uma carga elétrica do menor potencial ao maior potencial, o gerador realiza um trabalho sobre ela.

A razão entre o trabalho (τ) realizado pelo gerador e a quantidade de carga elétrica (q), que o percorre num certo intervalo de tempo considerado, é uma característica de cada gerador. Essa razão é denominada "força eletromotriz" do gerador.

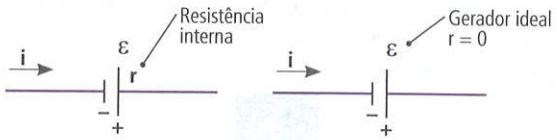
$$\varepsilon = \frac{\tau}{q}$$

A força eletromotriz é uma grandeza homogênea à d.d.p. Por isso, no SI, ela também é medida em volt (V).

Resistência interna

Todo gerador elétrico apresenta também uma resistência elétrica interna (r), que tende a aumentar de valor com o desgaste do aparelho pelo uso.

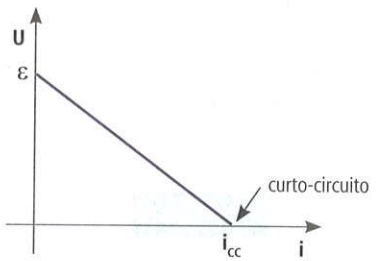
Exemplificando: uma pilha nova tem, praticamente, r = 0, mas com o uso, **r** aumenta gradativamente.



Equação do gerador

$$U = \varepsilon - ri$$

Gráfico do gerador



Quando ligamos os terminais de um gerador por um fio ideal, dizemos que o gerador está em curto-circuito e a d.d.p. entre seus terminais é nula.

$U = 0 \rightarrow 0 = \varepsilon - ri_{cc}$

Logo: $i_{cc} = \frac{\varepsilon}{r}$

Receptor elétrico

É um dispositivo que transforma energia elétrica em energia não elétrica, não exclusivamente em calor, ao contrário dos geradores, que fornecem energia elétrica às cargas para transformá-las em outra modalidade. Como exemplo temos o motor elétrico.

Força (f.c.e.m.)

Contraelemotriz

Suponha um motor elétrico recebendo de um gerador uma certa quantidade de energia e transformando-a em mecânica (energia útil) e térmica (energia perdida).

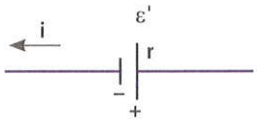
A razão entre a energia útil (mecânica) e a quantidade de carga que o atravessa é denominada f.c.e.m., medida em volt (V).

$$\varepsilon' = \frac{\tau}{q}$$

Equação do receptor

No receptor, o sentido da corrente é do maior para o menor potencial.

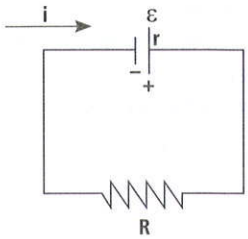
Nos terminais do receptor, a d.d.p. é mantida por um aparelho externo.



$$U = \varepsilon' + ri$$

Gerador ligado a resistores ôhmicos

Suponha um gerador alimentando um circuito formado exclusivamente por resistores ôhmicos, de resistência equivalente R:



- **Da equação do gerador**

$U = \varepsilon - r \cdot i$ (1)

- **Mas os resistores são ôhmicos**

$U = R \cdot i$ (2)

- **Substituindo (2) em (1)**

$R \cdot i = \varepsilon - r \cdot i$

- **Isolando i, resulta**

Lei de Pouillet:

$$i = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

Exercícios

11. Sabe-se que força eletromotriz de um gerador é a energia não elétrica fornecida aos elétrons, ou seja, convertida em energia elétrica. No caso de uma pilha comum, dessas usadas em lanternas ou aparelhos de som portáteis, vemos a inscrição 1,5 V. Essa é a força eletromotriz da pilha. Interprete o significado dessa inscrição.

12. Definimos força contraeletromotriz como a energia retirada de cada unidade de carga e convertida em energia não elétrica. Suponha um motor elétrico, que tenha as seguintes características: força contraeletromotriz de 100 V, ligado a uma tomada de 110 V.

Interprete o significado da f.c.e.m. de 100 V.

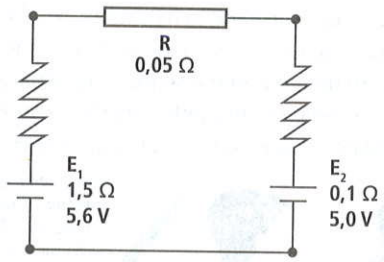
Testes

43. A figura representa um gerador de força eletromotriz $\varepsilon = 6$ V e resistência interna $r = 2\ \Omega$. A tensão nos terminais do gerador, quando percorridos por uma corrente de 1 A, é, em volts, de:

a) 6
b) 4
c) 2
d) 1
e) 0

44. Num gerador, força eletromotriz é:
a) a força que o gerador imprime aos elétrons.
b) a d.d.p. entre os terminais do gerador.
c) a energia que o gerador transfere a uma unidade de carga.
d) a energia dissipada em forma de calor.
e) a energia que o gerador retira de uma unidade de carga.

45. Uma bateria de telefone celular "descarregada" está sendo submetida a um processo de "carga". O circuito elétrico correspondente ao procedimento é mostrado a seguir. E_1 representa um gerador, R um resistor e E_2 um receptor. A bateria seria, então:



a) E_1 ou E_2
b) E_2
c) R
d) E_1
e) E_1, E_2 ou R

46. Sobre o motor elétrico de um liquidificador, pode-se afirmar:
a) É um gerador.
b) Transforma energia elétrica em química.
c) É um receptor reversível.
d) É um resistor ôhmico.
e) Travando seu eixo, a energia elétrica converte-se integralmente em calor.

47. Um motor elétrico comum é um receptor reversível, e é forçado a parar quando está ligado a uma corrente elétrica. Então podemos afirmar:
a) Que a corrente também deixa de circular.
b) Que o motor, por realizar trabalho, converte toda a energia em calor e queima.
c) Que o motor queima porque a força contraeletromotriz se eleva.
d) Que o motor converte sua força contraeletromotriz em zumbido.
e) Que a força contraeletromotriz não se anula e consequentemente o motor queima.

48. O desgaste ou envelhecimento de uma pilha elétrica decorre de reações químicas de oxidação-redução. Essas reações normalmente só ocorrem enquanto a pilha está produzindo _____. Alguns produtos das reações vão se depositando nos eletrodos, aumentando a sua _____ interna e reduzindo a capacidade da mesma em fornecer _____ ao circuito.
Os termos que melhor preenchem as lacunas são:
a) resistência – d.d.p. – corrente.
b) corrente – potência – energia.
c) d.d.p. – potência – energia.
d) corrente – resistência – energia.
e) corrente – potência – resistência.

Leitura Complementar

A pilha de Volta

Em 1780, ao dissecar uma rã para estudos, o anatomista italiano Luigi Galvani (1737-1798) notou que a perna da rã se encolhia quando o bisturi tocava os nervos. Galvani suspeitou que houvesse eletricidade nos músculos da rã e tentou explicar o que observara.

Outro italiano, Alessandro Volta (1745-1827), discordou das ideias de Galvani, que achava que a eletricidade provinha do corpo do animal quando tocado por dois metais. Volta percebeu que provinha do contato entre metais. Com base nessa ideia inventou a pilha voltaica.

Esse dispositivo usava dois metais diferentes separados por substâncias químicas. A pilha voltaica original usava três tipos de discos: zinco, papelão e cobre. O papelão era umedecido numa solução salina ou ligeiramente ácida, como o vinagre. Em uma reação eletroquímica,

o cobre perde elétrons para a solução e o zinco os recebe da solução, estabelecendo assim uma diferença de potencial. Seu invento produzia pouco mais de um volt, assim chamado em homenagem a Volta. Com 24 conjuntos de discos, a pilha produzia cerca de 24 volts, que Volta detectava encostando a ponta da língua nos fios.

O nome pilha usado até hoje decorre do empilhamento dos discos.

Fonte: Aventura na Ciência Eletricidade – Globo.

Eletrização e eletroscópio

Eletrostática

Eletrostática estuda os fenômenos que ocorrem com cargas em repouso, em relação a um dado referencial.

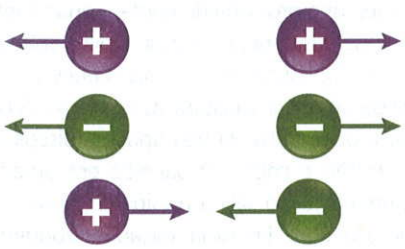
Corpos eletrizados e neutros

A princípio, em um átomo, o número de prótons é igual ao número de elétrons, por isso é chamado de átomo neutro. Se um átomo ganhar ou perder elétrons, ficará ionizado ou eletrizado. Podemos estender este conceito para corpos, tendo em vista que estes são basicamente compostos por átomos.

Corpo neutro — Eletrizado positivamente — Eletrizado negativamente

Lei de Du Fay

Cargas elétricas de mesmo sinal se repelem e cargas de sinais contrários se atraem.



Princípio da conservação da carga elétrica

Num sistema eletricamente isolado, a soma algébrica das cargas elétricas é constante.

Processos de eletrização

Para eletrizar um corpo inicialmente neutro, deve-se adicionar ou retirar elétrons. Podemos fazer isso de várias maneiras. Destacamos os processos seguintes:

- eletrização por atrito;
- eletrização por contato;
- eletrização por indução;

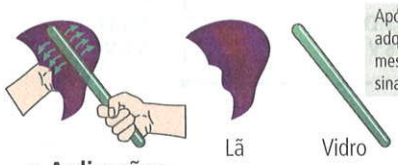
Eletrização por atrito

Ao atritar-se dois isolantes de materiais diferentes, inicialmente neutros, provoca-se um contato íntimo e extenso entre parte dos corpos. Tal contato permite transferência de elétrons, eletrizando-se positivamente o corpo que cede elétrons e negativamente o que recebe elétrons.

Uma mesma substância pode se eletrizar positivamente ou negativamente. Para sabermos como se comporta um determinado corpo após o atrito, consultamos a série triboelétrica abaixo:

+ pele de coelho – vidro – mica – lã – marfim – papel – pele de gato – seda – enxofre – algodão – ebonite – plástico (PVC) –

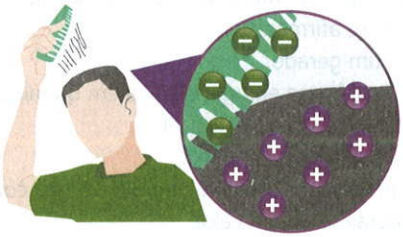
Cada uma das substâncias nela mencionada, atritada com uma das que a precedem, carrega-se negativamente, e com uma das que a seguem, carrega-se positivamente, ou seja, quanto antes aparece a substância na série, maior a sua tendência de ceder elétrons.



Após o atrito os corpos adquirem cargas de mesmo valor absoluto e sinais contrários.

- **Aplicações**

Quando penteamos o cabelo, num dia seco, podemos notar que os fios repelem-se uns aos outros. Isso ocorre porque os fios de cabelo, em atrito com o pente, eletrizam-se com cargas de mesmo sinal.



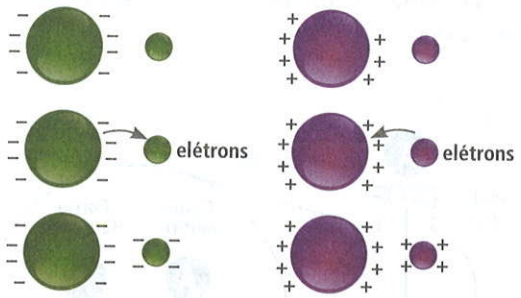
A criança brincando no escorregador se eletriza por atrito. Ela adquire cargas de sinais opostos, como os fios do cabelo da criança têm cargas de mesmo sinal, eles se repelem.


Fotolia

Eletrização por contato

Colocando-se em contato dois condutores, um eletrizado e outro neutro, o corpo neutro receberá ou cederá elétrons, dependendo se o corpo está eletrizado com carga positiva ou negativa.

Exemplos:



Para o caso particular de condutores idênticos (forma e volume), após o contato, eles terão cargas iguais, ou seja:

Após o contato os corpos se eletrizam com cargas de mesmo sinal.

$$Q = \frac{Q_A + Q_B}{2}$$

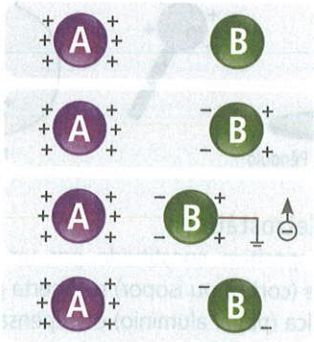
Em todo condutor eletrizado, as cargas elétricas em excesso se depositam na superfície externa.

Se o condutor tiver forma esférica, a distribuição de cargas é uniforme, caso contrário as cargas acumulam-se nas pontas.

Eletrização por indução

Seja um corpo neutro condutor (induzido) e um corpo eletrizado positivamente (indutor), sem que haja contato entre eles. Aproximando o indutor do induzido, observamos uma separação de cargas no corpo neutro. Esta separação deve-se à presença do corpo eletrizado e é chamada de indução eletrostática. Em seguida ligamos o corpo neutro à terra, notamos que alguns elétrons livres da terra se dirigem ao corpo neutro.

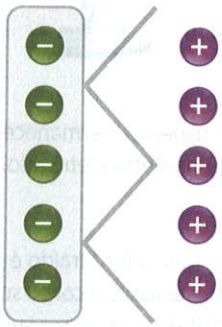
Cortando-se a ligação com a terra e afastando o indutor, observamos que o induzido carrega-se **negativamente**.



Na eletrização por indução, indutor e induzido se eletrizam com cargas de sinais contrários.

Importante saber

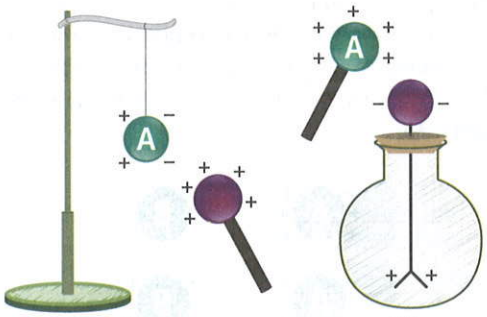
Um corpo eletrizado, quando colocado próximo a um corpo neutro, ocorre atração, como no exemplo que segue:



Se atritarmos um canudo de refrigerante com um pedaço de papel higiênico, o canudo se eletrizará negativamente e o papel higiênico positivamente, conforme vimos na eletrização por atrito. Se colocarmos o canudo contra uma parede, notaremos que ele ficará "grudado". Isto ocorre porque as cargas negativas do canudo repelem as cargas negativas da parede. Então, na parede, perto do canudo, ficam cargas positivas, que atraem as cargas negativas do canudo, fazendo com que ele fique preso à parede por um certo tempo.

Eletroscópio

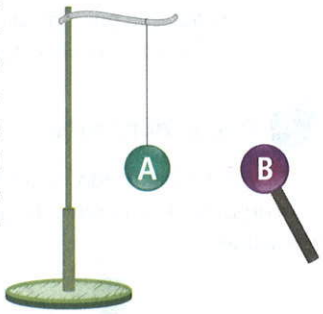
São aparelhos que servem para determinar se um corpo está ou não eletrizado. Existem dois tipos básicos:



Pêndulo Folhas

Pêndulo eletrostático

É um dispositivo constituído por uma esfera de material leve (cortiça ou isopor) recoberta por uma camada metálica (papel alumínio) e suspensa por um fio isolante (seda ou náilon). Podemos dispensar a esfera leve e usar somente um pequeno pedaço de papel alumínio como corpo suspenso. Para sabermos se um corpo **B** está ou não eletrizado basta o aproximarmos do corpo suspenso.

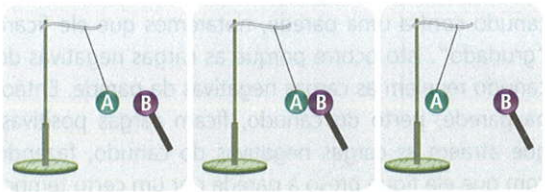


- **1.° caso**

Se o corpo suspenso permanecer em repouso, é porque o corpo **B** não está eletrizado.

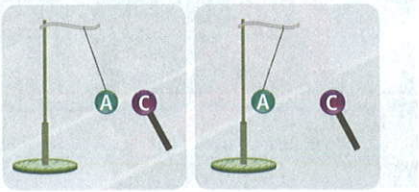
- **2.° caso**

Se o corpo suspenso for atraído é porque o corpo **B** está eletrizado. Neste caso, o corpo suspenso e o corpo **B** entram em contato e o corpo suspenso se eletriza com carga elétrica de mesmo sinal de **B**. Em seguida os dois corpos se repelem porque estão eletrizados com cargas elétricas de mesmo sinal.



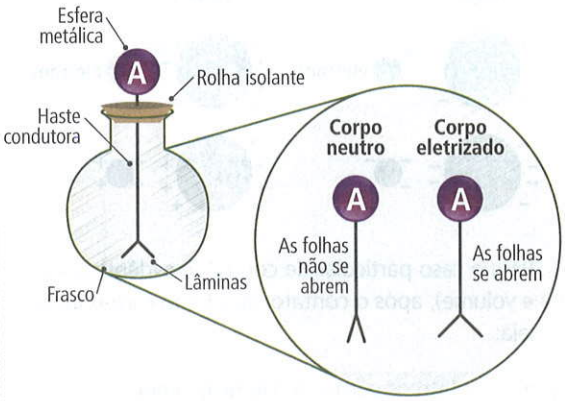
Se afastarmos o corpo **B** e aproximarmos do corpo suspenso um corpo **C**, cuja carga elétrica tem sinal conhecido, concluímos:

- Se **C** repelir o corpo suspenso, a carga elétrica de **A** tem o mesmo sinal que a de **C**.
- Se **C** atrair o corpo suspenso, as cargas elétricas de **A** e **C** têm sinais contrários.



Eletroscópio de folhas

É um dispositivo constituído de duas lâminas metálicas delgadas, ligadas por uma haste condutora e uma esfera metálica. Para sabermos se um corpo **A** está ou não eletrizado, aproximamos o corpo **A** da esfera do eletroscópio.



Importante saber

Aqui também não é possível a identificação do sinal da carga elétrica do corpo eletrizado.

- **1.° caso**

Se as lâminas permanecerem imóveis, o corpo **A** não estará eletrizado.

- **2.° caso**

Se as lâminas se abrirem, isto significa que o corpo **A** estará eletrizado.

Resumo do eletroscópio de folhas		
Eletroscópio	**Condutor**	**Folhas**
Neutro – Folhas inicialmente fechadas	neutro	continuam fechadas
	carga +	abrem-se
	carga –	abrem-se
Carregado – Folhas inicialmente abertas	neutro	mantêm a abertura
	carga de mesmo sinal do eletroscópio	abrem-se mais
	carga de sinal contrário do eletroscópio	diminui abertura

Exercício

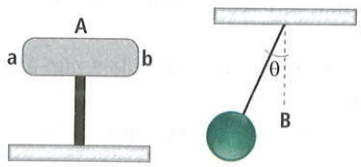
13. Atrita-se uma barra de vidro com um pano de lã, inicialmente neutros, e faz-se a lã entrar em contato com uma bolinha de cortiça, também inicialmente neutra, suspensa por um fio isolante.

a) Determine os sinais das cargas adquiridas pelo corpo individualmente.

b) O que ocorre quando a barra aproxima-se da bolinha, após os processos descritos?

Testes

49. Dois corpos metálicos são aproximados entre si. Um deles (A) tem forma de paralelepípedo e é neutro. O outro (B) é esférico e está carregado eletricamente com carga de módulo Q. Após atingido o equilíbrio, os corpos ficam posicionados conforme ilustrado na figura abaixo. Despreze as interações elétricas com os demais componentes do sistema.



Assinale a alternativa correta.

a) As faces **a** e **b** do corpo **A** adquirem concentrações de cargas de sinais contrários.

b) O ângulo θ independe das massas de **A** e de **B**.

c) É possível identificar o sinal da carga elétrica em excesso na esfera.

d) O ângulo θ independe da carga em excesso contida na esfera.

e) A única força que atua na esfera é a força elétrica.

50. Campos eletrizados ocorrem naturalmente no nosso cotidiano. Um exemplo é o fato de algumas vezes levarmos pequenos choques elétricos ao encostarmos em automóveis. Tais choques são devidos ao fato de estarem, os automóveis, eletricamente carregados. Sobre a natureza dos corpos (eletrizados ou neutros), considere as afirmativas a seguir:

I. Se um corpo está eletrizado, então o número de cargas elétricas negativas e positivas não é o mesmo.

II. Se um corpo tem cargas elétricas, então está eletrizado.

III. Um corpo neutro é aquele que não tem cargas elétricas.

IV. Ao serem atritados, dois corpos neutros, de materiais diferentes, tornam-se eletrizados com cargas opostas, devido ao princípio de conservação das cargas elétricas.

V. Na eletrização por indução é possível obter-se corpos eletrizados com quantidades diferentes de cargas.

Sobre as afirmativas acima, assinale a alternativa correta.

a) Apenas as afirmativas I, II e III são verdadeiras.

b) Apenas as afirmativas I, IV e V são verdadeiras.

c) Apenas as afirmativas I e IV são verdadeiras.

d) Apenas as afirmativas II, IV e V são verdadeiras.

e) Apenas as afirmativas II, III e V são verdadeiras.

51. Durante as tempestades normalmente ocorrem nuvens carregadas de eletricidade. Uma nuvem está eletrizada quando tem carga elétrica resultante, o que significa excesso ou falta de _____ , em consequência de _____ entre camadas da atmosfera. O para-raios é um metal em forma de ponta, em contato com o solo, que _____ a descarga da nuvem para o ar e deste para o solo.

a) energia, choque, facilita.

b) carga, atrito, dificulta.

c) elétrons, atração, facilita.

d) elétrons, atrito, facilita.

e) prótons, atrito, dificulta.

52. Ao ligarmos à terra um condutor positivamente carregado:
a) Ele se carrega.
b) Aumenta suas cargas positivas.
c) Perde cargas negativas.
d) Ganha cargas negativas e se descarrega.
e) Ganha nêutrons.

53. O fato de caminhões-tanques andarem com uma corrente arrastando pelo chão é:

a) Para evitar que um raio caia sobre eles;
b) Para produzir cargas elétricas por atrito;
c) Para carregar as baterias do caminhão;
d) Para evitar o excesso de velocidade;
e) Para descarregar o excesso de cargas geradas pelo atrito do tanque com o ar e com o próprio combustível.

54. (Fatec) Considere as seguintes afirmações:
I. Na eletrização por atrito, os dois corpos ficam carregados com cargas iguais, porém de sinais contrários.
II. Na eletrização por contato, os corpos ficam eletrizados com cargas de mesmo sinal.
III. No processo de indução eletrostática, o corpo induzido se eletrizará sempre com carga de sinal contrário ao do indutor.
São verdadeiras:
a) todas as afirmações.
b) somente I.
c) I e III.
d) somente II.
e) II e III.

55. (Puccamp) Dispõe-se de uma barra de vidro, um pano de lã e duas pequenas esferas condutoras, A e B, apoiadas em suportes isolados, todos eletricamente neutros. Atrita-se a barra de vidro com o pano de lã; a seguir coloca-se a barra de vidro em contato com a esfera A e o pano com a esfera B. Após essas operações:
a) o pano de lã e a barra de vidro estarão neutros.
b) o pano de lã atrairá a esfera A.
c) as esferas A e B continuarão neutras.
d) a barra de vidro repelirá a esfera B.
e) as esferas A e B se repelirão.

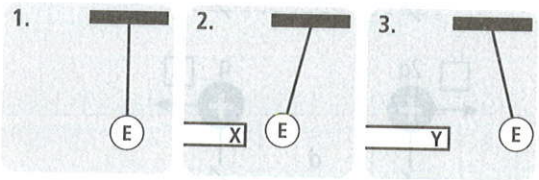
56. (Unimep) Assinale a alternativa correta.
a) Um corpo eletricamente neutro é um corpo que não tem carga elétrica.
b) Cargas elétricas de mesmo sinal se repelem.
c) Na eletrização por indução, o induzido eletriza-se com carga de mesmo sinal do indutor.
d) Eletroscópios são aparelhos destinados a medir a quantidade de elétrons que um corpo possui.
e) Somente os condutores possuem cargas elétricas.

57. (Fatec) Atritado com seda, o vidro fica positivo e o enxofre fica negativo. Atritado com um material X, o enxofre fica positivo. Atritado com o mesmo material X:
a) o vidro fica positivo.
b) o vidro fica negativo.
c) a seda fica negativa.
d) nenhum material fica negativo.
e) n.d.a.

58. (Unifor-CE) Três corpos A, B e C, inicialmente neutros, foram eletrizados. Após a eletrização verifica-se que A e B têm cargas positivas e C tem carga negativa. Assinale a alternativa que apresenta uma hipótese possível a respeito dos processos utilizados para eletrizar esses corpos:
a) A e B são eletrizados por contato e, em seguida, C é eletrizado por atrito com B.
b) A e B são eletrizados por atrito e, em seguida, C é eletrizado por contato com B
c) B e C são eletrizados por atrito e, em seguida, A é eletrizado por contato com B
d) B e C são eletrizados por contato e, em seguida, A é eletrizado por atrito com B
e) A, B e C são eletrizados por contato.

59. (Fatec) Se um condutor eletrizado positivamente é aproximado de um condutor neutro, sem tocá-lo, podemos afirmar que o condutor neutro:
a) conserva sua carga total nula, mas é atraído pelo eletrizado.
b) eletriza-se negativamente e é atraído pelo eletrizado.
c) eletriza-se positivamente e é repelido pelo eletrizado.
d) conserva a carga total nula e não é atraído pelo eletrizado.
e) fica com a metade da carga do condutor eletrizado.

60. (UFRGS) Tem-se uma pequena esfera E, eletricamente carregada, pendurada por um fio isolante (figura 1). Ao aproximar-se um bastão X, a esfera E é por ele atraída (figura 2).
Logo após retirar-se o bastão X, aproxima-se um bastão Y. A esfera é então repelida pelo bastão Y (figura 3).



Qual a alternativa que representa uma possível distribuição predominante de cargas elétricas positivas (+) e negativas (-) na esfera E e nos bastões X e Y nesta ordem?

a) + + -
b) + - +
c) + - -
d) - - +
e) - + +

61. (Med. ABC) Passando-se um pente nos cabelos, verifica-se que ele pode atrair pequenos pedaços de papel. A explicação mais coerente com este fato é que, ao passar o pente nos cabelos, ocorre:

a) eletrização do pente e não dos cabelos, que faz cargas passarem aos pedaços de papel e os atrai.
b) aquecimento do pente por atrito, provocando convecção do ar e por isso o pedaço de papel sobe em direção ao pente.
c) aquecimento do pente, com consequente eletrização do ar próximo, que provoca o fenômeno descrito.
d) eletrização do pente, que induz cargas no papel, provocando a sua atração.
e) deseletrização do pente, que agora passa a ser atraído pelos pedaços de papel, que sempre estão eletrizados.

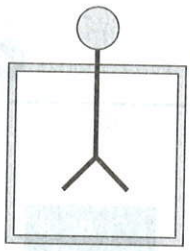
62. (UFMG) Uma bolinha I carregada positivamente atrai duas outra bolinhas, II e III. As bolinhas também se atraem.
A alternativa que melhor explica esses fatos é:

a) as bolinhas II e III têm cargas negativas.
b) as bolinhas II e III têm cargas positivas.
c) a bolinha II tem carga negativa e a III, carga positiva.
d) a bolinha II tem carga positiva e a III, tem carga negativa.
e) a bolinha II estava neutra e a III, com carga negativa.

63. (UFPA) Um corpo A, eletricamente positivo, eletriza um corpo B que estava inicialmente neutro, por indução eletrostática. Nessas condições, pode-se afirmar que o corpo B ficou eletricamente:

a) positivo, pois prótons da terra são absorvidos pelo corpo.
b) positivo, pois elétrons do corpo foram para a terra.
c) negativo, pois prótons do corpo foram para a terra.
d) negativo, pois elétrons da terra são absorvidos pelo corpo.
e) negativo, pois prótons da terra são absorvidos pelo corpo.

64. (Osec) A figura apresenta um eletroscópio carregado positivamente. Se tocamos com o dedo a esfera superior do eletroscópio, vamos observar que as lâminas:



a) se fecham porque ele recebe elétrons do nosso corpo.
b) se fecham porque ele cede elétrons para o nosso corpo.
c) se fecham porque ele cede prótons para o nosso corpo.
d) abrem-se ainda mais porque ele cede elétrons para o nosso corpo.
e) abrem-se ainda mais porque ele recebe prótons do nosso corpo.

Lei de Coulomb


Wikimedia

Eletrostática

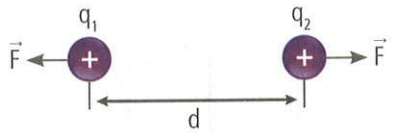
Na imagem anterior vemos os fios de cabelo de uma mulher eletrizados com cargas elétricas de mesmo sinal e, por isso, eles se repelem.

Formaremos a seguir o estudo das características da força elétrica, regida pela Lei de Coulomb.

Consideremos duas cargas puntiformes q_1 e q_2 (corpos eletrizados), cujas dimensões são desprezíveis se comparadas com a distância que as separa.

As forças elétricas que aparecem nestas cargas constituem um par de ação e reação, cujo módulo é dado pela Lei de Coulomb:

O módulo da força de atração ou repulsão entre cargas pontuais é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas.

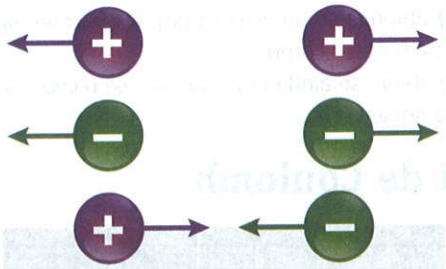


Módulo:

$$F = k\,\frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$$

Direção: É a reta que une os centros geométricos dos corpos eletrizados.

Sentido: É dado pela Lei de Du Fay.



Constante eletrostática

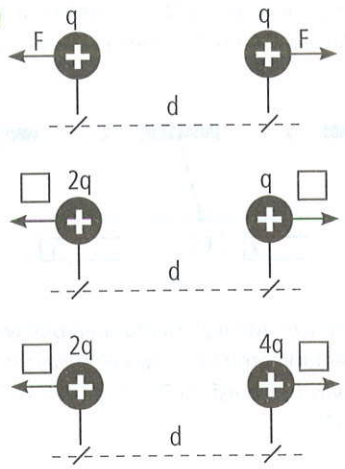
A constante de proporcionalidade K depende do meio onde os corpos se encontram e do sistema de unidades escolhido. No vácuo e aproximadamente no ar, ela vale:

$$K = 9 \cdot 10^9\,\frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

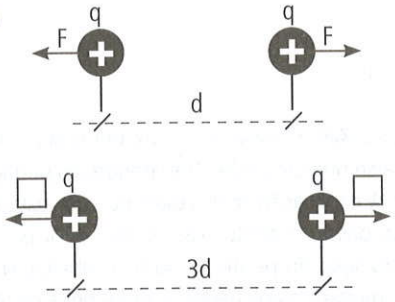
Exercício

14. Complete as alterações que ocorrem com a força em cada caso:

a)

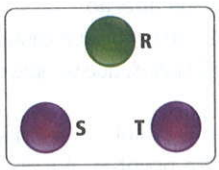


b)



Testes

65. Três partículas eletrizadas com cargas de mesmo módulo estão distribuídas num plano como indica a figura. Os corpúsculos **S** e **T** são eletropositivos e **R**, negativo.



Dentre as opções indicadas, a que melhor representa o vetor força resultante em **R** é:

a) ↘
b) ↙
c) ↓
d) ↖
e) ↗

66. Segundo a Lei de Coulomb, a intensidade da força de interação elétrica entre duas cargas elétricas puntiformes é:

I. Proporcional ao produto das cargas.

II. Proporcional à distância entre as cargas.

III. Inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as cargas.

IV. Inversamente proporcional ao produto das cargas.

Das quatro afirmativas acima, estão corretas:

a) I e III
b) III e IV
c) II e III
d) I, II e III
e) I e II

67. Dois corpúsculos eletrizados repelem-se com uma força cuja intensidade é F. Se a distância entre eles for duplicada, a força de interação será:

a) $\frac{F}{4}$
b) $\frac{F}{2}$
c) F
d) 2F
e) 4F

68. Duas esferas igualmente carregadas, no vácuo, repelem-se mutuamente quando separadas a uma certa distância. Triplicando-se a distância entre as esferas, a força de repulsão entre elas torna-se:

a) 3 vezes menor.
b) 6 vezes menor.
c) 9 vezes menor.
d) 12 vezes menor.
e) 9 vezes maior.

69. Duas esferas condutoras idênticas carregadas com cargas + Q e – 3 Q, inicialmente separadas por uma distância d, atraem-se com uma força elétrica de intensidade (módulo) F. Se as esferas são postas em contato e, em seguida, levadas de volta para suas posições originais, a nova força entre elas será:

a) maior que F e de atração.
b) menor que F e de atração.
c) igual a F e de repulsão.
d) menor que F e de repulsão.
e) maior que F e de repulsão.

70. Duas esferas condutoras idênticas, 1 e 2, de cargas 3 Q e – Q, respectivamente, estão separadas por uma distância d. Os diâmetros das esferas são pequenos comparados com a distância d. Colocando as esferas em contato e, posteriormente, voltando-se à distância d inicial, é correto afirmar:

a) A força entre as duas esferas antes do contato era de repulsão.
b) Depois do contato, cada esfera preserva sua carga.
c) Depois de separadas, aparecerá entre elas uma força de repulsão equivalente a um terço do módulo da força eletrostática inicial.
d) Depois de separadas, a força eletrostática entre elas será nula.
e) Quando em contato há uma redistribuição de cargas, ficando cada esfera com carga 4 Q.

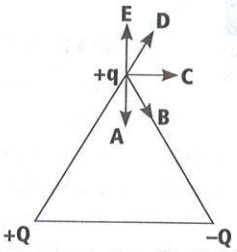
71. (PUC-MG) Duas cargas elétricas, positivas, estão separadas a uma distância d, no vácuo. Dobrando-se a distância que as separa, a força de repulsão entre elas:

a) ficará dividida por 2.
b) ficará multiplicada por 2.
c) ficará dividida por 4.
d) ficará multiplicada por 4.
e) não se alterará.

72. (Osec) Se triplicarmos o valor de duas cargas iguais de mesmo sinal separadas por uma distância d no vácuo, qual será a nova distância de modo que a força de atração permaneça a mesma?

a) 18d
b) 9d
c) 6d
d) 3d
e) impossível, pois a força é de repulsão.

73. (Puccamp) Nos vértices da base de um triângulo localizam-se as cargas elétricas +Q e –Q. No terceiro vértice se encontra uma carga +q.



A carga +q apresenta tendência de movimento na direção e sentido melhor representados pela seta:

a) A
b) B
c) C
d) D
e) E

Campo elétrico

Veremos na sequência algumas aplicações do campo elétrico, sua conceituação, linhas de campo, campo gerado por carga puntiforme e campo elétrico uniforme.

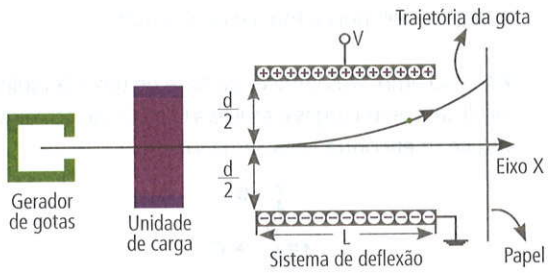
• Campo elétrico e biologia

Além dos cinco sentidos que os seres humanos possuem, os tubarões possuem ainda um sexto sentido, que lhes permite detectar sinais elétricos emitidos por qualquer ser vivo, por meio de pequenos poros localizados na cabeça, os quais pertencem a um aparelho sensorial denominado **Ampola de Lorenzini**. Ela existe apenas nos tubarões e raias e são pequenas câmaras, situadas na cabeça, que contêm células sensoriais ligadas a fibras nervosas. Serve para perceber temperatura, salinidade e também o **campo elétrico** criado pelas contrações musculares das presas.

Fotolia

Tubarão

• Campo elétrico e a impressora jato de tinta



As gotas, após serem eletrizadas na unidade de carga, têm suas trajetórias modificadas no sistema de deflexão (placas carregadas), atingindo o papel em posições que dependem de suas cargas elétricas.

• Campo elétrico e efeito corona

Ruído de linhas de transmissão de energia elétrica podem se intensificar durante tempo úmido. Pode ser mais forte em determinada direção, também pode parecer chegar de todos os lugares de repente.

Existem dois tipos de ruídos de linhas de transmissão: descarga de "corona" e intervalo de centelha. O efeito corona ocorre quando um forte campo elétrico, associado a um condutor de alta tensão, ioniza o ar próximo ao condutor. O ar ionizado pode se tornar azul e se tornar audível em forma de "estalos".

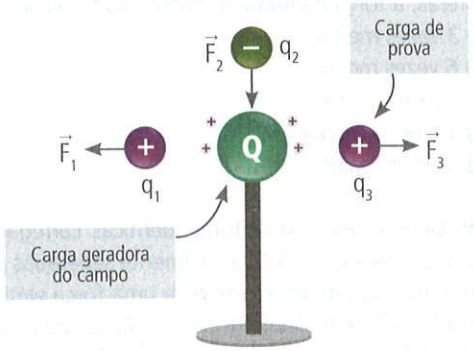
Fotolia

Torres de transmissão de energia

Conceito de campo elétrico

É uma região do espaço em torno de uma carga elétrica, de tal maneira que se colocarmos uma carga elétrica nessa região, ela ficará sujeita a uma força de origem elétrica que pode ser de atração ou de repulsão.

A carga elétrica q utilizada para verificação da existência do campo será denominada "carga de prova" ou "carga teste".



Vetor campo elétrico

O campo elétrico é uma grandeza vetorial, portanto necessita de módulo, direção e sentido. O módulo é dado pela expressão:

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

Direção: A mesma da força elétrica $\vec{F}$

Sentido: Mesmo sentido da força elétrica $\vec{F}$, se $q \rightarrow +$

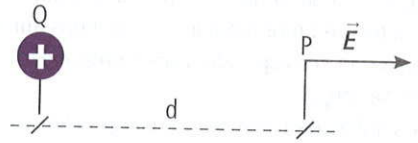
sentido oposto ao da força elétrica $\vec{F}$ se $q \rightarrow -$

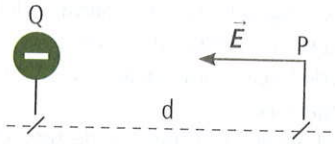
A unidade de **E** no SI é o **N/C** ou **V/m** (será visto posteriormente).

Se isolarmos a força **F** na fórmula do campo teremos:

$$F = E \cdot q$$

Campo elétrico gerado por uma carga puntiforme





Vemos que o vetor campo elétrico se afasta da carga positiva e se aproxima da carga negativa.

Módulo do vetor campo elétrico

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

De acordo com a expressão acima temos que o campo depende:

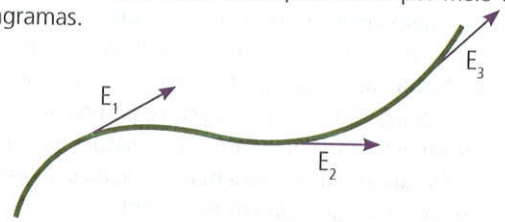
Carga geradora → Q
Distância → d
Meio → K

Não depende da carga de prova → q

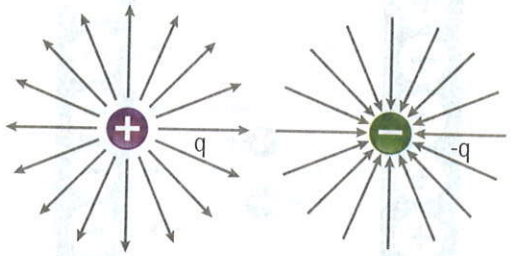
Linha de campo ou linha de "força"

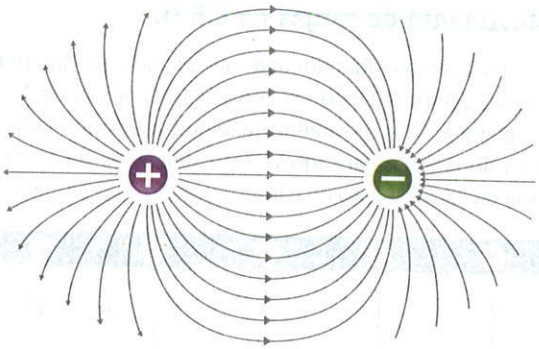
São linhas tangentes ao vetor campo elétrico em cada um dos seus pontos. As linhas de campo são orientadas no sentido do vetor campo.

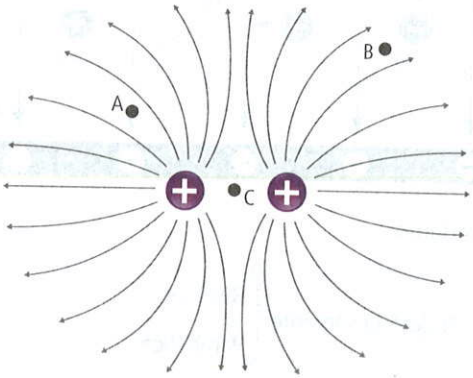
Michael Faraday introduziu este conceito com a finalidade de representar o campo elétrico por meio de diagramas.



Alguns exemplos de linhas de campo:





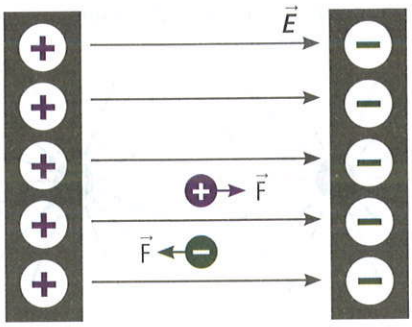


Propriedades das linhas de campo

- Duas linhas de campo nunca se cruzam.
- As linhas iniciam na carga positiva e terminam na carga negativa ou no infinito.
- Numa determinada região, quanto maior for o número de linhas de campo, mais intenso será o campo elétrico.

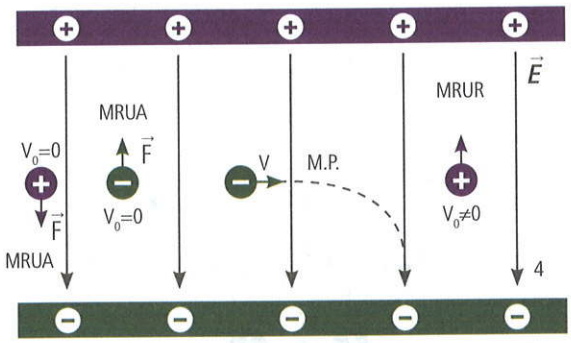
Campo elétrico uniforme (C.E.U.)

É o campo elétrico em que o vetor campo elétrico é constante em todos os pontos, ou seja, em cada ponto do campo o vetor campo elétrico tem o mesmo módulo, a mesma direção e o mesmo sentido. As linhas de campo de um C.E.U. são retas paralelas igualmente distanciadas.



Movimento de cargas no C.E.U.

Toda carga abandonada ou lançada no interior de um campo elétrico uniforme, sujeito apenas a força elétrica, fará movimento análogo ao de um corpo abandonado ou lançado nas proximidades da superfície da Terra, sujeito ao campo gravitacional da Terra.



Portanto:

Trajetória somente	Retilínia Parabólica

Exercício

15. O campo elétrico é uma região do espaço em torno de uma carga ou superfície carregada (Q), no qual qualquer corpo eletrizado fica sujeito à ação de uma força de origem elétrica. Representamos o campo elétrico por linhas de força, que são linhas imaginárias, tangentes aos vetores campo elétrico em cada ponto e no mesmo sentido dos vetores campo elétrico.

Ao tentar ler o parágrafo que trata das propriedades das linhas de força de um campo elétrico, Paulo verificou que seu livro de Física apresentava algumas falhas de impressão (lacunas). O parágrafo mencionado com as respectivas lacunas era o seguinte:

As linhas de força saem de cargas _____, _____ se cruzam e quanto mais _____ maior é a intensidade do campo elétrico nessa região.

Complete as lacunas acima.

Testes

74. As linhas de força foram idealizadas pelo físico inglês Michael Faraday com o objetivo de visualizar o campo elétrico numa região do espaço. Em cada ponto de uma linha de força, a direção do campo elétrico é tangente à linha. Qual das afirmações abaixo não corresponde a uma propriedade das linhas de força?

a) As linhas de força de um campo elétrico uniforme são paralelas e equidistantes entre si.

b) Para uma carga puntiforme positiva, as linhas de força apontam "para fora" da carga.

c) As linhas de força "convergem" para cargas puntiformes negativas.

d) Nas vizinhanças, da superfície de um condutor isolado e carregado, as linhas de força são perpendiculares à superfície.

e) As linhas de força do campo elétrico são sempre fechadas.

75. A intensidade do campo elétrico a uma distância de 6,0 metros de uma carga puntiforme Q = 4 μC é igual a: ($k = 9 \cdot 10^9\ Nm^2 / C^2$)

a) 1 000 N/C

b) 2 000 N/C

c) 3 000 N/C

d) 4 000 N/C

e) 5 000 N/C

76. Duas partículas carregadas, uma negativamente e outra positivamente, entram, simultaneamente, em uma região e são desviadas uma para cima e outra para baixo, respectivamente.

A respeito disso, leia as afirmações abaixo e depois assinale a alternativa correta.

I. Ambas as cargas podem estar na presença de um campo elétrico, cuja direção é perpendicular ao movimento inicial das cargas e voltado para baixo.

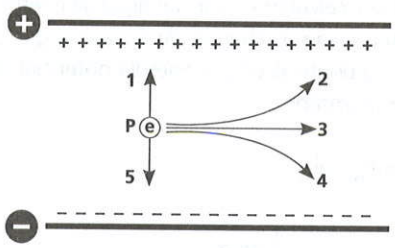
II. Ambas as cargas podem estar na presença de um campo elétrico, cuja direção é perpendicular ao movimento inicial das cargas e voltado para cima.

III. As cargas não interagem entre si, mesmo estando próximas, quando em movimento.

a) A única suposição correta é a III.
b) As únicas suposições corretas são a I e a III.
c) As únicas suposições corretas são a II e a III.
d) A única suposição correta é a I.
e) A única suposição correta é a II.

77. O módulo do vetor campo elétrico produzido por uma carga elétrica puntiforme em um ponto P é igual a E. Dobrando-se a distância entre a carga e o ponto P, por meio do afastamento da carga, o módulo do vetor campo elétrico nesse ponto muda para:
a) E/4.
b) E/2.
c) 2E.
d) 4E.
e) 8E.

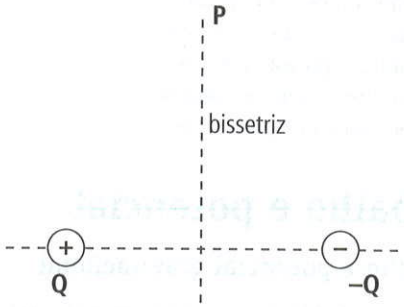
78. A figura a seguir mostra duas placas paralelas, muito grandes, carregadas com cargas elétricas de sinais contrários que produzem um campo elétrico uniforme na região entre elas. Um elétron no ponto P move-se a partir do repouso segundo a trajetória:



a) 1
b) 2
c) 3
d) 4
e) 5

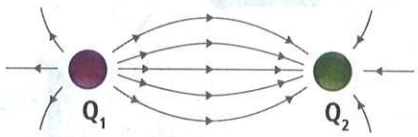
79. Uma carga elétrica q, ao ser abandonada num campo elétrico gerado por uma carga Q fixa, entrará em movimento. Sendo as cargas positivas e puntiformes, podemos afirmar que:
I. A carga q se afastará de Q.
II. A carga q não afetará o campo elétrico de Q.
III. A carga q será acelerada.
IV. A unidade de campo elétrico no SI é N/C.
São verdadeiras:
a) somente I e II.
b) somente III e IV.
c) somente I, II e IV.
d) todas.
e) nenhuma.

80. (UFV-MG) A figura representa duas cargas puntiformes, de mesmo módulo e sinais opostos, e um ponto P localizado na bissetriz do segmento que liga as cargas.



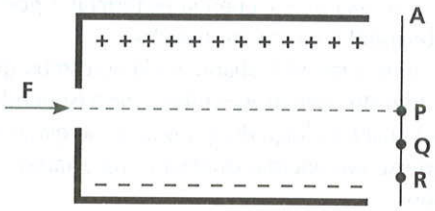
A alternativa que representa o vetor campo elétrico resultante no ponto P é:
a) ↑
b) ←
c) ↓
d) →
e) vetor nulo

81. (Acafe-SC) A figura representa, na convenção usual, a configuração de linhas de força associadas a duas cargas puntiformes Q_1 e Q_2.



Podemos afirmar que:
a) Q_1 e Q_2 são cargas negativas.
b) Q_1 é positiva e Q_2 é negativa.
c) Q_1 e Q_2 são cargas positivas.
d) Q_1 é negativa e Q_2 é positiva.
e) Q_1 e Q_2 são neutras.

82. (Fuvest-SP) Uma fonte F emite partículas (elétrons, prótons e nêutrons) que são lançadas no interior de uma região onde existe um campo elétrico uniforme.



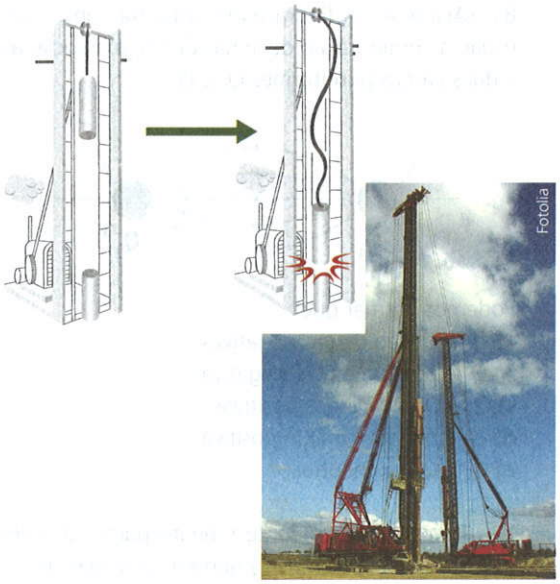
As partículas penetram perpendicularmente às linhas de força do campo. Três partículas emitidas atingem o anteparo A nos pontos P, Q e R. Podemos afirmar que essas partículas eram, respectivamente:

a) elétron, nêutron, próton.
b) próton, nêutron, elétron.
c) elétron, próton, próton.
d) nêutron, elétron, elétron.
e) nêutron, próton, próton.

Trabalho e potencial

Trabalho e potencial gravitacional

Sabe-se da Mecânica que se um corpo está suspenso a uma determinada altura (contém um desnível em relação a um plano de referência), possui certa energia armazenada, que pode ser convertida em movimento, ou seja, energia cinética. Assim, podemos dizer: quando um corpo possui energia armazenada, e dele pode-se obter movimento, então ele possui energia potencial e potencial gravitacional.



Bate-estaca

No bate-estacas, quando a massa metálica está acima do solo, ela possui energia **potencial** e **potencial gravitacional** para realizar trabalho.

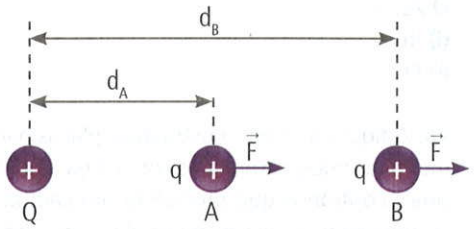
Quando a massa é abandonada no campo gravitacional terrestre, sob ação da força peso (supondo desprezível qualquer força dissipativa), a energia potencial converte-se em energia cinética e, para tanto, realiza trabalho.

O trabalho realizado por uma força conservativa, entre dois pontos **A** e **B**, não depende da trajetória descrita pelo corpo, sendo dado, pela expressão:

$$\tau_{AB} = E_{pA} - E_{pB}$$

Trabalho e potencial elétrico

Seja uma carga Q puntiforme fixa. Sabe-se que ao redor dela surge uma região do espaço denominada campo elétrico. De forma semelhante a qual ocorre no bate-estacas, quando coloca-se uma carga de prova **q**, ela adquire energia potencial elétrica e um potencial elétrico para realizar trabalho.



Ao deslocar-se uma carga de prova **q** de **A** para **B**, ao longo do segmento **AB**, a força elétrica realizará trabalho que é calculado como variação da energia potencial elétrica. Vamos chamar de E_{PA} a energia potencial elétrica no ponto A e E_{PB} a energia potencial no ponto **B**, teremos então:

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

τ_{AB} depende de q / dos pontos A e B

Diferença de potencial (d.d.p.)

Diferença de potencial entre dois pontos **A** e **B** de um campo elétrico é a razão entre o trabalho realizado para transportar uma carga elétrica entre esses dois pontos e o módulo da carga.

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

Da expressão anterior tiramos a unidade SI da diferença de potencial:

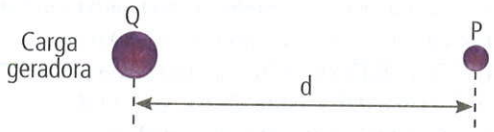
$$\text{volt (V)} = \frac{\text{joule (J)}}{\text{coulomb (C)}}$$

Se isolarmos o trabalho na expressão da d.d.p. teremos:

$$\tau_{AB} = q \cdot U_{AB}$$

Potencial gerado por uma carga puntiforme

Diz-se que uma carga elétrica Q gera ao seu redor um potencial elétrico.



Demonstra-se que o potencial do ponto P é dado pela expressão:

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

Importante saber

- O potencial da Terra é nulo.
- O potencial de um ponto situado no infinito é nulo.
- O potencial é uma grandeza escalar, medido em volt, no SI.
- Carga + gera potencial +
- Carga – gera potencial –
- Para cargas geradoras positivas, quanto mais próxima delas for o ponto, maior será o potencial. Para as negativas dá-se o contrário.
- O potencial elétrico pode ser utilizado como grandeza auxiliar no cálculo da energia potencial e do trabalho, por intermédio das expressões:

$E_{PA} = q \cdot V_A$ $\qquad$ $E_{PB} = q \cdot V_B$

$\tau_{AB} = E_{PA} - E_{PB} \quad \rightarrow \quad \tau_{AB} = q(V_A - V_B)$

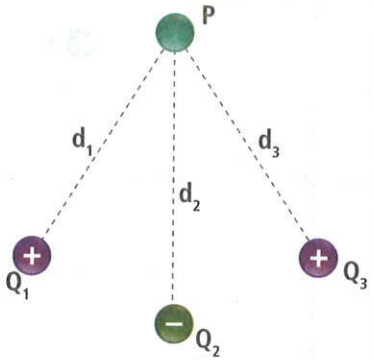
onde $V_A - V_B$ representa a diferença de potencial U_{AB}.

Potencial gerado por várias cargas em um ponto

Para obtermos o potencial produzido por várias cargas puntiformes num mesmo ponto P, calculamos inicialmente o potencial que cada uma produziria se estivesse sozinha.

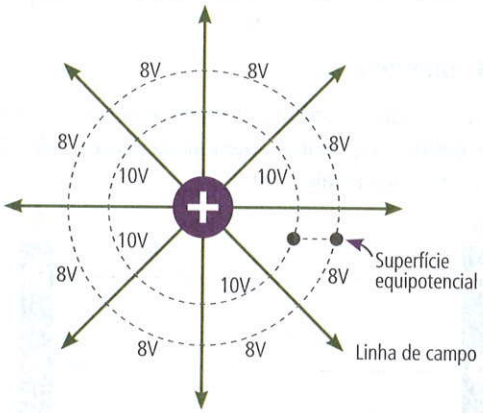
O potencial do ponto é dado pela soma algébrica dos pontos calculados.

$$V_P = V_1 + V_2 + V_3 + \ldots$$



Superfícies equipotenciais

É o lugar geométrico de todos os pontos de um campo elétrico que têm o mesmo potencial.



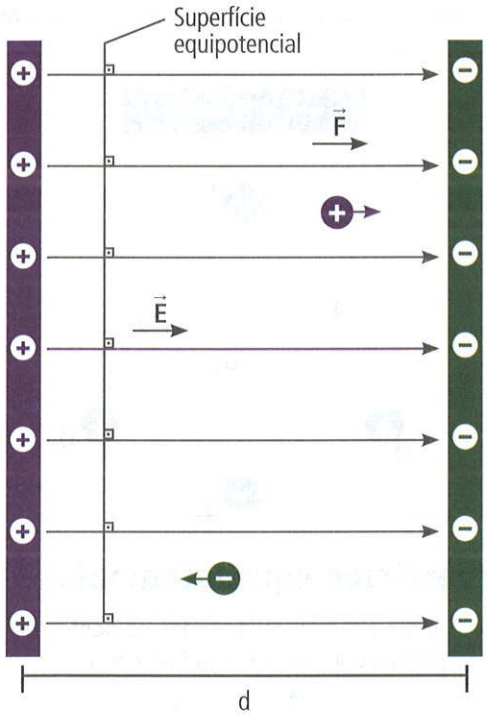
Propriedades do campo e do potencial

- Potencial decresce ao longo da linha de campo.
- As superfícies equipotenciais são sempre perpendiculares às linhas de campo.
- É nulo o trabalho realizado pela força elétrica para deslocar uma carga entre dois pontos de uma mesma superfície equipotencial.

D.D.P. no C.E.U.

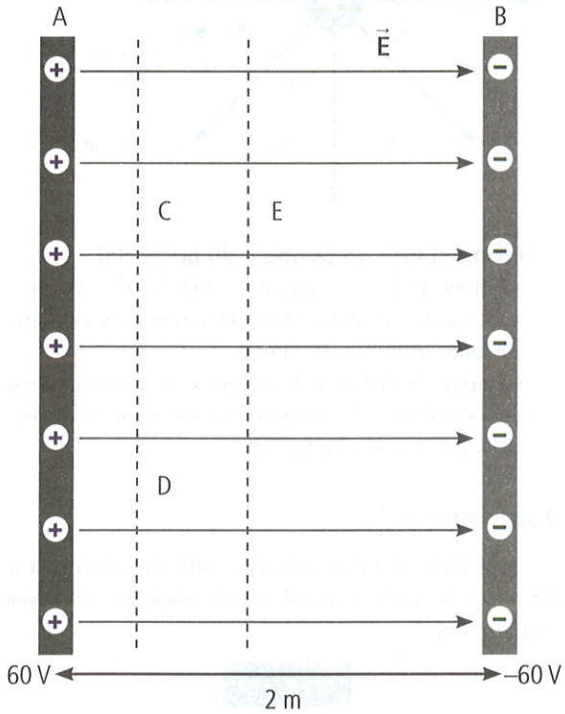
Se **d** representar a distância entre as placas e **U** a diferença de potencial entre elas, podemos escrever simplesmente:

$$E \cdot d = U$$



Exercício

16. Considere duas placas planas e paralelas distanciadas de 2 m, onde o potencial da placa A vale 60 V e o da placa B vale – 60 V.



Sobre a situação descrita assinale V ou F.

( ) A diferença de potencial entre as placas é de 120 V.

( ) A intensidade do campo elétrico uniforme entre as placas vale 60 V/m.

( ) O potencial do ponto C é igual ao potencial do ponto D.

( ) O potencial do ponto E é maior que o potencial do ponto C.

( ) O trabalho para deslocar uma carga de prova positiva do ponto C ao ponto D é não nulo.

( ) Se a distância entre o ponto C e a placa A for de 20 cm a d.d.p. entre A e C vale 48 V.

( ) O potencial do ponto C vale 48 V.

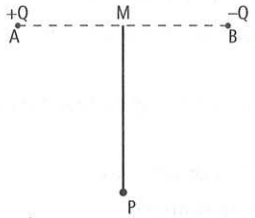
Testes

83. Duas cargas puntiformes +Q e –Q são colocadas nos pontos A e B. No ponto P da mediatriz de AB:

I. O potencial é nulo.

II. O campo elétrico é nulo.

III. Colocando-se uma carga puntiforme +q com liberdade de movimento, ela fica em equilíbrio.



a) Só I é correta.
b) Só II é correta.
c) Só III é correta.
d) Todas são corretas.
e) Há pelo menos duas afirmações corretas.

84. Assinale as expressões que representam a unidade volt:

a) ampère / segundo.
b) joule / coulomb.
c) coulomb / segundo.
d) coulomb / joule.
e) joule / ampère.

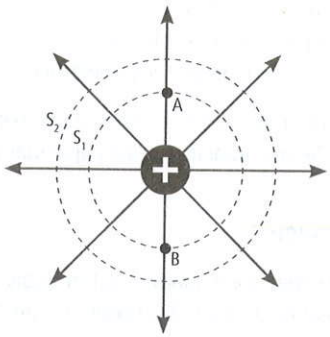
85. Calcule em volts o potencial num ponto P de um campo elétrico, distante 9 cm da carga geradora Q = 1 μC.

a) 10^5
b) 10^6
c) 10^7
d) 10^8
e) 10^9

86. Sobre campo elétrico e potencial é correto afirmar:
I. O campo elétrico é grandeza escalar.
II. O potencial é grandeza escalar.
III. O campo elétrico uniforme é conservativo.
IV. O trabalho para deslocar uma carga de prova num campo elétrico uniforme independe da trajetória.
V. O potencial gerado por uma carga puntiforme num ponto P é inversamente proporcional ao quadrado da distância da carga ao ponto P.

São verdadeiras:
a) somente I e II.
b) somente II, III e IV.
c) somente I, II e IV.
d) todas.
e) nenhuma.

87. Na figura abaixo, S_1 e S_2 são superfícies equipotenciais. O trabalho realizado por uma carga de prova para ir do ponto A até o ponto B, por meio da superfície S_1:



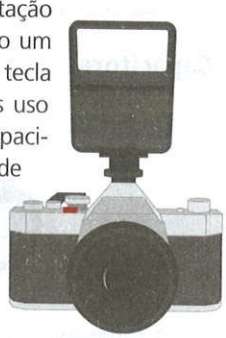
a) vale π rad.
b) vale 180 joules.
c) vale 2π rad/s.
d) é negativo.
e) é nulo.

88. Nos campos uniformes, as superfícies equipotenciais são:
a) planos perpendiculares às linhas de força.
b) planos paralelos às linhas de força.
c) esféricas.
d) cilíndricas.
e) cônicas.

Capacidade e capacitores

Num disparo de um *flash* de uma máquina fotográfica percebemos um brilho muito intenso da lâmpada, ou seja, uma grande potência dissipada. Uma pilha comum não poderia fornecer a energia necessária para este disparo. Essa energia elétrica se encontra acumulada num dispositivo chamado **capacitor**.

Quando sintonizamos uma estação de rádio também estamos usando um capacitor, ao pressionarmos uma tecla de computador também fazemos uso de um capacitor, portanto, o capacitor é um componente eletrônico de grande utilidade. Para estudarmos esse dispositivo precisamos inicialmente definir uma nova grandeza física chamada capacidade ou capacitância.



Capacidade ou capacitância

Quando se eletriza um condutor isolado com uma carga **Q**, observa-se que este mesmo condutor adquire potencial **V**. Se eletrizarmos com carga 2Q, seu potencial passa a ser 2V, e assim por diante. Isso significa que a carga Q e seu potencial são grandezas diretamente proporcionais.

Logo, a razão $\frac{Q}{V}$ = constante, a essa constante dá-se o nome de capacitância elétrica do condutor, e é representada por **C**. Essa grandeza característica do condutor e do meio mede a capacidade do condutor de armazenar cargas.

$$C = \frac{Q}{V} \quad \text{ou} \quad Q = C \cdot V$$

Unidade SI da capacitância

Da expressão acima teremos que a unidade da capacitância será a razão entre a unidade de carga pela unidade do potencial, ou seja:

$$\text{unidade } C = \frac{\text{coulomb}}{\text{volt}} = \text{farad (F)}$$

Submúltiplos utilizados:
1 microfarad = 1 μF = 10^{-6} F
1 nanofarad = 1 nF = 10^{-9} F
1 picofarad = 1 pF = 10^{-12} F

Importante saber

- Observe que a capacitância de um condutor, ao contrário do que possa parecer à primeira vista, não depende de V e nem de Q.
- A capacitância é sempre positiva, pois V e Q possuem sempre o mesmo sinal.

• A capacitância de um condutor isolado só depende da forma do condutor, das suas dimensões e do meio que o envolve.

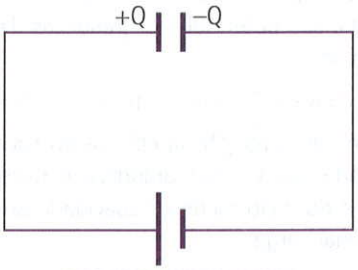
Capacitores


Fotolia

Capacitor

O capacitor é um dispositivo constituído por dois condutores (armaduras) separados por um dielétrico (isolante), cujo objetivo é armazenar energia.

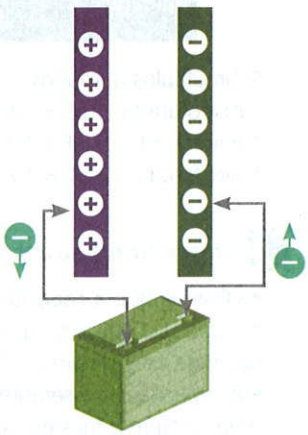
Qualquer que seja o formato do capacitor ele é representado esquematicamente por meio de dois traços paralelos e de mesmo comprimento.



Carga do capacitor

Para carregar o capacitor pode-se ligar as suas armaduras aos terminais de um gerador (pilha ou bateria). O gerador passa a retirar elétrons da armadura ligada ao polo positivo, e introduz elétrons na outra armadura, que se eletriza negativamente.

O processo de carga termina quando o potencial da placa positiva se iguala ao da placa negativa, ou seja, quando o equilíbrio eletrostático é atingido. Terminado o processo de carga, a tensão U entre as armaduras do capacitor fica igual à força eletromotriz do gerador (ideal).

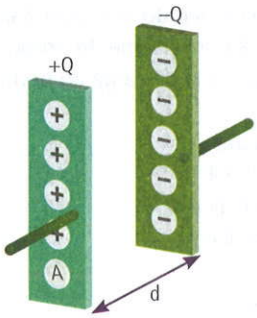


Não deve haver fluxo de cargas de uma armadura para outra. Se houver, dizemos que o capacitor está queimado.

Carga do capacitor

$$Q = C \cdot V$$

Capacitor plano



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

A → área de cada placa
d → distância entre as placas
ε → permissividade elétrica (dielétrico)

Quando introduzimos um dielétrico sólido entre as armaduras de um capacitor, a sua capacidade aumenta.

Exercícios

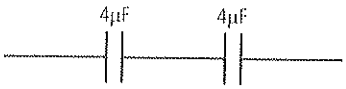
17. Um capacitor é ligado aos terminais de uma bateria ideal cuja força eletromotriz é de 12 V. Verifica-se que a carga adquirida é de $24 \cdot 10^{-9}$ C.

a) Determine a capacitância do capacitor.

b) Se o mesmo capacitor for ligado em outra bateria, de 6 V, qual será a carga elétrica adquirida?

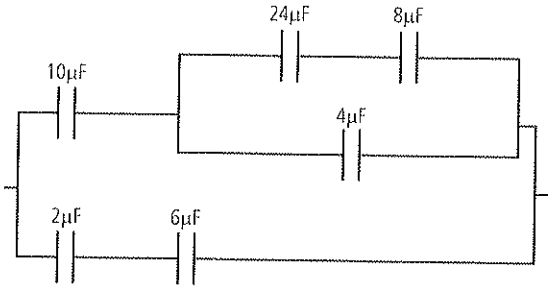
18. Determine a capacidade equivalente das associações a seguir:

a)



b)

c)



Testes

89. Que raio deve ter um condutor esférico, no ar, para que sua capacidade elétrica seja igual a 1 F?
a) $9 \cdot 10^{-9}$ m
b) $9 \cdot 10^{9}$ m
c) $9 \cdot 10^{-8}$ m
d) $9 \cdot 10^{8}$ m
e) igual ao raio da Terra.

90. Sabendo-se que o potencial de certo condutor, de capacidade 4,0 μF, atingiu 200 V, pode-se afirmar que sua carga alcançou:
a) $5{,}0 \cdot 10^{4}$ C
b) 800 C
c) 50 μC
d) 0,8 C
e) $8{,}0 \cdot 10^{-4}$ C

91. Uma esfera metálica oca (A) e outra maciça (B) têm diâmetros iguais. A capacidade elétrica de A, no mesmo meio que B:
a) Depende da natureza do metal de que é feita.
b) Depende de sua espessura.
c) É igual a de B.
d) É maior que a de B.
e) É menor que a de B.

92. Ao aumentar-se a carga Q em um capacitor plano, de placas paralelas, conclui-se que:
a) A d.d.p. diminui.
b) A d.d.p. permanece constante.
c) Sua capacidade aumenta.
d) Sua capacidade diminui.
e) Sua capacidade não se altera.

93. Em um capacitor a vácuo, de capacidade 10^{-3} μF, ligado a um gerador de tensão 100 V, a carga elétrica é:
a) 0,50 μC em cada armadura.
b) 0,10 μC em cada armadura.
c) 0,10 μC em uma armadura e –0,10 μC na outra.
d) 0,10 μC em uma armadura e zero na outra.
e) Zero nas duas armaduras.

94. No cotidiano empregam-se capacitores nos circuitos eletrônicos de rádios, TV, etc. Sua finalidade é:
a) armazenar um pouco de carga e de energia elétrica.
b) evitar passagem de corrente elétrica no circuito.
c) produzir a energia elétrica do sistema.
d) diminuir a resistência elétrica.
e) estabelecer um curto circuito entre os dois pontos em que foi acoplado.

Anotações

Respostas

Exercício 01: 1 C

Exercício 02: a) +3 ℓ; b) –4 ℓ; c) zero.

Exercício 03: 1 A

Exercício 04: Carro → carga elétrica; Tráfego → corrente elétrica.

Exercício 05: R = 5 Ω

Exercício 06: R = 0,34 Ω

Exercício 07: a) 30 Ω; b) 4 A; c) 20 V, 40 V e 60 V.

Exercício 08: a) 3 Ω; b) 150 V; c) 15 A, 10 A e 25 A.

Exercício 09: 250 mA

Exercício 10: a) Sim, corrente maior que a corrente limite; b) 33.

Exercício 11: A cada 1 C de carga, esta recebe 1 J de energia.

Exercício 12: A cada 1 C de carga, esta fornece 100 J de energia.

Exercício 13: a) Vidro: positiva, lã: negativa, bola: negativa; b) atração.

Exercício 14: a) Primeiro desenho 2F e 2F; segundo desenho 8F e 8F; b) F/9 e F/9.

Exercício 15: Positivas; nunca; próximas.

Exercício 16: V, V, V, F, F, F, V.

Exercício 17: a) 2 nF; b) 12 nC.

Exercício 18: a) 2 μF; b) 1,5 μF; c) 6,5 μF.

Gabarito

01) E	02) E	03) C	04) D	05) B	06) D
07) B	08) C	09) E	10) B	11) C	12) D
13) B	14) A	15) *	16) C	17) E	18) A
19) A	20) D	21) B	22) D	23) B	24) B
25) A	26) B	27) D	28) C	29) C	30) A
31) D	32) C	33) C	34) A	35) D	36) D
37) A	38) A	39) B	40) B	41) A	42) E
43) B	44) C	45) B	46) E	47) E	48) D
49) A	50) B	51) D	52) D	53) E	54) A
55) B	56) B	57) A	58) C	59) A	60) B
61) D	62) E	63) D	64) A	65) C	66) A
67) A	68) C	69) C	70) C	71) C	72) D
73) C	74) E	75) A	76) D	77) A	78) A
79) A	80) D	81) B	82) E	83) A	84) B
85) A	86) B	87) E	88) A	89) B	90) E
91) C	92) E	93) C	94) E		

* 15. a) 2, 4 C
b) 0, 3 A