

Capítulo 16

Noções de corrente alternada

Quando se mantém uma corrente alternada em um circuito, os elétrons livres nos condutores oscilam com amplitudes de milésimos de milímetro.

▶ 16.1 Conceitos básicos

A fem induzida numa espira, que gira com velocidade angular constante num campo magnético uniforme, estabelece na espira uma corrente elétrica que varia periodicamente em intensidade e sentido.

▶ 16.2 Alternadores e dinamos. Transformadores

Os alternadores são geradores de corrente alternada e os dinamos, de corrente contínua.

Os transformadores modificam uma ddp alternada, aumentando-a ou diminuindo-a, conforme seja necessário.

A transmissão de energia elétrica por longas distâncias – partindo da usina geradora até seu destino final nas casas, nas indústrias e em outros estabelecimentos –, sem que ocorram grandes perdas, tornou-se possível com o uso de correntes alternadas que possibilitam aumentar ou diminuir as tensões elétricas por meio de transformadores.



Seção 16.1

Objetivos

- Analisar a variação da fem induzida em uma espira que gira com velocidade angular constante em um campo magnético uniforme.
- Caracterizar a corrente alternada e compreender como ocorre a sua geração em um circuito.

Termos e conceitos

- fem induzida em espira girante num campo magnético
- pulsação da corrente

Conceitos básicos

Considere, em um campo magnético uniforme de indução $\vec{B}$, uma espira de área A que pode girar graças a um dispositivo mecânico qualquer, em torno do eixo XY , com velocidade angular ω constante (**fig. 1**). Seja θ o ângulo entre a normal $\vec{n}$ ao plano da espira e o vetor $\vec{B}$. Admita que, no instante $t = 0$, a espira esteja perpendicular às linhas de indução. Nesse instante, $\theta = 0$ e o fluxo magnético é máximo:

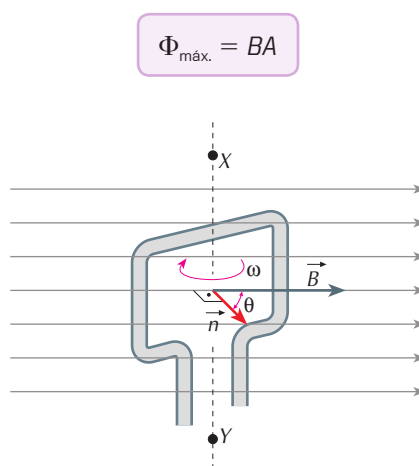


Figura 1. Espira girando em campo magnético uniforme, com velocidade angular constante.

Em um instante t posterior, a espira gira de um ângulo $\theta = \omega t$, sendo que o fluxo magnético nesse instante valerá $\Phi = BA \cdot \cos \theta$, podendo ser escrito na forma:

$$\Phi = \Phi_{\text{máx.}} \cdot \cos \omega t$$

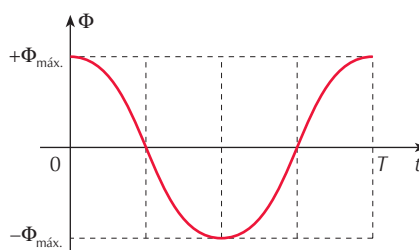


Figura 2. Gráfico da variação de Φ com o tempo em um período T .

No gráfico da **figura 2**, representamos a variação de Φ com o tempo para um período T , lembrando que $\omega = \frac{2\pi}{T}$.

Como o fluxo magnético varia com o tempo, existe, entre os terminais da espira, uma fem induzida e . Pode-se demonstrar que o valor instantâneo da fem induzida é:

$$e = \Phi_{\text{máx.}} \cdot \omega \cdot \sin \omega t$$

Essa função $e = f(t)$ é uma função senoidal do tempo cujo valor máximo é:

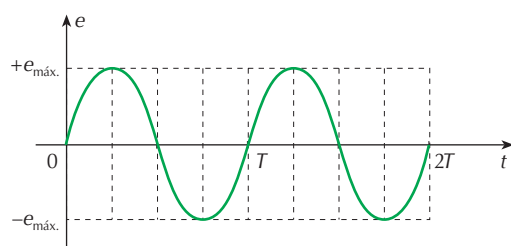
$$e_{\text{máx.}} = \Phi_{\text{máx.}} \cdot \omega$$

Portanto:

$$e = e_{\text{máx.}} \cdot \text{sen } \omega t$$

O gráfico de e , em função de t , está representado na **figura 3**.

A fem assume, periodicamente, valores positivos e negativos. Essa fem lança, em um circuito, uma corrente denominada **corrente alternada**, que varia, periodicamente, em intensidade e sentido.



◀ **Figura 3.** Gráfico da fem induzida entre os terminais da espira, em função do tempo, para dois períodos T .

Ao ligar um resistor de resistência R aos terminais da espira da **figura 1**, pela lei de Ohm, temos:

$$i = \frac{e}{R} \Rightarrow i = \frac{e_{\text{máx.}}}{R} \cdot \text{sen } \omega t$$

Mas $\frac{e_{\text{máx.}}}{R}$ representa a máxima intensidade da corrente, isto é:

$$i_{\text{máx.}} = \frac{e_{\text{máx.}}}{R}$$

Nessas condições, a intensidade da corrente i é dada por:

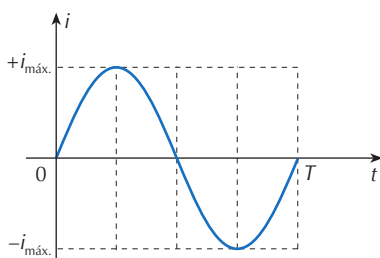
$$i = i_{\text{máx.}} \cdot \text{sen } \omega t$$

O gráfico de i , em função do tempo t , está representado na **figura 4**. Quando se mantém uma corrente alternada em um circuito, os elétrons livres oscilam nos condutores com amplitudes de milésimos de milímetros.

A grandeza ω , dada por:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

denomina-se **pulsção da corrente**. A frequência da corrente alternada é fixada em algumas dezenas de hertz; no caso da energia elétrica distribuída comercialmente no Brasil, $f = 60 \text{ Hz}$.

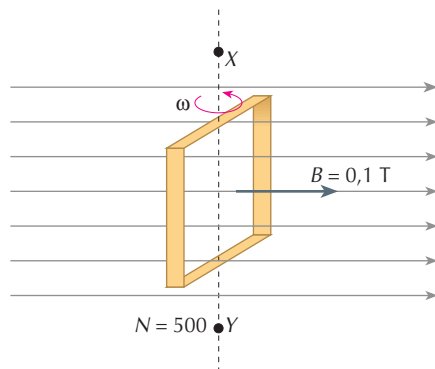


◀ **Figura 4.** Gráfico da intensidade de corrente alternada em um resistor, em função do tempo.



EXERCÍCIO RESOLVIDO

- R. 150** Uma bobina chata, formada de 500 espiras quadradas de área igual a 6 cm^2 , gira em torno de um eixo XY em um campo magnético uniforme, de intensidade $0,1 \text{ T}$. Se a espira efetua 3.600 revoluções por minuto, determine:
- a velocidade angular ω da bobina;
 - o valor máximo da fem induzida.



Solução:

- a) Como a bobina efetua 3.600 revoluções por minuto, a frequência do movimento vale:

$$f = \frac{3.600}{60} \text{ Hz} \Rightarrow f = 60 \text{ Hz}$$

A velocidade angular da bobina será:

$$\omega = 2\pi f \Rightarrow \omega = 2\pi \cdot 60 \Rightarrow \omega = 120\pi \text{ rad/s}$$

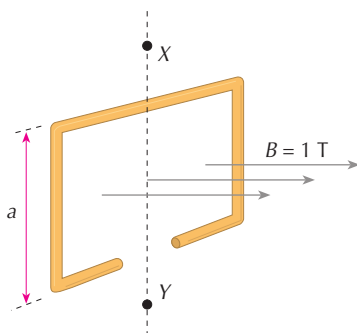
- b) Em cada espira da bobina de área $A = 6 \text{ cm}^2 = 6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$, o fluxo magnético máximo é dado por $\Phi_{\text{máx.}} = BA$, sendo induzida a fem máxima: $\Phi_{\text{máx.}} \cdot \omega$.
Como a bobina tem $N = 500$ espiras, o valor máximo da fem induzida será:

$$e_{\text{máx.}} = N \cdot \Phi_{\text{máx.}} \cdot \omega = NBA\omega \Rightarrow e_{\text{máx.}} = 500 \cdot 0,1 \cdot 6 \cdot 10^{-4} \cdot 120\pi \Rightarrow e_{\text{máx.}} \approx 11,3 \text{ V}$$

Resposta: a) $120\pi \text{ rad/s}$; b) $\approx 11,3 \text{ V}$

EXERCÍCIO PROPOSTO

- P. 393** (PUC-SP) Uma bobina de uma só espira, quadrada, de lado $a = 0,1 \text{ m}$, gira, com velocidade angular ω , em torno do eixo XY num campo magnético uniforme de intensidade 1 T . Para que seja induzida nessa bobina uma fem de valor máximo 10 V , calcule a velocidade angular da bobina.



Alternadores e dínamos. Transformadores

Objetivos

- Conhecer os elementos e o funcionamento dos alternadores e dos dínamos.
- Definir valor eficaz e potência média da corrente alternada.
- Conhecer os elementos e o funcionamento de um transformador.
- Definir a razão de transformação de um transformador.
- Conhecer o esquema de transformação e transporte de energia da usina até o consumo.

Termos e conceitos

- corrente pulsante
- corrente retificada
- efeito Joule
- corrente de Foucault

O esquema da **figura 5** representa um gerador de corrente alternada, denominado **alternador**. O conjunto de espiras é chamado armadura e seus terminais são soldados a anéis metálicos.

Em cada anel apoia-se uma escova, geralmente de grafite; a corrente é entregue ao circuito por essas escovas. Denomina-se coletor o conjunto formado pelos anéis e pelas escovas.

Nos circuitos, usamos o símbolo $\sim$ para indicar que, entre os terminais do gerador, temos uma ddp alternada.

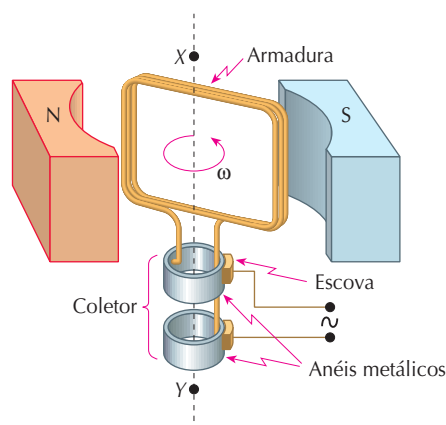


Figura 5. Esquema de um alternador.

Numa usina de geração de energia elétrica, a rotação da armadura é originada pela energia mecânica de uma turbina. Essa energia é obtida por meio da energia potencial do desnível de uma queda-d'água, em uma usina hidrelétrica (**fig. 6**). Já em uma usina termelétrica, a energia é produzida por meio de uma máquina a vapor.

Um grande avanço tecnológico foi conseguido pela construção de muitos acessórios que aperfeiçoaram o funcionamento dos alternadores. Chegou-se, então, aos enormes geradores das grandes centrais elétricas, que possibilitaram a utilização da energia elétrica em larga escala. Por mais complicados que sejam esses geradores, seu funcionamento baseia-se no alternador que acabamos de descrever.

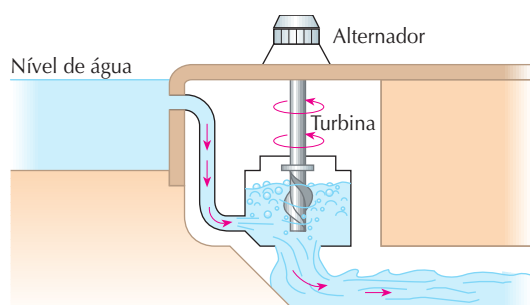


Figura 6. A rotação da armadura pode ser obtida a partir da energia potencial do desnível de uma queda mediante uma turbina.



Usina hidrelétrica de Itaipu (Paraná), exemplo de central de geração de energia elétrica. Na foto, em primeiro plano vê-se o vertedouro, por onde a água escoia do reservatório (a montante da barragem) para a saída de água (a jusante), controlando o desnível. Esse controle é fundamental para o funcionamento da usina.



Nesse tipo de alternador, a substituição do par de anéis por um comutador é um artifício simples, que permite manter a corrente em um mesmo sentido (fig. 7). O comutador é um anel metálico dividido em dois setores, cada um ligado aos terminais da armadura. Em cada meia-volta da armadura, o comutador troca o terminal ligado ao circuito externo. Isso origina uma corrente de mesmo sentido, apesar de variar de intensidade. Tal corrente é denominada corrente pulsante (fig. 7A).

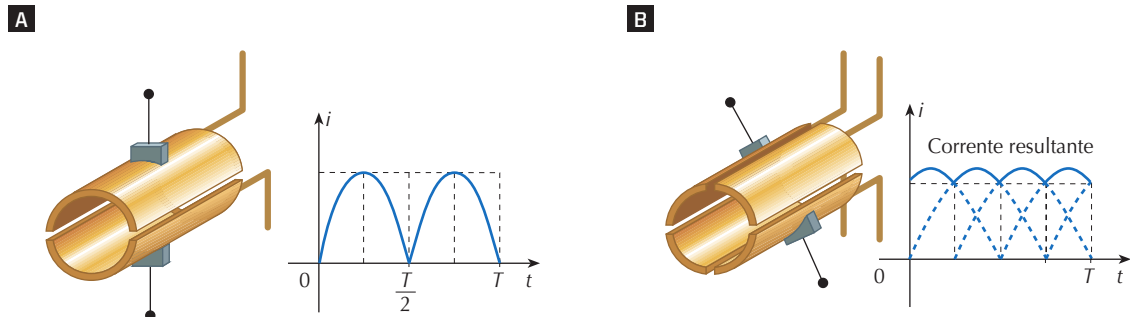


Figura 7. A substituição do par de anéis por um comutador permite obter corrente no mesmo sentido. (A) Corrente pulsante. (B) Corrente praticamente contínua.

Aumentando o número de setores do comutador, o que é possível pelo maior número de armaduras utilizadas, obtemos uma corrente praticamente contínua no circuito externo (fig. 7B). Dizemos que a corrente está retificada e o aparelho constitui um **dinamo**.

Entre na rede No endereço eletrônico <http://micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/generator/ac.html> (acesso em agosto/2009), você visualiza um gerador de corrente alternada em funcionamento. Na simulação, você pode alterar a frequência e ver como se modifica a ddp, por meio de um gráfico.

1 Valor eficaz e potência média da corrente alternada

Denomina-se **valor eficaz** da corrente alternada a intensidade $i_{\text{ef.}}$ de uma corrente contínua que, em intervalo de tempo igual ao período T da corrente alternada, dissipa igual quantidade de energia em um mesmo resistor.

Demonstra-se que:

$$i_{\text{ef.}} = \frac{i_{\text{máx.}}}{\sqrt{2}}$$

Os valores eficazes estendem-se às fems alternadas:

$$e_{\text{ef.}} = \frac{e_{\text{máx.}}}{\sqrt{2}}$$

Esses valores são tão importantes que servem para especificar as propriedades dos circuitos de corrente alternada. Por exemplo, em São Paulo, a distribuição domiciliar de energia elétrica é feita segundo 127 V eficazes, isto é, segundo uma fem alternada cujo valor eficaz é 127 V.

Em um aparelho elétrico, define-se **potência média (Pot_m) da corrente alternada** como a energia elétrica trocada em um período dividida por esse período. No caso de um resistor, prova-se que a potência média vale:

$$Pot_m = e_{\text{ef.}} \cdot i_{\text{ef.}}$$

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

- R. 151** Um resistor, de resistência elétrica $R = 20 \, \Omega$, é submetido a uma fem alternada $e = e_{\text{máx.}} \cdot \sin \omega t$, em que $e_{\text{máx.}} = 100 \, \text{V}$ e $\omega = 2\pi \cdot 60 \, \text{rad/s}$. Calcule a potência média dissipada no resistor.

Solução:

Sendo $e = e_{\text{máx.}} \cdot \sin \omega t$, com $e_{\text{máx.}} = 100 \, \text{V}$, o valor eficaz da fem será: $e_{\text{ef.}} = \frac{e_{\text{máx.}}}{\sqrt{2}}$

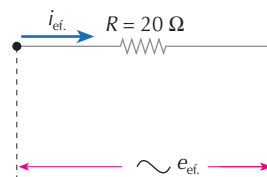
No resistor $R = 20 \, \Omega$, a corrente eficaz será $i_{\text{ef.}} = \frac{e_{\text{ef.}}}{R}$ e a potência média vale:

$$\text{Pot}_m = e_{\text{ef.}} \cdot i_{\text{ef.}} \Rightarrow \text{Pot}_m = \frac{e_{\text{ef.}} \cdot e_{\text{ef.}}}{R} \Rightarrow \text{Pot}_m = \frac{e_{\text{ef.}}^2}{R}$$

Assim:

$$\text{Pot}_m = \frac{\left(\frac{e_{\text{máx.}}}{\sqrt{2}}\right)^2}{R} \Rightarrow \text{Pot}_m = \frac{e_{\text{máx.}}^2}{2R} \Rightarrow \text{Pot}_m = \frac{(100)^2}{2 \cdot 20} \Rightarrow \boxed{\text{Pot}_m = 250 \, \text{W}}$$

Resposta: 250 W



- R. 152** Um resistor $R = 50 \, \Omega$, percorrido por uma corrente alternada senoidal, de frequência 60 Hz, dissipa a potência média de 800 W. Determine como varia em função do tempo a fem alternada aplicada no resistor.

Solução:

A fem instantânea aplicada ao resistor será dada por uma função do tipo:

$$e = e_{\text{máx.}} \cdot \sin \omega t \quad \textcircled{1}$$

Como a frequência é 60 Hz, temos:

$$\omega = 2\pi f \Rightarrow \omega = 2\pi \cdot 60 \Rightarrow \omega = 120\pi \, \text{rad/s} \quad \textcircled{2}$$

Por outro lado, a potência média no resistor é dada por:

$$\text{Pot}_m = \frac{e_{\text{ef.}}^2}{R} \Rightarrow e_{\text{ef.}}^2 = \text{Pot}_m \cdot R \Rightarrow e_{\text{ef.}} = \sqrt{\text{Pot}_m \cdot R} \Rightarrow e_{\text{ef.}} = \sqrt{800 \cdot 50} \Rightarrow e_{\text{ef.}} = 200 \, \text{V}$$

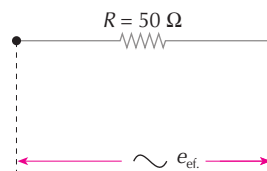
Sendo $e_{\text{máx.}} = e_{\text{ef.}} \cdot \sqrt{2}$, temos:

$$e_{\text{máx.}} = 200\sqrt{2} \, \text{V} \quad \textcircled{3}$$

Substituindo os resultados de ② e ③ em ①, vem:

$$\boxed{e = 200\sqrt{2} \cdot \sin(120\pi t)} \text{ (em volts)}$$

Resposta: $e = 200\sqrt{2} \cdot \sin(120\pi t)$, em volts



EXERCÍCIOS PROPOSTOS

- P. 394** Determine a expressão da intensidade instantânea de uma corrente alternada senoidal de frequência $f = 60 \, \text{Hz}$ e intensidade eficaz 4 A.
- P. 395** Um resistor de resistência $R = 10 \, \Omega$ é percorrido por uma corrente alternada $i = i_{\text{máx.}} \cdot \sin \omega t$, em que $i_{\text{máx.}} = 5 \, \text{A}$ e $\omega = 2\pi \cdot 60 \, \text{rad/s}$. Calcule a potência média dissipada no resistor.
- P. 396** Uma fem alternada $e = 60 \cdot \sin(2\pi \cdot 60t)$, em volts, é aplicada num resistor de $20 \, \Omega$. Determine a potência média dissipada no resistor.
- P. 397** (Mackenzie-SP) Uma bobina chata, formada de 500 espiras quadradas, de lado $a = 20 \, \text{cm}$, gira em torno de um eixo XY com velocidade angular ω . A bobina encontra-se em uma região onde existe um campo magnético uniforme de intensidade 0,2 T, perpendicular a XY. Cada espira tem uma resistência de 0,04 Ω . Quando os terminais da bobina estão em curto-circuito, ela é percorrida por uma corrente elétrica de valor eficaz igual a 3,5 A. Calcule a velocidade angular ω da bobina.

2 Transformadores

O **transformador** é um aparelho que permite modificar uma ddp alternada, aumentando-a ou diminuindo-a conforme a conveniência (**fig. 8**).

O transformador consta de duas bobinas independentes, enroladas sobre um mesmo núcleo de ferro. Este é laminado para minimizar as correntes de Foucault. A bobina que recebe a ddp a ser transformada chama-se **primário** (P) e a outra, que fornece a ddp transformada, chama-se **secundário** (S). A corrente alternada no primário origina um fluxo magnético alternado no núcleo. Esse fluxo atravessa o secundário, originando nele uma corrente alternada induzida. Na **figura 8**, abaixo de um transformador, representamos seu símbolo convencional.

Seja N_p o número de espiras do primário e N_s o do secundário, e, ainda, U_p e U_s os valores eficazes das respectivas ddp's, demonstra-se a seguinte relação:

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

chamada **razão de transformação**.

- Se $N_s > N_p$, o transformador é um elevador de ddp.
- Se $N_s < N_p$, o transformador é um abaixador de ddp.

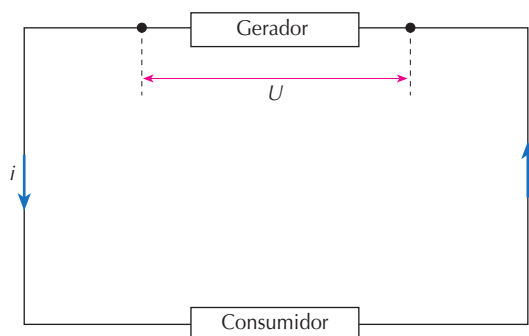
Nos bons transformadores, a potência média no primário é aproximadamente igual àquela que alimenta o secundário: $Pot_p \approx Pot_s$

Portanto: $U_p \cdot i_p \approx U_s \cdot i_s$

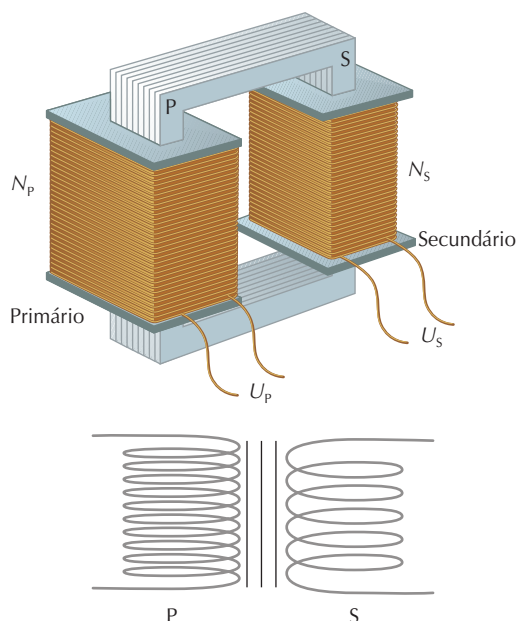
A dissipação de energia nos transformadores é devida, principalmente, ao efeito Joule nos condutores dos enrolamentos e às correntes de Foucault no núcleo do transformador.

O fato de um transformador poder modificar a ddp de uma corrente alternada encontra aplicações importantes. Uma das principais aplicações é no transporte da energia elétrica através de enormes distâncias, a partir de usinas geradoras até os grandes centros urbanos.

Para compreender melhor essa aplicação, considere o circuito simples da **figura 9**. A potência lançada pelo gerador $Pot_g = U \cdot i$ deve chegar ao consumidor através de uma linha cujos fios condutores têm resistência R . A potência dissipada nessa linha será $Pot_d = R \cdot i^2$, devendo ser a menor possível. Isso poderia ser obtido utilizando-se fios de resistência muito pequena.



◀ **Figura 9.** Circuito simples, formado por gerador, consumidor e linha de transmissão.



▶ **Figura 8.** Acima, um transformador e, abaixo, sua representação convencional.

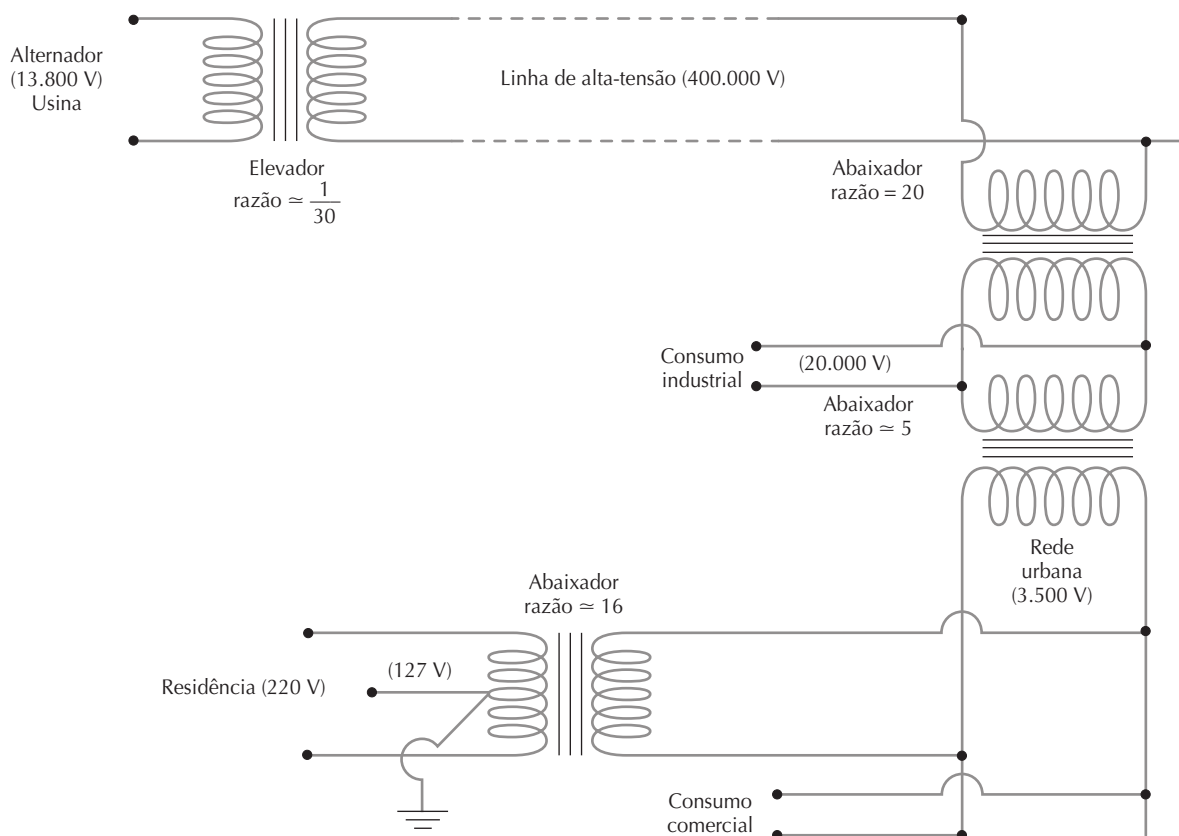
Lembrando que $R = \rho \cdot \frac{L}{A}$, teremos R pequeno, quando ρ for pequeno, ou A grande, já que o comprimento L não pode ser modificado.

Para se obter R pequeno, em função daquelas variáveis (ρ e A), têm-se os seguintes inconvenientes: primeiro, o elevado custo do material, pois quanto menor a resistividade mais caro será o fio; segundo, uma área A maior exigiria fios muito grossos e, em consequência, grande peso por linha.

Procura-se, então, diminuir o valor da corrente i , mas, para que a potência lançada $Pot_e = U \cdot i$ não diminua, a ddp U deve ser bastante elevada.

Isso é exatamente o que se faz nas linhas de transmissão, ou seja, utilizam-se altas ddps para transmitir energia elétrica. Na prática, isso só é possível com a corrente alternada e com o uso de transformadores.

Na **figura 10**, esquematizamos uma sequência de transformações que ocorrem em uma linha de transmissão de energia, desde a usina até o consumo. O alternador da usina fornece energia elétrica, sob ddp eficaz, relativamente baixa (cerca de 13.800 V). Um transformador, de razão aproximadamente $\frac{1}{30}$, eleva a ddp para 400.000 V, possibilitando o transporte de energia elétrica a centenas de quilômetros de distância, com dissipações não excessivas. Em uma subestação, um transformador, de razão 20, abaixa a ddp eficaz para 20.000 V, valor utilizado para fins industriais. Em seguida, já na cidade, outra subestação, com transformador de razão aproximadamente 5, abaixa a ddp para 3.500 V, valor usado para fins comerciais. Finalmente, outro transformador, de razão aproximadamente 16, reduz essa ddp a 220 V, para uso residencial. Obtém-se ainda uma ddp de 127 V com a utilização de uma derivação no secundário do transformador.

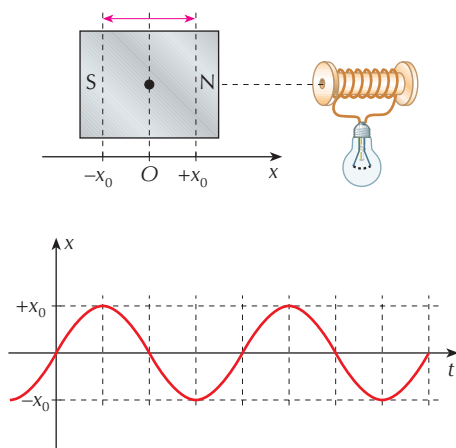


▲ **Figura 10.** Esquema de um transporte de energia elétrica da usina até o consumo. Os transformadores estão representados pelos seus símbolos convencionais.

🔗 **Entre na rede** No endereço eletrônico <http://www.micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/transformer/index.html> (acesso em agosto/2009), você pode analisar o funcionamento de um transformador.

TESTES PROPOSTOS

- T. 403** (Fuvest-SP) Um ímã é colocado próximo a um arranjo, composto por um fio longo enrolado em um carretel e ligado a uma pequena lâmpada, conforme a figura.

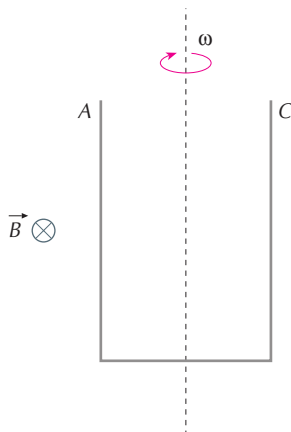


O ímã é movimentado para a direita e para a esquerda, de tal forma que a posição x de seu ponto médio descreve o movimento indicado pelo gráfico, entre $-x_0$ e $+x_0$.

Durante o movimento do ímã, a lâmpada apresenta luminosidade variável, acendendo e apagando. Observa-se que a luminosidade da lâmpada:

- é máxima quando o ímã está mais próximo do carretel ($x = +x_0$).
- é máxima quando o ímã está mais distante do carretel ($x = -x_0$).
- independe da velocidade do ímã e aumenta à medida que ele se aproxima do carretel.
- independe da velocidade do ímã e aumenta à medida que ele se afasta do carretel.
- depende da velocidade do ímã e é máxima quando seu ponto médio passa próximo a $x = 0$.

- T. 404** (UFV-MG) Um arame, dobrado em forma da letra U e com extremidades A e C, gira com velocidade angular ω em uma região onde existe um campo magnético uniforme B , perpendicular ao plano da página, como ilustrado abaixo.



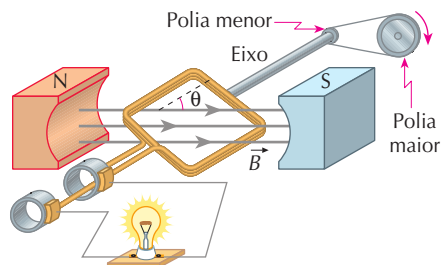
Analise as seguintes afirmativas relativas a essa situação:

- Se a velocidade angular ω aumentar, mantendo-se B constante, o módulo máximo da diferença de potencial entre as extremidades do arame também aumentará.
- Se a direção de B mudar para uma direção paralela à página e perpendicular ao eixo de rotação, mantendo-se todas as outras grandezas constantes, a diferença de potencial entre as extremidades do arame passará a ser nula.
- Se a velocidade angular ω for mantida constante e o módulo de B diminuir, o módulo máximo da diferença de potencial entre as extremidades do arame diminuirá.

Pode-se, então, afirmar que:

- apenas I e II são verdadeiras.
- apenas I é verdadeira.
- apenas III é verdadeira.
- apenas I e III são verdadeiras.
- apenas II e III são verdadeiras.

- T. 405** (UFBA) O dispositivo representado na figura abaixo é constituído por uma espira retangular rígida, de área A , que fica imersa no campo magnético B , produzido pelo ímã. Considere a polia maior girando no sentido indicado, com velocidade angular constante ω .



Com base nessas informações e na análise da figura, pode-se concluir:

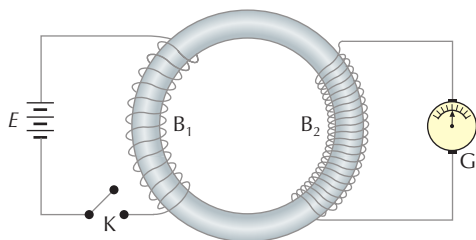
- O eixo acoplado à polia menor se movimenta com frequência $f = \frac{\omega}{2\pi}$.
- A espira realiza, num intervalo de tempo Δt , um número de voltas $n = \frac{\omega \cdot \Delta t}{2\pi}$.
- A espira é atravessada por um fluxo magnético $\Phi = |\vec{B}| \cdot A \cdot \cos \theta$, em que θ é o ângulo entre a direção de $\vec{B}$ e a normal ao plano da espira.
- A espira é percorrida por uma corrente induzida no sentido horário, ao passar pela posição indicada.
- Os fios de ligação são percorridos por uma corrente alternada, que mantém a lâmpada acesa.
- O dispositivo funciona como um motor elétrico, convertendo energia elétrica em energia cinética.

Dê como resposta a soma dos números que precedem as conclusões corretas.

T. 406 (UFSCar-SP) No final do século XIX, uma disputa tecnológica sobre qual a corrente elétrica mais adequada para transmissão e distribuição da energia elétrica, gerada em usinas elétricas, tornou clara a vantagem do uso da corrente alternada, em detrimento da corrente contínua. Um dos fatores decisivos para essa escolha foi a possibilidade da utilização de transformadores na rede de distribuição de eletricidade. Os transformadores podem aumentar ou diminuir a tensão a eles fornecida, permitindo a adequação dos valores da intensidade da corrente transmitida e reduzindo perdas por efeito Joule, **mas só funcionam em corrente alternada**. O princípio físico em que se baseia o funcionamento dos transformadores e a característica da corrente alternada que satisfaz a esse princípio são, respectivamente:

- a conservação da carga e o movimento oscilante dos portadores de carga elétrica.
- a indução eletrostática e o movimento contínuo dos portadores de carga elétrica.
- a indução eletrostática e o movimento oscilante dos portadores de carga elétrica.
- a indução eletromagnética e o movimento contínuo de portadores de carga elétrica.
- a indução eletromagnética e o movimento oscilante dos portadores de carga elétrica.

T. 407 (Vunesp) A figura representa uma das experiências de Faraday que ilustram a indução eletromagnética, em que E é uma bateria de tensão constante, K é uma chave, B_1 e B_2 são duas bobinas enroladas num núcleo de ferro doce e G é um galvanômetro ligado aos terminais de B_2 que, com o ponteiro na posição central, indica corrente elétrica de intensidade nula.



Quando a chave K é ligada, o ponteiro do galvanômetro se desloca para a direita e:

- assim se mantém até a chave ser desligada, quando o ponteiro se desloca para a esquerda por alguns instantes e volta à posição central.
- logo em seguida volta à posição central e assim se mantém até a chave ser desligada, quando o ponteiro se desloca para a esquerda por alguns instantes e volta à posição central.
- logo em seguida volta à posição central e assim se mantém até a chave ser desligada, quando o ponteiro volta a se deslocar para a direita por alguns instantes e volta à posição central.
- para a esquerda com uma oscilação de frequência e amplitude constantes e assim se mantém até a chave ser desligada, quando o ponteiro volta à posição central.
- para a esquerda com uma oscilação cuja frequência e amplitude se reduzem continuamente até a chave ser desligada, quando o ponteiro volta à posição central.

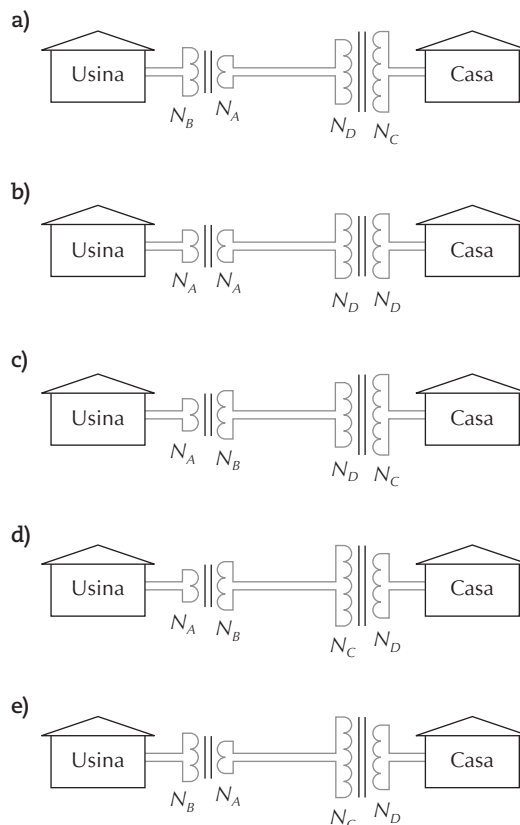
T. 408 (UFSM-RS) Para obter uma voltagem de 120 V, um leigo em Eletromagnetismo ligou aos terminais de uma bateria de 12 V o primário de 400 espiras de um transformador cujo secundário tinha 4.000 espiras. A voltagem desejada não apareceu no secundário, porque:

- o número de espiras do secundário deveria ser 120.
- o número de espiras do primário deveria ser 120 e do secundário, 12.
- os papéis do primário e do secundário foram trocados.
- a bateria não tem energia suficiente para a transformação.
- o transformador não funciona com corrente contínua.

T. 409 (Ceuma-MA) Aplicando-se uma tensão alternada de valor eficaz 120 volts ao primário de um transformador elétrico, com 100% de rendimento construído com 200 espiras de fio no primário e 400 no secundário, obtém-se uma tensão alternada de saída de valor eficaz, em volts, igual a:

- 240
- 120
- 60
- 30
- 15

T. 410 (UFV-MG) As figuras abaixo representam diferentes arranjos de transformadores num sistema de transmissão de energia elétrica. N_A , N_B , N_C , e N_D representam o número de voltas dos enrolamentos nos transformadores. Supondo que $N_A < N_B$ e que $N_C > N_D$, o arranjo correto de transformadores para a transmissão de energia elétrica desde a usina até a casa, por uma rede muito longa, é:



- T. 411** (UFRN) Transformadores de voltagem são utilizados em redes de distribuição de energia elétrica, em reguladores de voltagem para eletrodomésticos, em eliminadores de pilha e no interior de vários aparelhos eletrônicos. Nas fotos reproduzidas abaixo, são mostrados dois transformadores idênticos, em que o número de espiras no enrolamento primário é o dobro do número de espiras no enrolamento secundário.



Na primeira foto, o transformador está ligado à rede elétrica de 220 V, 60 Hz, e, na segunda foto, o transformador está ligado a uma bateria automotiva de 12 V. Os valores das medidas das voltagens nos terminais dos enrolamentos secundários dos transformadores das duas figuras, realizadas com um multímetro digital, são, respectivamente:

- a) 110 V e 6 V
- b) 440 V e 0 (zero) V
- c) 110 V e 0 (zero) V
- d) 440 V e 24 V

- T. 412** As linhas de transmissão de energia a longas distâncias operam sob altas ddps, porque:

- a) são percorridas por correntes de maiores intensidades.
- b) favorecem a transmissão de corrente contínua.
- c) há menos perda de energia por efeito Joule (aquecimento dos fios).
- d) menor quantidade de energia elétrica se transfere ao ar atmosférico.
- e) é possível utilizar fios com maior área de seção transversal.

- T. 413** (UEPB) O cientista inglês Michael Faraday (1791-1867) dedicou seus estudos a diversos ramos da Física, entre eles o Eletromagnetismo. Nesse ramo, sua grande contribuição foi, sem dúvida, a descoberta do fenômeno da indução eletromagnética, que possibilitou o surgimento e o desenvolvimento dos grandes geradores elétricos e transformadores, equipamentos imprescindíveis aos atuais sistemas elétricos de energia, utilizados em todo o mundo. A respeito dessas informações, analise as proposições a seguir.

- I. O fenômeno da indução magnética consiste na geração de uma força eletromotriz entre os terminais de um fio condutor quando submetido a um fluxo magnético que varia com o tempo.
- II. Os transformadores podem aumentar ou diminuir a tensão a eles fornecida, permitindo a adequação dos valores da intensidade de corrente transmitida e reduzindo perdas por efeito Joule, mas só funcionam em corrente contínua.
- III. A preferência pela distribuição de energia elétrica através de corrente alternada em vez de corrente contínua deve-se à possibilidade de transformar e ajustar os valores da corrente e da tensão de acordo com a necessidade.

A partir da análise feita, assinale a alternativa correta:

- a) Apenas as proposições I e II são verdadeiras.
- b) Apenas as proposições I e III são verdadeiras.
- c) Apenas a proposição I é verdadeira.
- d) Apenas a proposição II é verdadeira.
- e) Todas as proposições são verdadeiras.

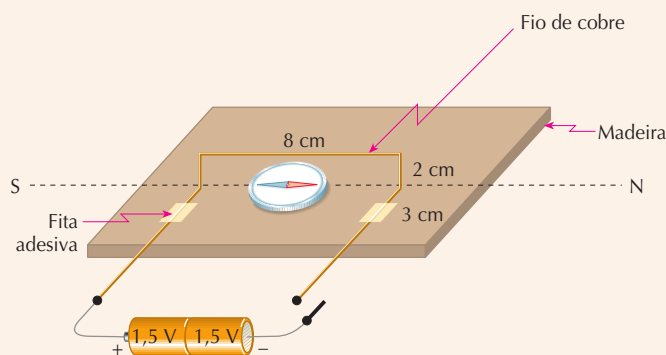
Atividade experimental

Realize a experiência com supervisão do seu professor

Experiência de Oersted

Você poderá reproduzir a clássica experiência de Oersted, mostrando que um fio percorrido por uma corrente elétrica cria um campo magnético. Utilize um fio de cobre esmaltado ou encapado, com diâmetro de 1,5 mm (com cerca de 20 cm), duas pilhas alcalinas de 1,5 V associadas em série, uma bússola, fita adesiva, fios de ligação e um suporte de madeira.

Dobre o fio de cobre como está indicado na figura. Com fita adesiva, prenda-o no suporte de madeira. Antes de efetuar as ligações, raspe as extremidades do fio com uma lixa (de unha, por exemplo), para remover o esmalte, ou desencape-o.



- a) Coloque a bússola sob o fio, de modo que a agulha magnética fique paralela a ele, mantendo a direção norte-sul (veja a figura). Ligue uma das extremidades do fio de cobre a um dos terminais da associação de pilhas. Efetue um contato rápido da outra extremidade do fio com o outro terminal da associação (o contato não pode ser demorado para não descarregar as pilhas). Observe que, quando o circuito é fechado, a agulha desvia-se da sua posição inicial.

Faça o que se pede.

- Explique por que a agulha da bússola desviou-se quando o circuito foi fechado.
- Usando a regra da mão direita nº 1, determine o sentido do campo magnético criado pela corrente e verifique se essa determinação teórica está de acordo com o resultado da experiência.

- b) Repita o procedimento, invertendo o sentido da corrente (trocando os terminais da associação ligados ao fio de cobre). Observe como a agulha desviou-se agora.

- O desvio da agulha foi idêntico ao do item anterior? Por quê?
- Usando a regra da mão direita nº 1, determine o sentido do campo magnético criado pela corrente e verifique se essa determinação teórica está de acordo com o resultado da experiência.

Atividade experimental

Realize a experiência com supervisão do seu professor

Campo magnético de um solenoide

Com a utilização de um fio de cobre esmaltado ou encapado com cerca de 50 cm de comprimento e 1,5 mm de diâmetro, quatro pequenas bússolas, um tubo cilíndrico de plástico ou de papelão, com diâmetro de aproximadamente 5 cm, duas pilhas alcalinas de 1,5 V associadas em série, fios de ligação, um suporte de madeira e uma faixa de cartão ou de cartolina, cuja largura seja pouco menor que o diâmetro do tubo cilíndrico, você poderá analisar as características do campo magnético criado por um solenoide.

Enrole o fio de cobre sobre o tubo cilíndrico, como indica a figura A. Raspe suas extremidades com uma lixa, para remover o esmalte, ou desencape-o. Retire o tubo cilíndrico. O fio de cobre, do modo como está enrolado, constitui um solenoide. Dobre os extremos do fio do solenoide e fixe-os com fita adesiva no suporte de madeira, como é mostrado na figura B.

Introduza a faixa de cartão no interior do solenoide, de maneira que ela se mantenha horizontal. Disponha as bússolas sobre a faixa, conforme indica a figura C, mantendo o eixo do solenoide na direção leste-oeste.

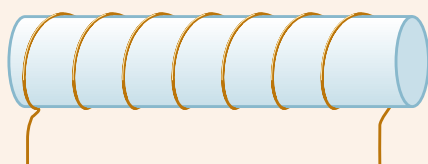


Figura A

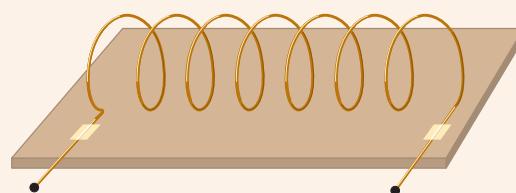


Figura B

- a) Ligue uma das extremidades do fio do solenoide a um dos terminais da associação de pilhas. Em seguida, estabeleça um contato não muito demorado (para não descarregar as pilhas) da outra extremidade do fio do solenoide com o terminal livre da associação. Observe como as agulhas das bússolas se posicionam.

Responda

- Qual o polo norte e qual o polo sul do campo magnético que se estabelece no solenoide?
- Essa polaridade está de acordo com a determinação teórica? Comprove utilizando a regra da mão direita nº 1.

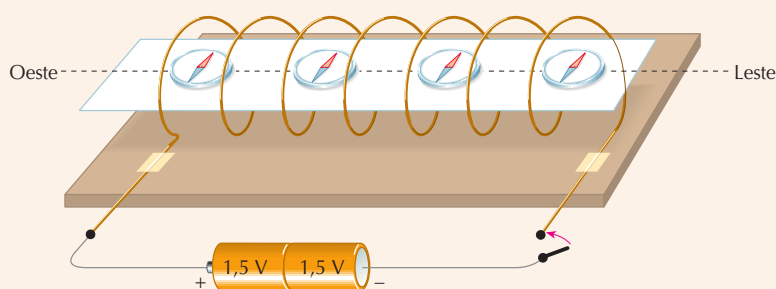


Figura C

- b) Repita o procedimento, invertendo o sentido da corrente, e observe como as agulhas das bússolas se posicionam agora.

**Responda**

- Nessa segunda situação, com a inversão da corrente, alterou-se a polaridade do campo do solenoide? Como se deu essa alteração? Como você chegou a essa conclusão?
- A nova polaridade está de acordo com a determinação teórica? Comprove utilizando a regra da mão direita nº 1.
- Nas duas experiências, alguma região do campo magnético do solenoide pode ser considerada um campo uniforme? Qual? Como você chegou a essa conclusão?

Atividade experimental

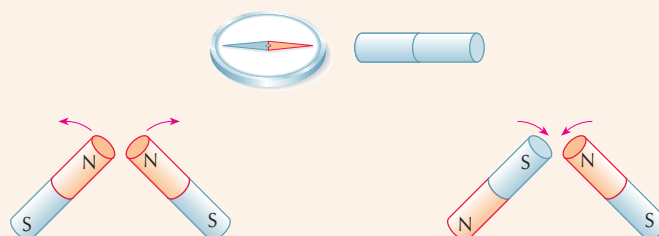
Realize as experiências com supervisão do seu professor

Experimentos com ímãs

Utilizando dois ímãs em forma de barra, um ímã em forma de ferradura, uma bússola, limalha de ferro (fragmentos de ferro) e uma fina placa de vidro ou plástico transparente, você poderá realizar uma série de experiências para comprovar as propriedades dos ímãs e as características dos campos magnéticos que eles criam.

1ª experiência

Aproxime a bússola de cada um dos ímãs, a fim de determinar sua polaridade. Indique, com uma pequena etiqueta autocolante, o polo norte e o polo sul de cada um dos ímãs. Aproxime os polos dos ímãs, dois a dois, a fim de confirmar a determinação feita: polos de mesmo nome devem repelir-se e de nomes contrários devem atrair-se.



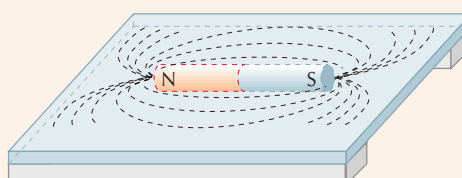
Responda

- Um ímã em forma de barra pode ter dois polos de mesmo nome? Por quê?
- É possível separar os dois polos de um ímã, isto é, obter partes com um polo só? Imagine uma experiência que possa comprovar a sua resposta.

2ª experiência

Inicialmente, apoie duas das laterais da placa de vidro em dois suportes (por exemplo, em duas pequenas ripas de madeira), de modo a ficar livre sua parte inferior, onde serão colocados os ímãs.

Na região sob a placa, coloque um dos ímãs. Ele deve ficar em contato com a placa. Na parte de cima, espalhe a limalha de ferro. Com pequenas pancadas na placa, você conseguirá fazer com que os fragmentos de ferro se distribuam conforme as linhas de indução do campo magnético do ímã. À figura obtida dá-se o nome de espectro do campo magnético do ímã.

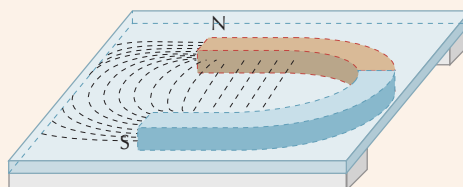


Responda

- Se não estivessem indicados, seria possível, por meio do espectro magnético obtido, saber qual o polo norte e qual o polo sul do ímã? Por quê?
- O campo magnético desse ímã pode ser considerado uniforme? Por quê?

3ª experiência

Repita a experiência anterior, colocando, sob a placa de vidro, o ímã em forma de ferradura.

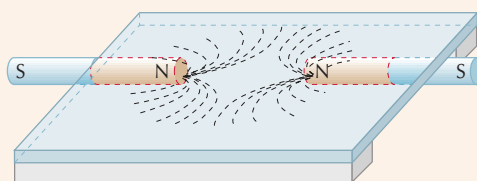


Responda

- O campo magnético visualizado por meio da limalha de ferro é igual ao do ímã em forma de barra? Quais as diferenças, se houver?
- Alguma região desse campo pode ser considerada um campo magnético uniforme? Qual? Por quê?

4ª experiência

Coloque agora, sob a placa, a certa distância um do outro, dois polos de mesmo nome de dois ímãs diferentes (dois polos norte ou dois polos sul). Proceda como na 2ª experiência. Observe o desenho das linhas de indução.



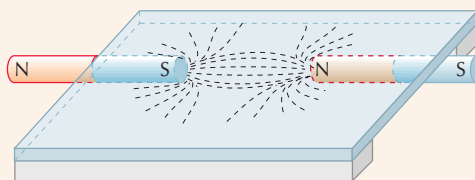
Responda

- Por que a figura obtida é chamada espectro de repulsão?
- Sem a indicação, seria possível reconhecer se são dois polos norte ou dois polos sul? Por quê?

5ª experiência

Repita a experiência anterior, colocando a certa distância dois polos de nomes contrários.

Proceda como na 2ª experiência. Observe o desenho das linhas de indução.



Responda

- Por que a figura obtida é chamada espectro de atração?
- Sem a indicação, seria possível identificar, só pelo espectro, qual o polo norte e qual o polo sul? Por quê?

HISTÓRIA DA FÍSICA

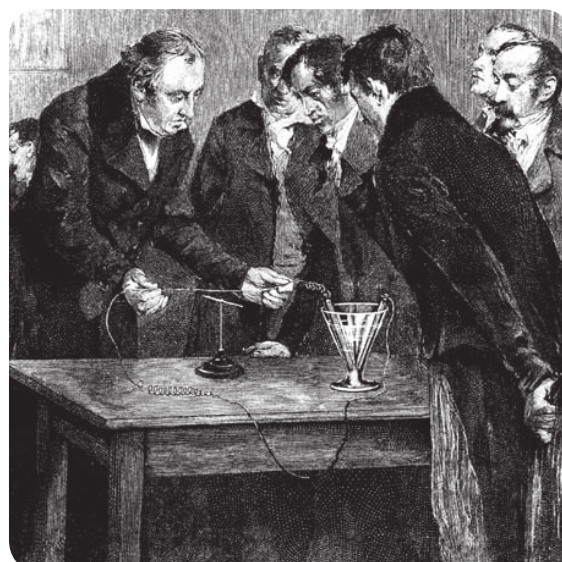
Do magnetismo ao eletromagnetismo

Pouco se sabe a respeito da origem do magnetismo. Uma lenda estabelece que um anônimo pastor de ovelhas da Grécia antiga fez a primeira observação de um fenômeno magnético, ao perceber que a extremidade metálica de seu cajado ficava presa ao se aproximar de determinada pedra. Presume-se que aquela pedra fosse um pedaço de magnetita, um ímã natural. Entretanto, outras referências históricas fornecem versões diferentes para o advento do magnetismo. Parece que os chineses, considerados os inventores da bússola, e outros povos antigos havia muito tempo lidavam com fenômenos magnéticos. O estudo sistemático desses fenômenos, na Europa, teve início com o cientista inglês William Gilbert (1544-1603), contemporâneo de Galileu, que o apontou como o criador do método experimental. Em 1600, publicou sua principal obra, *De magnete*, na qual descreveu várias experiências magnéticas, chegando à conclusão, entre outras, de que a Terra era uma grande esfera imantada.

O nascimento do Eletromagnetismo se deu com a clássica experiência do físico dinamarquês HANS CHRISTIAN OERSTED (1777-1851). Em 1820, ele verificou que, ao colocar uma bússola sob um fio elétrico, a agulha se desviava quando se fazia passar uma corrente pelo fio. A partir desse fato, foi possível estabelecer a conexão entre a corrente elétrica e os fenômenos magnéticos, permitindo um extraordinário desenvolvimento científico nessa área.

Vários cientistas se destacaram nesse processo. O físico e matemático francês ANDRÉ-MARIE AMPÈRE (1775-1836) construiu o primeiro eletroímã. Esse dispositivo foi fundamental para a posterior invenção e aperfeiçoamento de vários aparelhos, como o telefone, o microfone, o telégrafo etc. MICHAEL FARADAY (1791-1867), notável cientista autodidata inglês, dedicou-se a diversos ramos da Física. No Eletromagnetismo, sua grande contribuição foi a descoberta do fenômeno da **indução eletromagnética**, que serviu de base para que pudessem surgir os geradores mecânicos de eletricidade e os transformadores.

Oersted realizando experiências sobre eletricidade, em 1819; xilogravura de 1890.



AKG/LATINSTOCK

Parte II
Unidade C
Capítulo 13 Campos magnéticos

Merecem ainda ser lembrados, por sua contribuição à evolução do Eletromagnetismo: o físico norte-americano JOSEPH HENRY (1797-1878), que continuou os trabalhos de Faraday sobre a indução eletromagnética; HEINRICH LENZ (1804-1865), físico russo, que também se dedicou a estudar esse fenômeno; WILHELM WEBER (1804-1891), físico alemão; NICOLAS TESLA (1856-1943), físico croata, entre outros.

Por fim, uma menção especial a JAMES CLERK MAXWELL (1831-1879), notável físico escocês, cuja parti-

cipação, se não foi exatamente prática, teve importância teórica fundamental. Maxwell conseguiu estabelecer uma teoria matemática consistente, em sua célebre obra *Tratado sobre eletricidade e magnetismo* (publicada em 1873), na qual generalizou os princípios da Eletricidade descobertos antes por Coulomb, Ampère, Faraday e outros. A descoberta posterior das ondas eletromagnéticas constituiu a verificação experimental do acerto da teoria de Maxwell.

Michael Faraday em seu laboratório; aquarela do século XIX.



SCIENCE SOURCE/PILATINSTOCK

Enquanto isso...

Consulte a **Linha do tempo**, nas páginas finais do livro, onde são destacados os principais acontecimentos históricos que ocorreram na época de Oersted, Ampère, Faraday, Maxwell e personagens importantes, em vários ramos de atividade, que viveram nesse mesmo período (séculos XVIII e XIX). Dentre eles, salientamos:

- Georg Wilhelm Friedrich **Hegel** (1770-1831), filósofo alemão, considerado o último filósofo clássico famoso. Uma de suas obras mais importantes, de 1807, é *Fenomenologia do espírito*.
- Honoré de **Balzac** (1799-1850), escritor francês, é um dos maiores nomes do realismo na literatura. Sua obra *A comédia humana* reúne mais de 90 romances e contos, buscando retratar a sociedade burguesa da França em sua época.
- Eugène **Delacroix** (1798-1863), pintor francês, é considerado o mais importante nome do romantismo francês. Seu quadro mais famoso é *A liberdade guiando o povo*. Em sua honra, existe em Paris o afamado Museu Delacroix.
- Simón **Bolívar** (1783-1830), militar venezuelano, foi responsável pela independência de vários territórios da América espanhola. É conhecido nos países de língua hispânica como “El Libertador”.

- Richard **Wagner** (1813-1883), compositor alemão, trouxe inúmeras inovações para a música, tanto em termos de composição quanto em termos de orquestração. É sua, por exemplo, a ideia de colocar a orquestra num fosso em frente ao palco, para evitar que se tornasse uma barreira entre as vozes dos cantores e a plateia. Uma de suas óperas mais conhecidas é *O anel do nibelungo*, na qual reconstrói partes da mitologia germânica.
- Auguste **Comte** (1798-1857), filósofo e sociólogo francês, é o fundador da corrente de pensamento conhecida como Positivismo, segundo a qual deve-se procurar entender as coisas do mundo com olhos científicos, afastando-se de tudo o que não seja exato e comprovável. O lema da bandeira brasileira “Ordem e Progresso” é de inspiração positivista.
- Charles **Darwin** (1809-1882), naturalista inglês, é o criador da teoria da evolução pela seleção natural, que se tornou a explicação científica para a diversidade de espécies na natureza. Sua obra mais importante é *A origem das espécies*, publicada em 1859. Ingressou na *Royal Society* e continuou a sua pesquisa, escrevendo uma série de outros livros sobre plantas e animais, incluindo a espécie humana, com destaque para *A descendência do homem* e *Seleção em relação ao sexo*.

Atividade experimental

Realize a experiência com supervisão do seu professor

Construção de um eletroímã

Você pode construir um eletroímã e analisar suas características, dispondo de um fio de cobre fino (diâmetro de 0,5 mm), com cerca de 1 m, um prego de ferro de tamanho grande, uma bússola, duas pilhas alcalinas de 1,5 V associadas em série, pequenos objetos de ferro (alfinetes, cliques etc.), fita adesiva e um suporte de madeira.

- a) Enrole o fio de cobre no prego, de modo a constituir uma bobina longa (solenóide), com aproximadamente 40 espiras. Retire o prego e raspe as extremidades do fio de cobre que serão ligadas às pilhas. Fixe a bobina ao suporte de madeira, dobrando os extremos do fio e utilizando fita adesiva (figura A). Ligue as extremidades da bobina aos terminais da associação de pilhas. Aproxime a bússola da bobina, mantendo-a a cerca de 4 cm dela (figura B). Observe e registre o desvio sofrido pela agulha da bússola.

- Por que a agulha da bússola se desvia ao ser fechado o circuito?
- Qual a polaridade da bobina? Confirme essa polaridade aplicando a regra da mão direita nº 1.

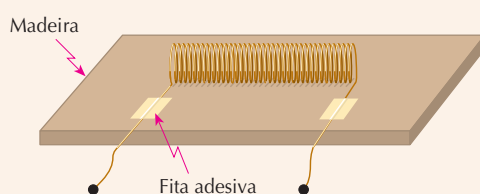


Figura A

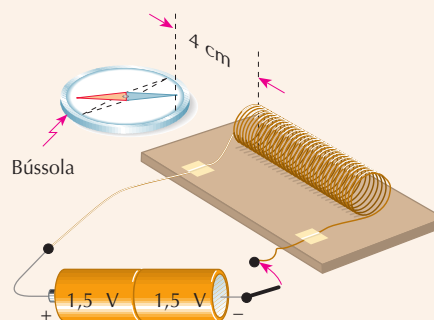


Figura B

- b) Introduza agora o prego no interior da bobina (figura C). Refaça a ligação com as pilhas e aproxime a bússola, mantendo-a à mesma distância do prego dada no item anterior (figura D). Observe o desvio sofrido pela agulha. Compare com o desvio sofrido pela agulha anteriormente.

- Por que o desvio da agulha da bússola é maior quando o prego está colocado no interior da bobina?
- Qual a polaridade do eletroímã construído? Essa polaridade é igual ou diferente da polaridade da bobina, antes de o prego ser colocado? Explique.

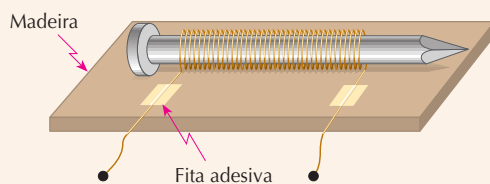


Figura C

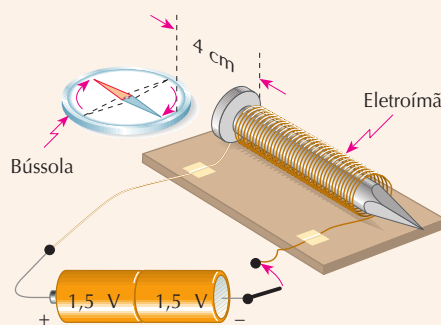


Figura D

- c) Inverta o sentido da corrente e, aproximando a bússola, verifique que se alterou a polaridade do eletroímã.
- Por que se modificou a polaridade do eletroímã quando você inverteu o sentido da corrente?
- d) Aproxime de uma das extremidades do prego os pequenos objetos de ferro e verifique o que acontece (figura E).

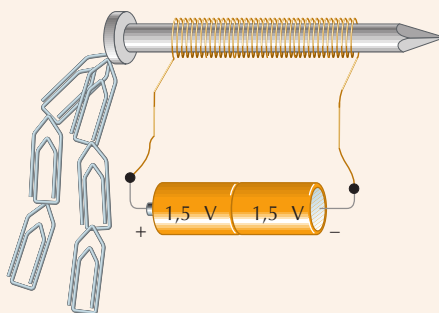


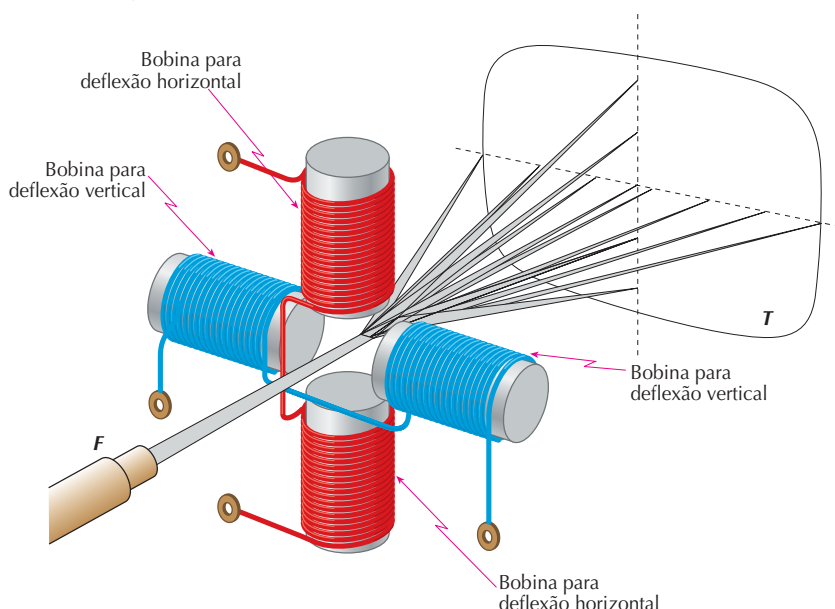
Figura E

- Por que os objetos de ferro foram atraídos e encostaram na extremidade do prego?
 - O que aconteceria se você aproximasse pequenos objetos de ferro da outra extremidade? Por quê?
- e) Desligue o eletroímã das pilhas e verifique o que acontece com os pequenos objetos de ferro. Inverta o sentido da corrente na bobina e veja o resultado.
- Explique por que, após desligar o eletroímã, alguns dos pequenos objetos ainda permanecem presos ao prego.
 - Por que esses objetos, que haviam se mantido presos, imediatamente caem ao inverter-se o sentido da corrente?

A FÍSICA EM NOSSO MUNDO

O televisor de tubo catódico

Atualmente, os televisores fabricados em todo o mundo, em sua maioria, possuem tela de LCD (cristal líquido) ou de plasma. Entretanto, durante muito tempo, desde a invenção da TV, na primeira metade do século XX, os aparelhos receptores eram constituídos por tubos de vidro no interior dos quais se faz o vácuo (tubos catódicos*). Ainda hoje grande parte dos aparelhos de TV é desse tipo, embora o avanço tecnológico aponte para uma gradativa substituição pelos receptores mais modernos. De modo extremamente simplificado, a estrutura do tubo ou cinescópio de um televisor é mostrada no esquema seguinte:



Uma fonte de elétrons F , normalmente chamada **canhão**, emite um feixe eletrônico acelerado por uma tensão de milhares de volts, que atinge a tela T do televisor. Essa tela é recoberta por uma camada de material luminescente, de modo que o ponto atingido pelo feixe se torna luminoso. O brilho do ponto é controlado pelo número de elétrons do feixe e pela velocidade dessas cargas.

* O nome tubo catódico ou tubo de raios catódicos tem origem histórica. O químico e físico inglês William Crookes (1832-1919), ao trabalhar com descargas elétricas através de gases rarefeitos, verificou a existência de emissões que se dirigiam do cátodo em direção ao ânodo. Chamou-os raios catódicos, imaginando serem de natureza ondulatória. Posteriormente, descobriu-se que se tratava de feixes de elétrons.

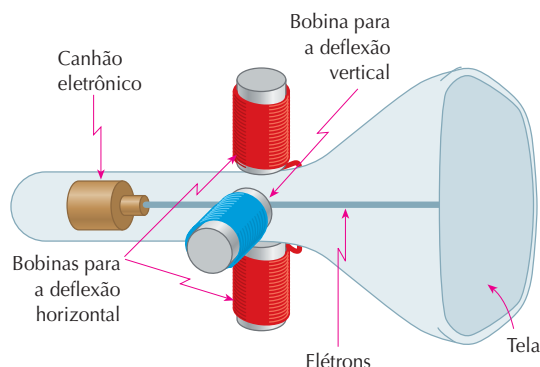
Em seu trajeto, o feixe de elétrons pode ser desviado para cima ou para baixo por um campo magnético, criado por um par de bobinas responsáveis pelo desvio dos elétrons na direção vertical. Um segundo campo magnético, criado por outro par de bobinas, este para a deflexão horizontal, pode desviar o feixe eletrônico lateralmente. Esses campos magnéticos são modificados por meio de impulsos elétricos, de modo a desviar convenientemente o feixe, para que este desenhe na tela a figura a ser vista pelo telespectador. Portanto, o feixe de elétrons funciona como um verdadeiro “pincel eletrônico”, pintando na tela, conforme os desvios que sofre, a imagem da cena que está sendo transmitida.

O feixe percorre todos os pontos de uma linha e todas as linhas na tela, vinte e cinco vezes por segundo. Assim, os pontos são “desenhados” na tela com tal rapidez que os nossos olhos, devido à persistência retiniana, têm a sensação de uma imagem contínua e em movimento. Tudo isso é controlado pelos sinais enviados pela câmera, correspondentes à imagem que se focalizou. A imagem obtida desse modo, no entanto, se compõe apenas de pontos de maior ou menor brilho, isto é, ela se forma em preto e branco.

Na TV em cores, a cor da imagem é determinada pelo revestimento da tela do tubo. De acordo com esse revestimento, a imagem poderá ser em verde e branco, azul e branco ou vermelho e branco. O cinescópio possui três canhões eletrônicos, um para cada uma das cores primárias da luz — azul, verde e vermelho. A câmera também transmite três sinais, um para cada cor. A tela é composta de uma infinidade de pontos triplos, luminescentes, que emitem luz de cada uma das cores primárias, ao serem atingidos pelo feixe eletrônico. A utilização das cores primárias explica-se porque a partir delas todas as outras cores podem ser formadas.

Teste sua leitura

L.22 (Enem-MEC) A figura mostra o tubo de imagens dos aparelhos de televisão usado para produzir as imagens sobre a tela. Os elétrons do feixe emitido pelo canhão eletrônico são acelerados por uma tensão de milhares de volts e passam por um espaço entre bobinas onde são defletidos por campos magnéticos variáveis, de forma a fazerem a varredura da tela.



Nos manuais que acompanham os televisores é comum encontrar, entre outras, as seguintes recomendações:

- I. Nunca abra o gabinete ou toque as peças no interior do televisor.
- II. Não coloque seu televisor próximo de aparelhos domésticos com motores elétricos ou ímãs.

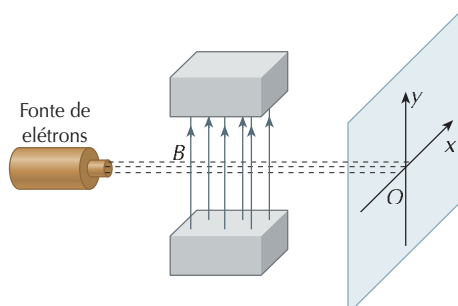
Essas recomendações estão associadas, respectivamente, aos aspectos de:

- a) riscos pessoais por alta-tensão; perturbação ou deformação de imagem por campos externos.
- b) proteção dos circuitos contra manipulação indevida; perturbação ou deformação de imagem por campos externos.
- c) riscos pessoais por alta-tensão; sobrecarga dos circuitos internos por ações externas.
- d) proteção dos circuitos contra manipulação indevida; sobrecarga da rede por fuga de corrente.
- e) proteção dos circuitos contra manipulação indevida; sobrecarga dos circuitos internos por ação externa.

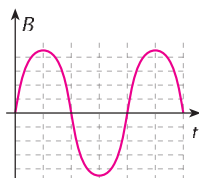
L.23 (Unicentro-PR) O tubo de televisão possui um canhão eletrônico que faz a varredura da tela fotoluminescente numa sucessão de linhas da esquerda para a direita e de cima para baixo. Tal varredura é feita com a rapidez suficiente para que nossos olhos não percebam o desaparecimento de uma linha e o surgimento de outra e, além disso, nos dê a sensação de movimento da imagem. Sobre a força responsável por esse movimento de varredura da tela de TV, é correto afirmar que:

- é uma força eletrostática que atua na direção do feixe eletrônico.
- é uma força magnética que atua na direção perpendicular ao feixe eletrônico.
- é uma força eletrofraca que atua nos neutrinos do feixe eletrônico.
- é uma força elétrica que atua nos neutrinos do feixe eletrônico.
- é uma força eletromagnética que atua nos nêutrons do feixe eletrônico.

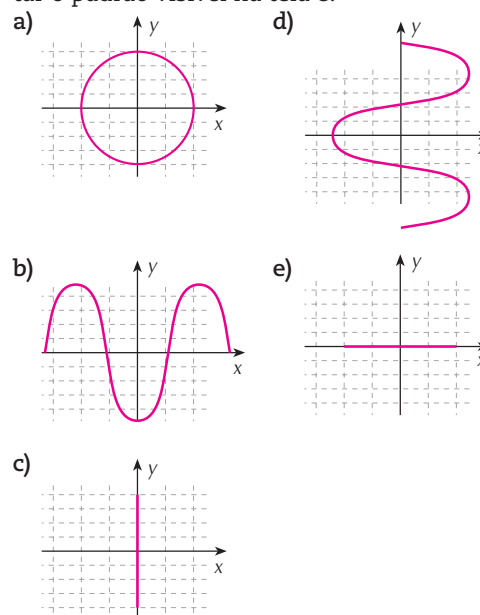
L.24 (Fuvest-SP) Assim como ocorre em tubos de TV, um feixe de elétrons move-se em direção ao ponto central O de uma tela, com velocidade constante.



A trajetória dos elétrons é modificada por um campo magnético vertical B , na direção perpendicular à trajetória do feixe, cuja intensidade varia em função do tempo t como indicado no gráfico.



Devido a esse campo, os elétrons incidem na tela, deixando um traço representado por uma das figuras abaixo. A figura que pode representar o padrão visível na tela é:



L.25 (UFMG) O tubo de imagem de um televisor está representado, esquematicamente, na Figura I.

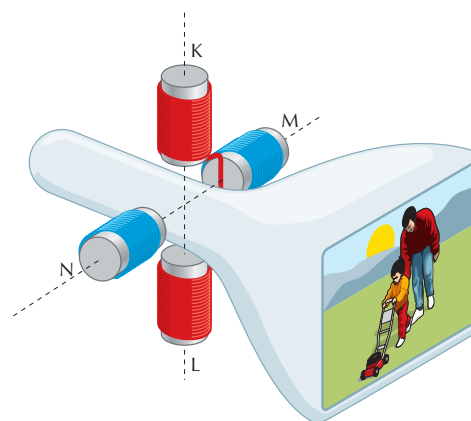


Figura I

Elétrons são acelerados da parte de trás desse tubo em direção ao centro da tela. Quatro bobinas — K, L, M e N — produzem campos magnéticos variáveis, que modificam a direção dos elétrons, fazendo com que estes atinjam a tela em diferentes posições, formando uma imagem, como ilustrado na Figura II.



Figura II

As bobinas K e L produzem um campo magnético na direção vertical e as bobinas M e N, na horizontal.

Em um certo instante, um defeito no televisor interrompe a corrente elétrica nas bobinas K e L e apenas as bobinas M e N continuam funcionando.

Assinale a alternativa em que **melhor** se representa a imagem que esse televisor passa a produzir nessa situação.

a)



c)



b)



d)



L.22

Resposta: a

Como o feixe de elétrons é acelerado por uma tensão de milhares de volts, não se deve tocar nas peças internas do televisor, pois há risco de choques devido à alta-tensão.

Por outro lado, os campos magnéticos gerados por ímãs ou aparelhos domésticos com motores elétricos interferem nas trajetórias dos elétrons, deformando a imagem na tela.

L.23

Resposta: b

O movimento de varredura na tela da TV é devido à ação de forças magnéticas que atuam perpendicularmente à direção dos feixes eletrônicos.

L.24

Resposta: e

Sobre o feixe eletrônico age uma força magnética com direção perpendicular à do vetor indução magnética $\vec{B}$. Assim, a varredura da tela pelos elétrons só se dá na direção do eixo x .

L.25

Resposta: a

Interrompendo-se a corrente elétrica nas bobinas K e L, só restará o campo magnético na direção horizontal. Como a força magnética é perpendicular à direção do vetor indução magnética, ela agirá apenas sobre o feixe na direção vertical. Então, os elétrons somente varrerão a tela na direção vertical.

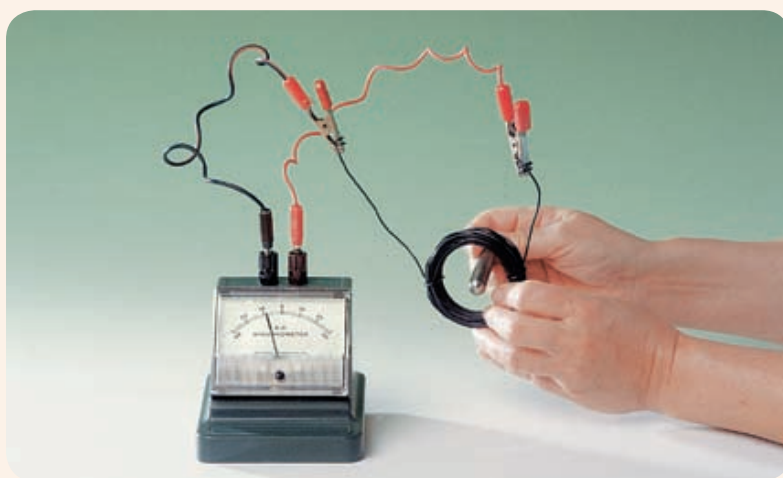
Atividade experimental

Realize a experiência com supervisão do seu professor

O fenômeno da indução eletromagnética

Com um ímã, um galvanômetro de zero central e 8 m de fio de cobre, esmaltado ou encapado, de diâmetro 0,5 mm, você pode constatar o fenômeno da indução eletromagnética.

Com o fio de cobre, construa uma bobina chata de diâmetro 5 cm e contendo cerca de 50 espiras. Ligue a bobina ao galvanômetro. Em seguida, aproxime o ímã da bobina.



EDUARDO SANTALUSTRACID

Responda

- O ponteiro do galvanômetro sofreu desvio durante a aproximação do ímã?
- Houve variação de fluxo magnético? Em caso afirmativo, o que ocorreu no circuito em virtude da variação do fluxo magnético?

Afaste agora o ímã da bobina.

- O ponteiro do galvanômetro sofreu desvio durante o afastamento do ímã? Em caso afirmativo, o sentido do desvio é o mesmo observado durante a aproximação?

Em seguida, aproxime o ímã da bobina mais rapidamente do que foi feito anteriormente.

- O que ocorre com o ponteiro do galvanômetro?
- A velocidade com que o fluxo magnético variou é maior ou menor do que na primeira aproximação?
- O resultado observado está de acordo com a lei de Faraday-Neumann?

Repita os procedimentos aproximando da bobina ora um polo e depois outro.

- O ponteiro do galvanômetro sofre desvio no mesmo sentido nos dois casos?
- O resultado observado está de acordo com a lei de Lenz?

Pare o ímã, aproxime e depois afaste dele a bobina.

- Descreva o que você observa.

Desloque o ímã e a bobina para a direita ou para a esquerda e com a mesma velocidade.

- Nesse caso, o ponteiro do galvanômetro sofre desvio? Explique.

A FÍSICA EM NOSSO MUNDO

Aplicações práticas dos fenômenos magnéticos

Existem muitos aparelhos e dispositivos de uso comum em nosso cotidiano que têm na indução eletromagnética a base de seu funcionamento. É o caso dos microfones de indução, dos gravadores de áudio e de vídeo, dos detectores de metal, dos cartões magnéticos etc. Outros se baseiam na ação das forças magnéticas sobre condutores percorridos por corrente elétrica, como nos alto-falantes.

O microfone de indução

O microfone de indução (figura A) é constituído por um ímã permanente fixo, uma bobina móvel envolvendo o ímã e uma membrana protegida por uma tela. A bobina está ligada à membrana. As ondas sonoras que chegam ao microfone fazem a membrana vibrar e, portanto, a bobina móvel também vibra. Nessas condições, a bobina movimenta-se no interior do campo magnético gerado pelo ímã fixo. Logo, tensão elétrica é induzida na bobina móvel. Temos, então, a transformação dos sons recebidos pelo microfone em variações de tensão elétrica na bobina móvel. Via de regra essa tensão induzida é muito pequena e deve ser **amplificada** para uso posterior.

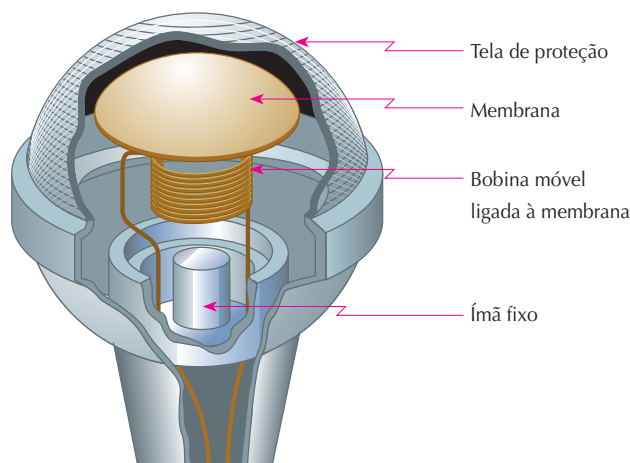


Figura A. Microfone de indução.

O alto-falante

O alto-falante (figura B), ligado ao microfone, reconverte as variações de tensão elétrica em sons. Ele é também constituído de um ímã permanente fixo e de uma bobina móvel. A bobina está ligada a um cone de papelão. Quando a corrente elétrica proveniente do microfone atravessa a bobina, ela fica sob a ação do campo magnético radial existente entre o ímã fixo e o polo. Assim, forças magnéticas agem na bobina, movimentando-a. O movimento da bobina implica a vibração do cone. O ar junto ao cone também vibra, reproduzindo o som captado pelo microfone.

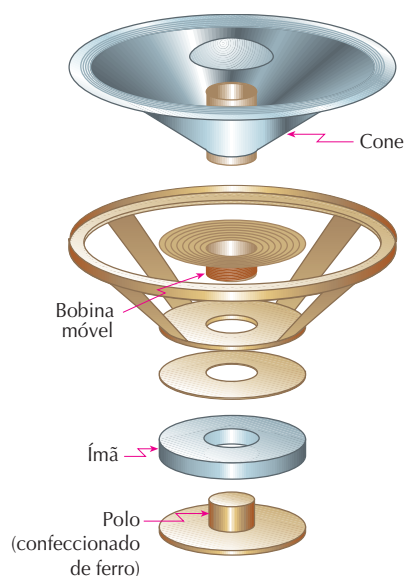


Figura B. Alto-falante, com seus componentes separados.

O gravador magnético

O princípio de funcionamento dos gravadores de fitas de áudio e de vídeo é muito semelhante. Sobre as fitas é depositado um pó constituído de um material magnetizável (óxido de ferro, de cromo ou outro metal), compactado por uma cola especial.

Quando é gravada uma imagem (ou um som), o receptor converte as ondas luminosas (ou sonoras) em sinais elétricos, determinando uma corrente elétrica de intensidade variável. Ao percorrer o chamado **cabeçote**, que é uma bobina enrolada num núcleo de ferro (figura C), essa corrente produz um campo magnético variável que magnetiza as partículas da fita que está passando diante do **entreferro** (ranhura no núcleo de ferro da bobina).

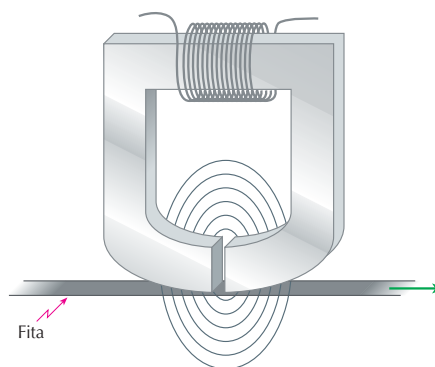


Figura C. Esquema simplificado do cabeçote de um gravador magnético de fita.

Na reprodução ocorre o oposto. Quando a fita passa diante de outro cabeçote, suas partículas magnetizadas induzem uma corrente variável na bobina. Esses impulsos elétricos são transmitidos a um tubo de imagens (ou a um alto-falante), transformando-se em ondas luminosas (ou sonoras).

O som e as imagens assim produzidos são chamados **analógicos**. Atualmente, utilizam-se gravações e reproduções **digitais**, onde um conjunto de *bits** compõe a informação.

* Bit (binary digit) é a menor parte da informação digital.

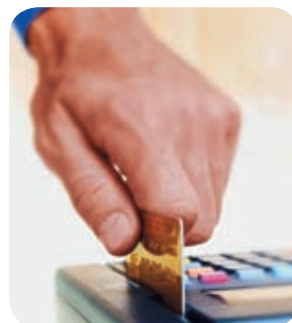
Os cartões magnéticos

No mundo tecnológico de hoje, o cartão magnético é um recurso indispensável, seja para realizar operações bancárias, comprar a crédito ou ingressar em determinados locais (metrô, teatros, empresas etc.). As informações nele contidas estão armazenadas na tarja magnética do verso do cartão, na qual são previamente gravadas em código binário, numa sequência de trechos magnetizados e não magnetizados.



BIRGIT SONNENBERG/STOCK4B/
NONSTOCK-OTHER IMAGES

A indução magnética é utilizada na leitura do cartão. A máquina leitora possui uma bobina enrolada num núcleo de ferro, na qual é induzida uma corrente elétrica quando o cartão é passado pela ranhura. Com isso, são produzidos sinais elétricos que são decodificados por um computador. Se os dados conferirem, a transação é concretizada ou a passagem do usuário é liberada.



STEVE COLE/MASTERFILE/OTHER IMAGES

Os detetores de metais

O detetor de metais é um aparelho que verifica se uma pessoa transporta objetos de metal, junto ao corpo ou na bagagem. Costuma ser utilizado em aeroportos, bancos e outras instituições, como medida de segurança, para evitar a entrada de armas. Para encontrar objetos metálicos submersos ou enterrados também se empregam detetores de metais. Em indústrias de processamento de alimentos, em moinhos, na produção de carvão, nas fábricas de celulose, esses detetores são utilizados para remover fragmentos metálicos.



ERNESTO RODRIGUES/AE

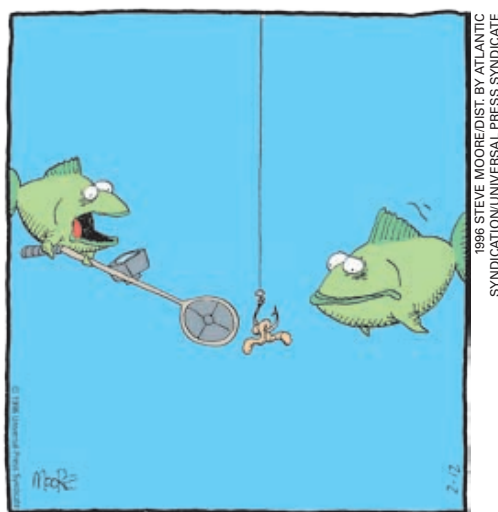
▲ Detetor de metais em uma estação de metrô.



ARNE HODALIC/CORBIS/LATINSTOCK

▲ Detetor de metais usado em destroços de uma embarcação.

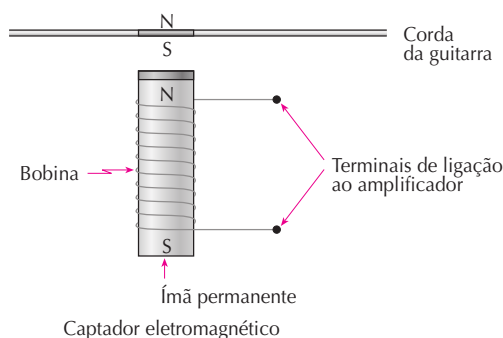
O princípio de funcionamento de um detetor, qualquer que seja o seu tipo, baseia-se na indução eletromagnética. O aparelho consta de uma bobina que, ao ser percorrida por corrente elétrica, gera um campo magnético no seu núcleo de ferro. Quando um objeto metálico se aproxima, a variação do fluxo magnético induz correntes de Foucault nesse objeto. Sendo variáveis, essas correntes produzem campos magnéticos variáveis que induzem novas correntes na bobina, modificando a intensidade da corrente original. A variação da intensidade de corrente é detectada por um amperímetro que aciona um alarme sonoro e um sinal luminoso, indicando a presença do objeto.



Opa! Pra trás, Josh. Estou detectando um objeto metálico, curvo e pontudo!

As guitarras elétricas

As guitarras elétricas utilizam, na maioria dos modelos, captadores eletromagnéticos, constituídos de um ímã permanente sobre o qual se enrola uma bobina. As cordas da guitarra são feitas de material metálico magnetizável. O trecho de corda que fica imediatamente acima do ímã magnetiza-se. Quando a corda é posta a vibrar pelo instrumentista, a vibração faz variar o fluxo magnético através da bobina, induzindo uma corrente elétrica. Assim, a corda se aproxima e se afasta da bobina e a corrente induzida muda de sentido com a mesma frequência com que a corda vibra. O sinal elétrico é amplificado e transmitido a um alto-falante. Essa é uma explicação simplificada do funcionamento da guitarra elétrica.



Teste sua leitura

L.26 (Univali-SC)

O cartão magnético

Na tarja magnética de um cartão de crédito estão gravadas as informações do cliente. Essa tarja é constituída por um composto de ferro que é magnetizado em determinadas regiões.

Assim, uma sequência de regiões magnetizadas/não magnetizadas, como minúsculos ímãs, é convertida em um código com as informações pessoais.

O leitor desse código consiste em espiras de fio condutor, onde é induzida uma força eletromotriz, pelos minúsculos ímãs, enquanto o cartão é movimentado.

Esse princípio, o da indução de força eletromotriz, é mais bem explicado pela:

- conservação da carga elétrica.
- conservação da energia.
- indução eletrostática.
- variação do fluxo magnético.
- lei de Coulomb.

L.27 (UFRN)

O detector de metais

Um certo detector de metais manual usado em aeroportos consiste em uma bobina e em um medidor de campo magnético. Na bobina, circula uma corrente elétrica que gera um campo magnético conhecido, chamado campo de referência. Quando o detector é aproximado de um objeto metálico, o campo magnético registrado no medidor torna-se diferente do campo de referência, acusando, assim, a presença de algum metal.

A explicação para o funcionamento do detector é:

- a variação do fluxo do campo magnético, através do objeto metálico, induz nesse objeto correntes elétricas que geram um campo magnético total diferente do campo de referência.
- a variação do fluxo do campo elétrico, através do objeto metálico, induz nesse objeto uma densidade não nula de cargas elétricas que gera um campo magnético total diferente do campo de referência.

c) a variação do fluxo do campo elétrico, através do objeto metálico, induz nesse objeto correntes elétricas que geram um campo magnético total diferente do campo de referência.

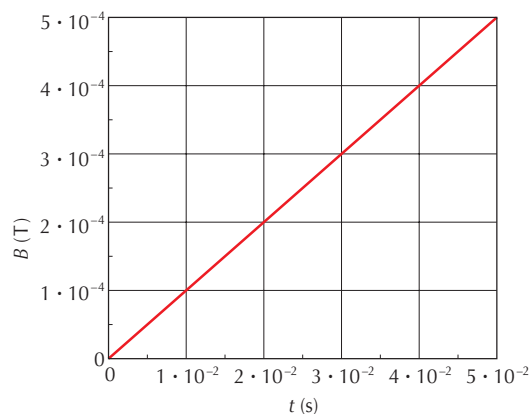
d) a variação do fluxo do campo magnético, através do objeto metálico, induz nesse objeto uma densidade não nula de cargas elétricas que gera um campo magnético total diferente do campo de referência.

L.28 (Unicamp-SP) O princípio de funcionamento dos detectores de metais utilizados em verificações de segurança é baseado na lei de indução de Faraday. A força eletromotriz induzida por um fluxo de campo magnético variável através de uma espira gera uma corrente. Se um pedaço de metal for colocado nas proximidades da espira, o valor do campo magnético será alterado, modificando a corrente na espira. Essa variação pode ser detectada e usada para reconhecer a presença de um corpo metálico nas suas vizinhanças.

a) Considere que o campo magnético B atravessa perpendicularmente a espira e varia no tempo segundo a figura. Se a espira tem raio de 2 cm, qual é a força eletromotriz induzida?

b) A espira é feita de um fio de cobre de 1 mm de raio e a resistividade do cobre é $\rho = 2 \cdot 10^{-8} \text{ ohm} \times \text{metro}$.

A resistência de um fio é dada por $R = \rho \cdot \frac{L}{A}$, onde L é o seu comprimento e A é a área da sua seção reta. Qual é a corrente na espira? (Use $\pi = 3$.)



L.26 Resposta: d

O fenômeno da indução eletromagnética consiste no aparecimento de uma força eletromotriz num circuito, quando o fluxo magnético, através desse circuito, varia.

L.27 Resposta: a

A explicação para o funcionamento do detetor de metais é a seguinte: o detetor consta essencialmente de uma bobina que, percorrida por corrente, gera um campo magnético (campo magnético de referência). Aproximando-se o detetor de um objeto metálico, ocorre variação do fluxo do campo magnético através do objeto metálico e nele são induzidas correntes elétricas. Essas correntes criam um campo magnético, tornando diferente o campo magnético de referência. Esse fato acusa a presença de objetos metálicos.

L.28

a) $E = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

$$E = -\frac{\Delta B \cdot A}{\Delta t}$$

Do gráfico, temos:

$$\frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{5 \cdot 10^{-4} \text{ T}}{5 \cdot 10^{-2} \text{ s}} = 10^{-2} \text{ T/s}$$

Sendo:

$$A = \pi R^2 = 3 \cdot (2 \cdot 10^{-2})^2 \text{ m}^2$$

$$A = 12 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

vem:

$$E = -10^{-2} \cdot 12 \cdot 10^{-4} \text{ V}$$

$$E = -1,2 \cdot 10^{-5} \text{ V}$$

$$|E| = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ V}$$

b) $R' = \rho \cdot \frac{L}{A}$

$$R' = \rho \cdot \frac{2\pi R}{\pi \cdot r^2}$$

$$R' = \rho \cdot \frac{2R}{r^2}$$

$$R' = 2 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^{-2}}{(10^{-3})^2}$$

$$R' = 8 \cdot 10^{-4} \Omega$$

Sendo $i = \frac{|E|}{R'}$, vem:

$$i = \frac{1,2 \cdot 10^{-5}}{8 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow i = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ A}$$