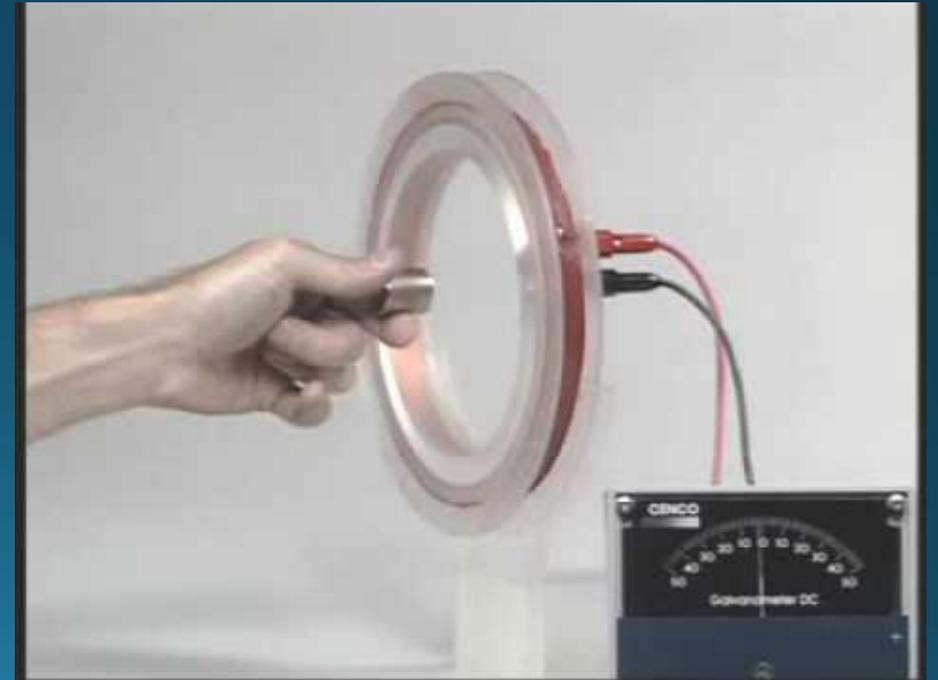
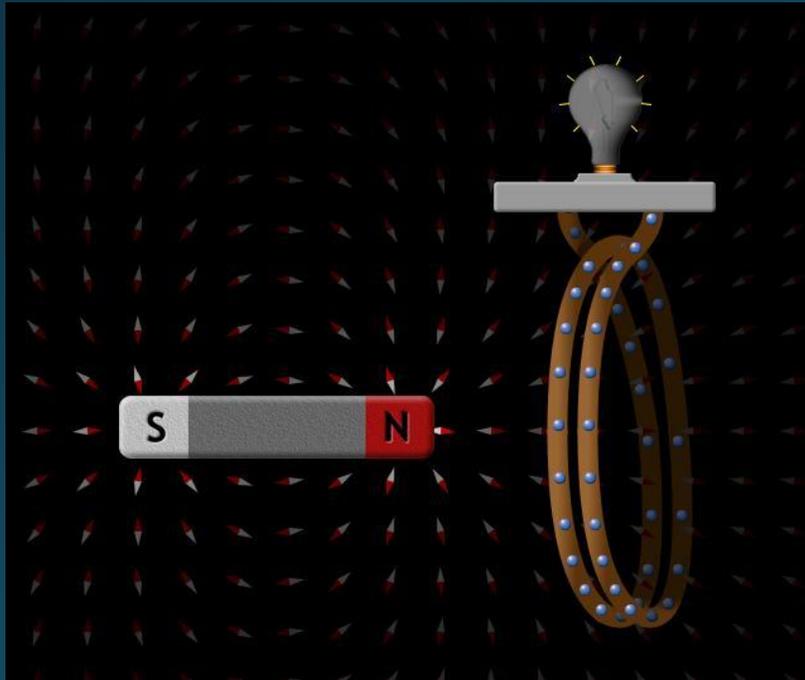


Indução Eletromagnética

(Lei de Faraday e Lenz)



Algumas curiosidades...

1. Como funcionam as usinas hidrelétricas? A energia elétrica é retirada da água?

2. Como funcionam os alto-falantes e os microfones?

3. Para que servem os transformadores que ficam nos postes?

Antes de respondê-las, precisaremos conhecer alguns conceitos fundamentais da Física...



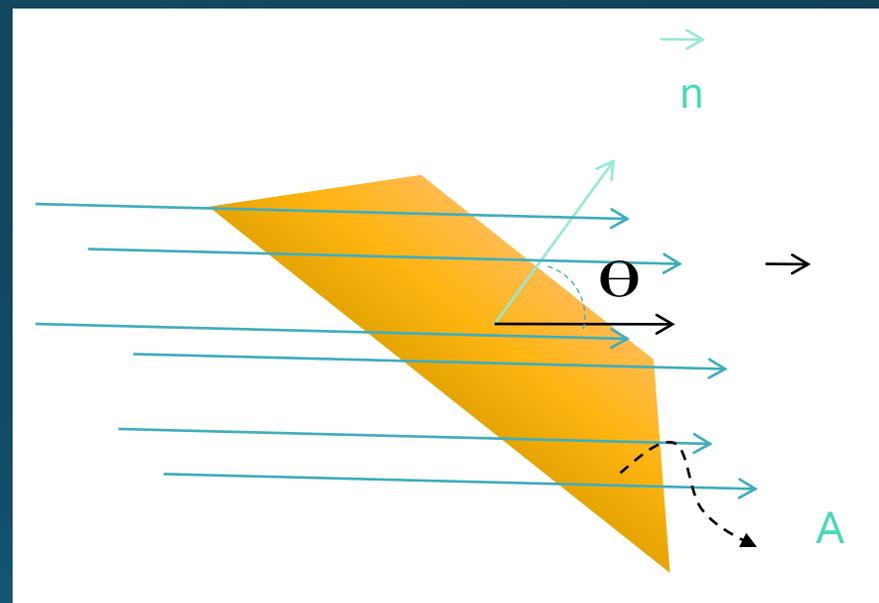
Imagem: OS2Warp / Domínio Público

Fluxo Magnético

$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos \theta$$

Onde:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi \equiv \text{Fluxo magnético} \\ B \equiv \text{Módulo do campo magnético} \\ A \equiv \text{Área da superfície} \\ \theta \equiv \text{Ângulo entre } \vec{n} \text{ e } \vec{B} \end{array} \right.$$



O fluxo magnético é a medida da quantidade de linhas de indução que atravessam uma superfície em função do tempo. É dado pelo produto entre o campo magnético, a área da superfície e o cosseno do ângulo formado entre o campo e o vetor normal à superfície.

Propriedades do Fluxo Magnético

Podemos variar o fluxo magnético de várias maneiras:

1. Variando a intensidade B do campo de indução magnética.
2. Variando a área A da superfície.
3. Girando a superfície, variando o ângulo θ entre o vetor normal à superfície e o vetor campo magnético.

Obs.: A unidade de medida do Fluxo Magnético no S.I. é o **weber (Wb)** (Onde: **$1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot 1 \text{ m}^2$**)

Logo, temos **$1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2$**

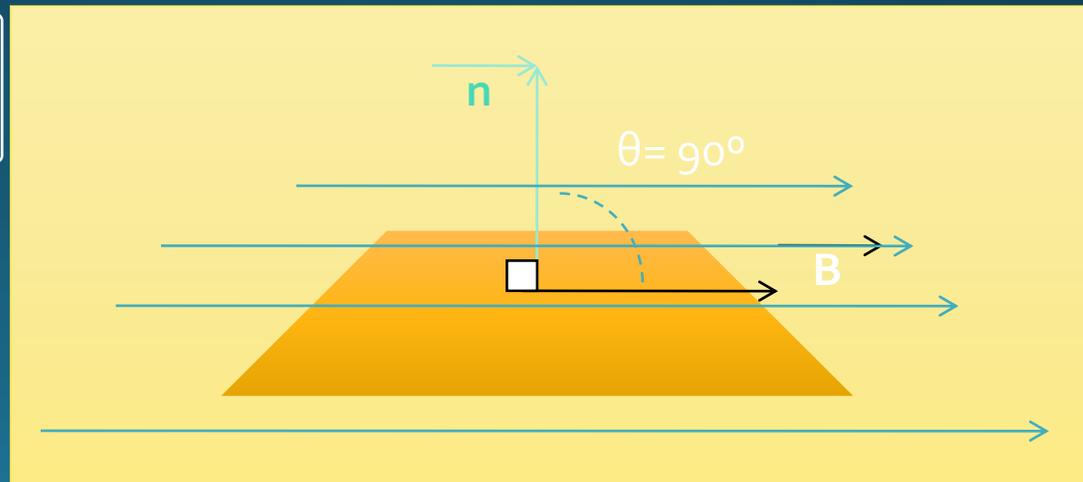
Fluxo Magnético: Caso Particular ($\theta = 90^\circ$)

Neste caso, temos:

$\Phi = B \cdot A \cdot \cos 90^\circ$ e, como $\cos 90^\circ = 0$, então o fluxo é nulo.

Observe na figura abaixo que nenhuma linha de indução magnética atravessa a superfície.

$$\Phi = 0 \rightarrow \text{NULO}$$



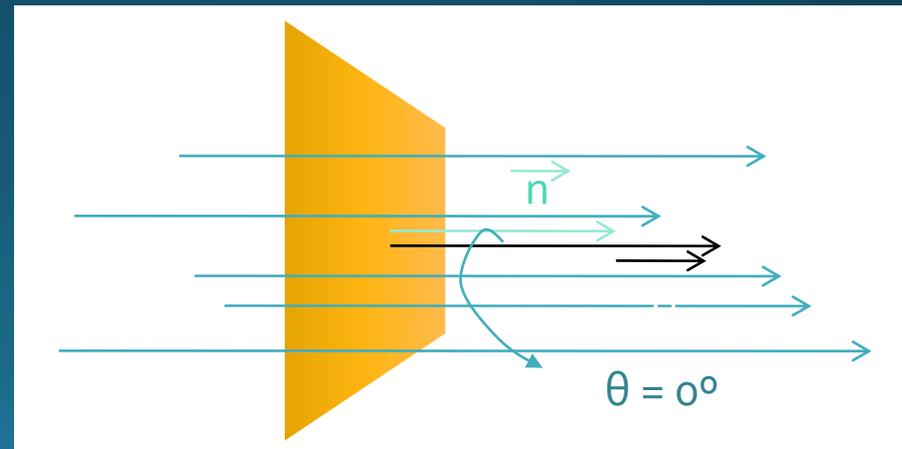
Fluxo Magnético: Caso Particular ($\theta = 0^\circ$)

Neste caso, temos:

$\Phi = B \cdot A \cdot \cos 0^\circ$ e, como $\cos 0^\circ = 1$, então, $\Phi = B \cdot A$, o que implica dizer que o fluxo é MÁXIMO.

Observe na figura abaixo que todas as linhas de indução magnética atravessam a superfície.

$$\Phi = B \cdot A \rightarrow \text{MÁXIMO}$$



Michael Faraday (1791 - 1867)

Foi um Físico inglês conhecido pelas suas experiências pioneiras no campo da Eletricidade e do Magnetismo.

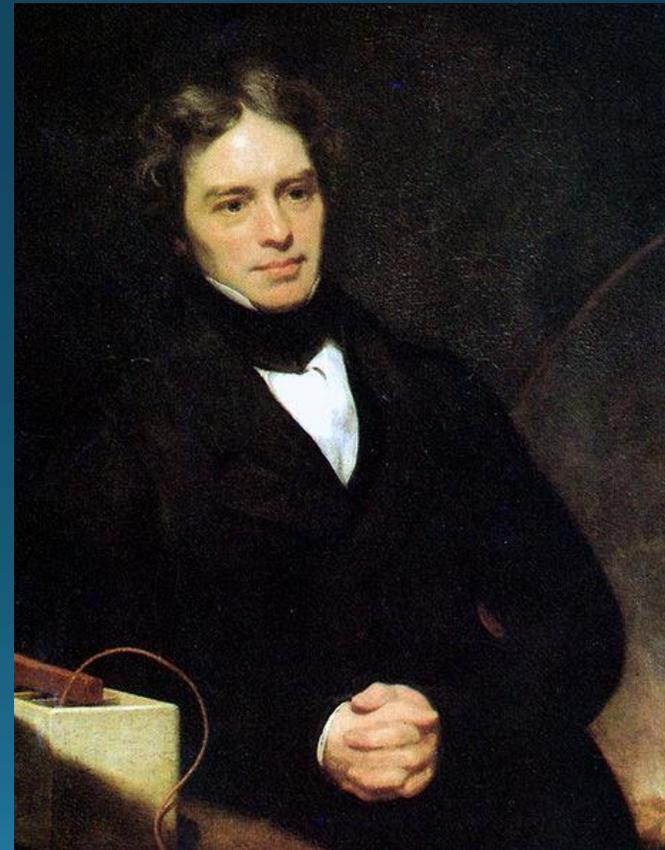


Imagem: Thomas Phillips / Domínio Público

Breve Histórico

Faraday, baseando-se nos trabalhos de Oersted e Ampère, o qual analisava que correntes elétricas em circuitos produziam campos magnéticos, começou a investigar o efeito inverso do fenômeno por eles estudado.

Linhas de Campo? Lembra?

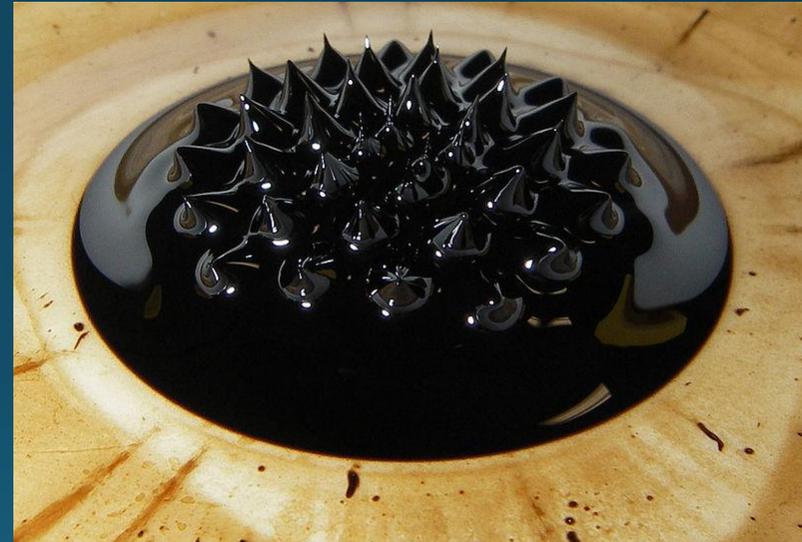


Imagem: Steve Jurvetson / Creative Commons Attribution 2.0 Generic

Indução Magnética

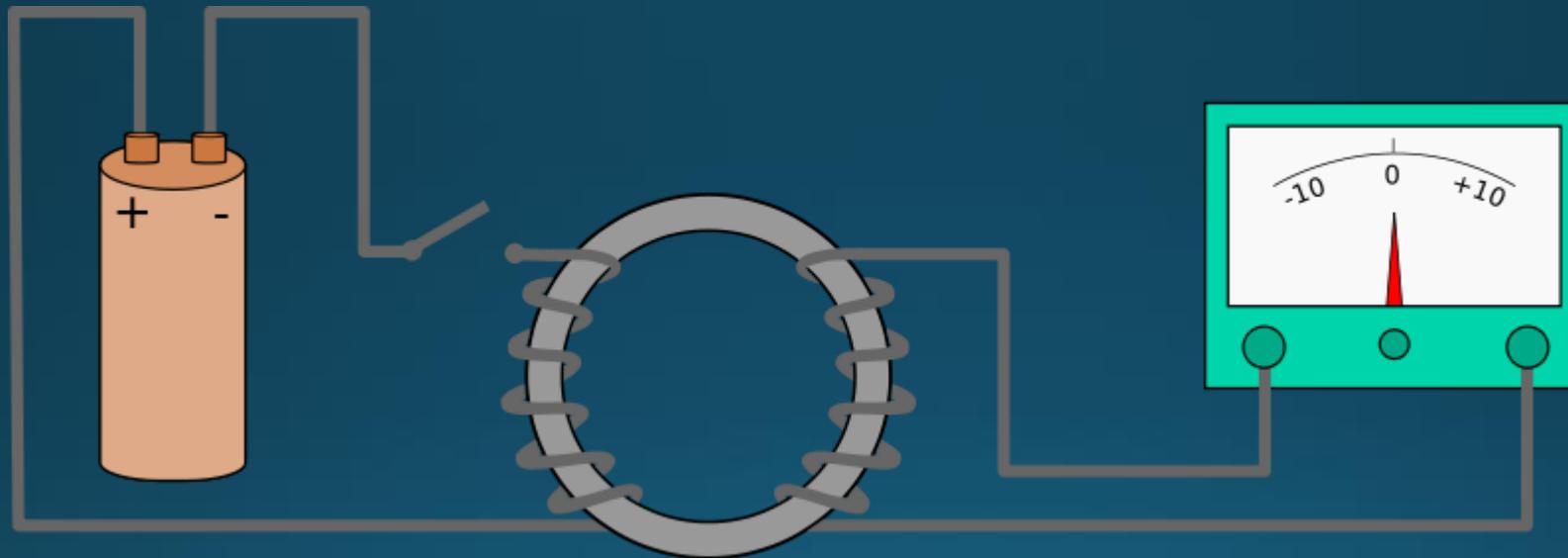


Imagem: Hypercube / Creative Commons CCo 1.0 Universal Public Domain Dedication

Faraday descobriu que um campo magnético variável próximo a uma bobina e ligada a uma galvanômetro (Multímetro), acusa a passagem de corrente elétrica.

Indução Magnética

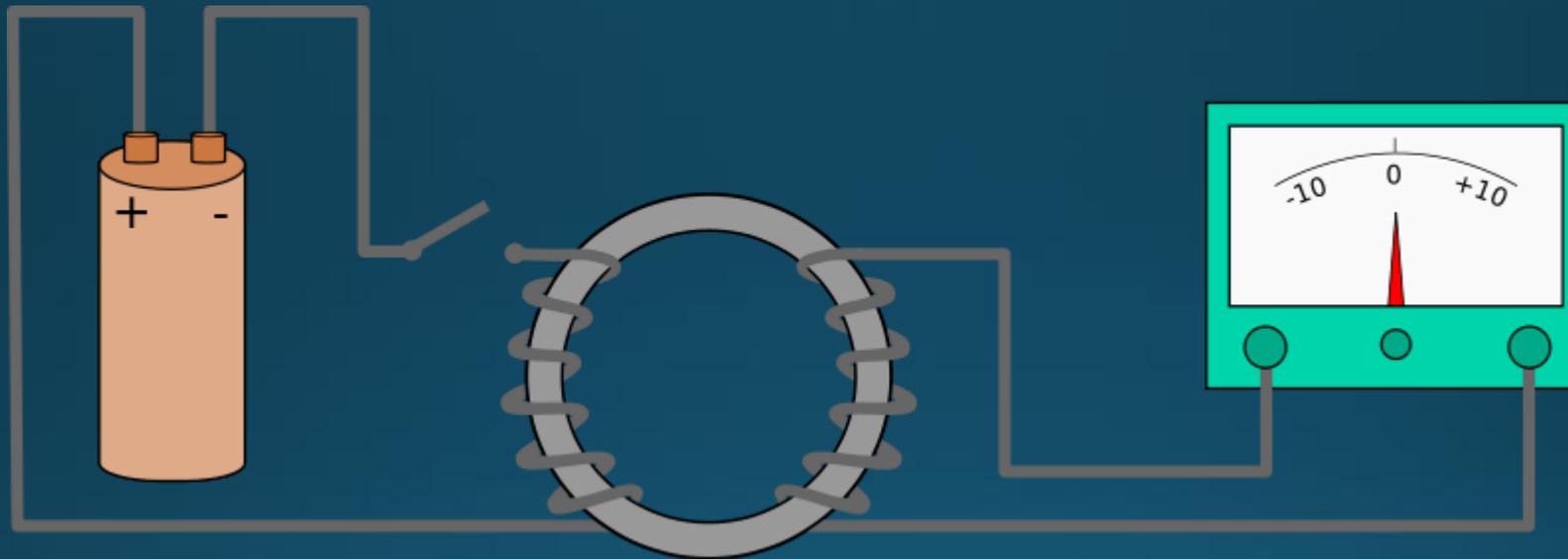


Imagem: Hypercube / Creative Commons CCo 1.0 Universal Public Domain Dedication

Esse efeito de produção de uma corrente em um circuito, causado pela presença de um campo magnético, é chamado de **INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA** e a corrente elétrica que aparece é denominada de **CORRENTE INDUZIDA**.

Indução Magnética

Existem vários modos de se obterem correntes induzidas em um circuito:

1. O circuito pode mover-se em relação a um campo magnético, de modo que o fluxo magnético através da área do circuito varie no decorrer do tempo.
2. Pode-se variar a área do circuito de tal modo que o fluxo do campo magnético através do circuito varie no tempo.
3. O campo magnético dirigido para a superfície pode ser variável no tempo.

Lei de Faraday

Ao variarmos o fluxo magnético que atravessa uma espira, é criada uma força eletromotriz induzida (ε) que é dada pela taxa de variação do fluxo magnético em função do tempo.

$$\boxed{\varepsilon = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}}$$

Onde: $\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon \equiv \text{Força eletromotriz (fem)} \\ \Delta\Phi \equiv \text{Variação do fluxo magnético} \\ \Delta t \equiv \text{Intervalo de tempo} \end{array} \right.$

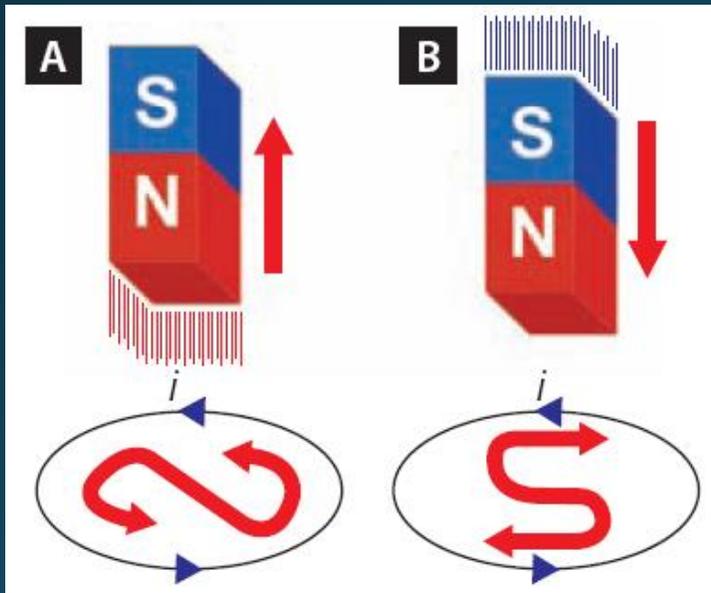
Obs.: Se verificarmos as unidades de medida dessas grandezas no S.I., percebemos que:

$$[\varepsilon] = \frac{[\Delta\Phi]}{[\Delta t]} \Rightarrow \text{volt} = \frac{\text{weber}}{\text{segundo}} \Rightarrow 1V = \frac{1Wb}{1s}$$

Lei de Lenz

O sinal negativo na expressão da lei de Faraday descreve um resultado conhecido como lei de Lenz: "A corrente induzida em um circuito aparece sempre com um sentido tal que o campo magnético criado tende a contrariar a variação do fluxo magnético através da espira

$$\varepsilon = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$



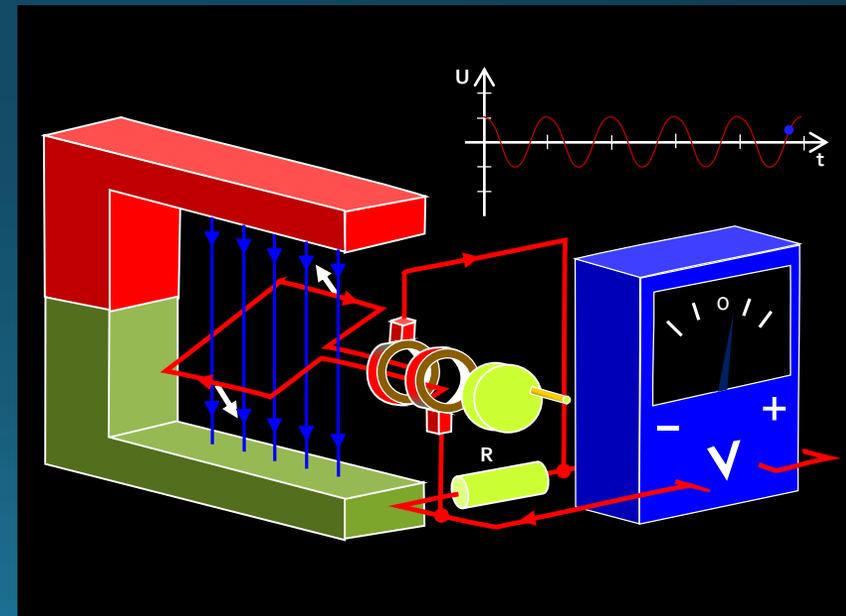
O ímã em [A] se afasta da espira, e o sentido da corrente, de acordo com a regra da mão direita, é horário, para compensar (naturalmente) a diminuição do fluxo magnético. Em [B], o sentido da corrente induzida é anti-horário, para reverter o aumento do fluxo para baixo.



Aplicação: Gerador de Corrente Alternada

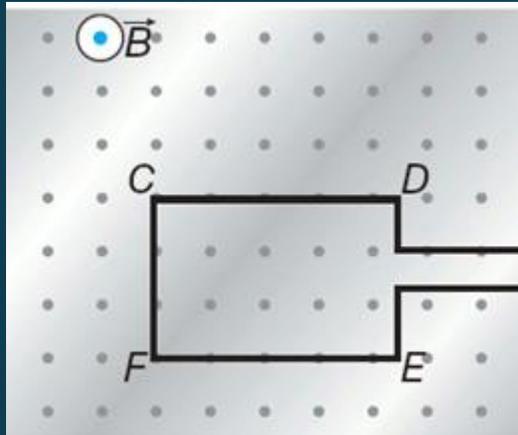
Em qualquer unidade de produção de energia elétrica (usina hidroelétrica, usina termoelétrica, usina nuclear, etc.) existe sempre um circuito que se coloca em rotação numa região onde existe um campo magnético.

Ao girar a espira, varia-se o fluxo magnético que a atravessa, criando, assim, uma fem induzida, de acordo com a Lei de Ampère.



Como Funciona?

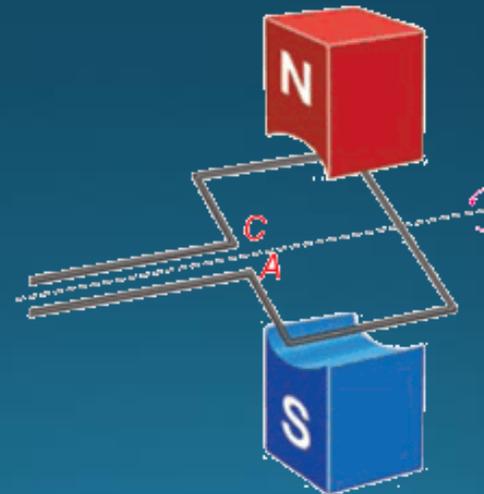
Varição na área A atravessada pelas linhas de campo



A área da espira retangular $CDEF$, efetivamente atravessada pelas linhas de campo, é reduzida de acordo com o movimento para a direita.

Varição no ângulo θ entre as linhas de campo e a superfície

A espira retangular gira na região de influência do campo magnético, variando continuamente o ângulo determinado pelas linhas de campo e a normal à superfície da espira.



Aplicação: Transformador

- um Transformador é um dispositivo para modificar tensões e correntes alternadas sem perda apreciável de potência;
- ele é constituído por dois enrolamentos em torno de um núcleo de ferro. O enrolamento que recebe a potência é o primário, o outro o secundário;
- a função do núcleo de ferro é orientar o campo magnético de modo que quase todo o fluxo que passe por um enrolamento passe também pelo outro. Esse núcleo é habitualmente laminado de modo a minimizar as perdas de energia por correntes de Foucault (correntes superficiais provocadas pelo fluxo variável).

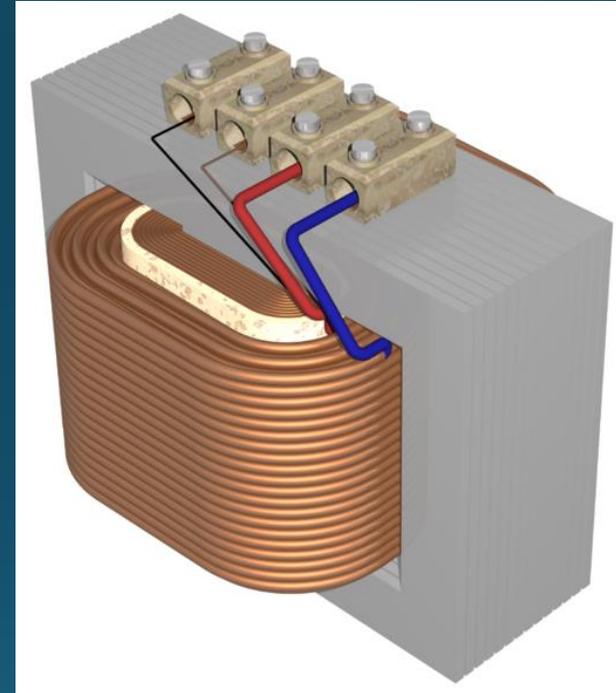


Imagem: Mtdorov_69 / GNU Free Documentation License

Aplicação: Transformador

Se não houver fuga de fluxo magnético do núcleo de ferro e se desprezarem outras perdas de potência (efeito Joule), o fluxo através de cada espira é o mesmo nos dois enrolamentos, obtendo-se:

$$\frac{V_{secundário}}{V_{primário}} = \frac{N_{secundário}}{N_{primário}}$$

Obs.: Qualquer um dos enrolamentos pode ser usado como primário ou secundário: o transformador funciona nos dois sentidos.

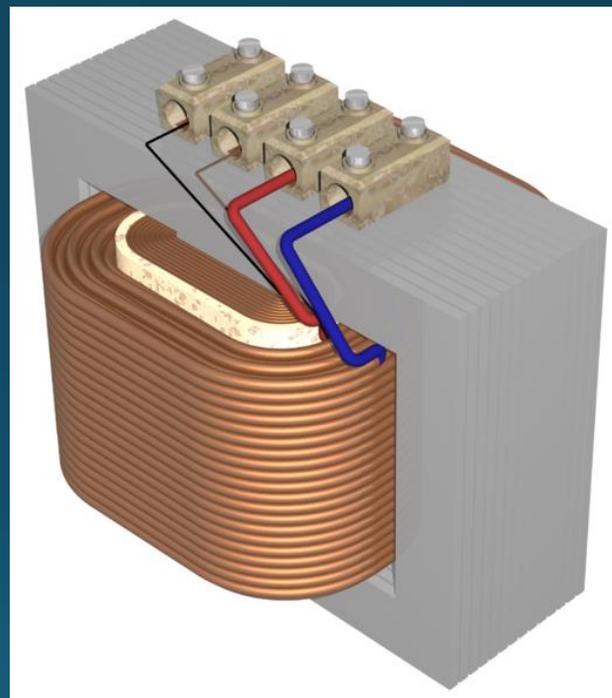
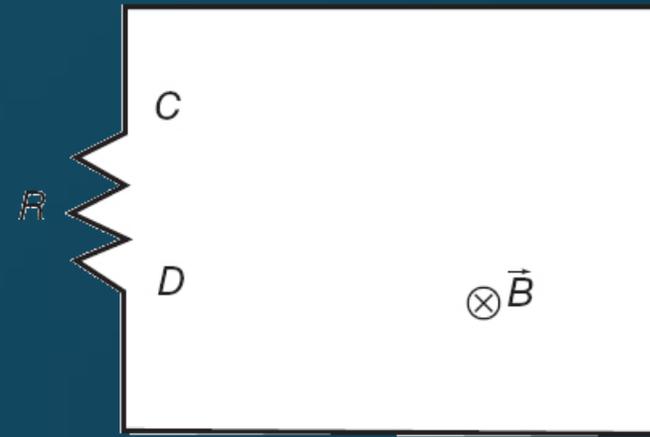


Imagem: Mtdorov_69 / GNU Free Documentation License

1

Um fio metálico tem suas extremidades unidas formando um retângulo plano (ver figura).



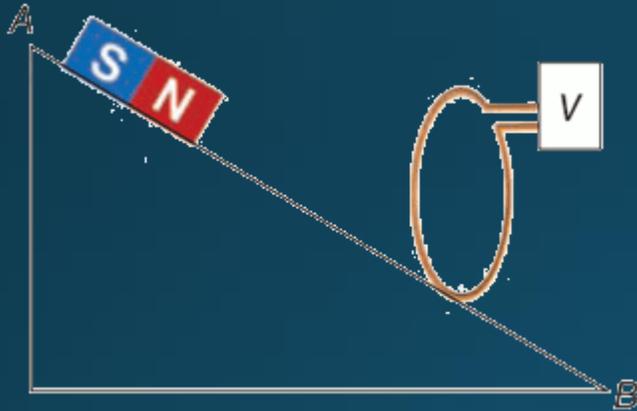
Um resistor ôhmico no fio tem resistência R , e os potenciais em suas extremidades C e D são denotados por V_C e V_D . Num dado instante, um campo magnético uniforme de módulo B é ligado em todo o espaço, com direção perpendicular ao plano do fio e sentido indicado na figura (\otimes).

Nesse contexto, pode-se afirmar que:

- a) a corrente elétrica induzida no fio terá sentido horário, tal que $V_C > V_D$.
- b) a corrente elétrica induzida no fio terá sentido horário, tal que $V_C < V_D$.
- c) não haverá corrente elétrica induzida no fio, tal que $V_C = V_D$.
- d) a corrente elétrica induzida no fio terá sentido anti-horário, tal que $V_C > V_D$.
- e) a corrente elétrica induzida no fio terá sentido anti-horário, tal que $V_C < V_D$.

RESPOSTA: D Após a ligação do campo, há um aumento de fluxo para entrar na página. Pela lei de Lenz, a corrente deve provocar diminuição do campo nesse sentido. Para tanto, a corrente deve fluir no sentido anti-horário. A corrente vai de C para D . Há queda de potencial de C para D , o que significa que $V_C > V_D$.

A figura mostra um plano inclinado sobre o qual se coloca um ímã no ponto A , que desliza livremente em direção a B . No trajeto, ele passa através de uma espira circular, ligada a um voltímetro V .



RESPOSTA: C

O fluxo magnético varia durante todo o movimento de descida do ímã: ele aumenta até chegar à espira e depois diminui. Logo, há ddp induzida em todo o trajeto de A a B .

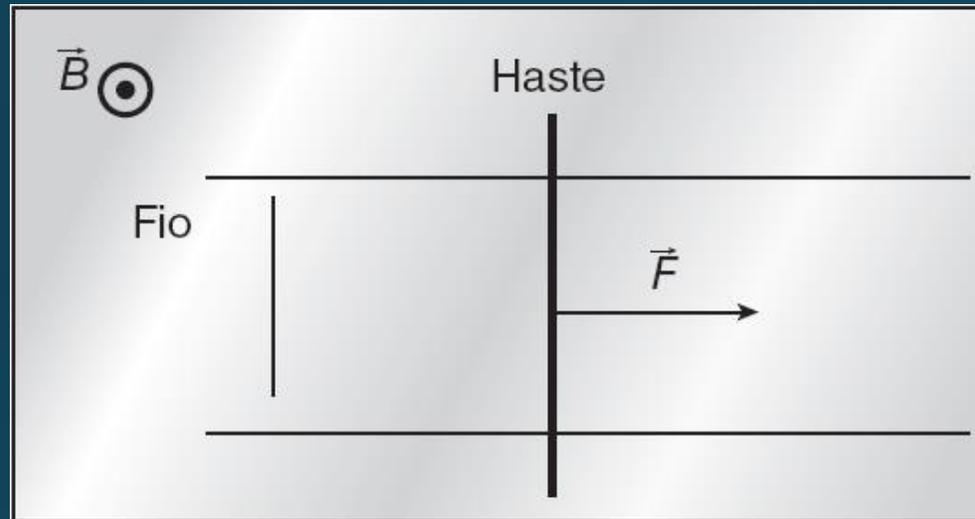
Desprezando-se todos os atritos mecânicos, pode-se afirmar que:

- a)** haverá uma diferença de potencial (ddp) induzida na bobina apenas nos momentos de entrada e saída do ímã através da espira.
- b)** o voltímetro não vai acusar nenhuma ddp, porque a espira não está ligada a nenhuma pilha ou bateria.
- c)** durante toda a passagem do ímã através da espira, o voltímetro vai acusar leituras da ddp induzida.
- d)** o voltímetro somente acusaria a leitura de uma ddp induzida na espira se houvesse atrito entre o ímã e o plano inclinado, fazendo com que o ímã passasse através da espira com velocidade constante.

3

(Ufal)

A figura ilustra um fio condutor e uma haste metálica móvel sobre o fio, colocados numa região de campo magnético uniforme espacialmente (em toda a região cinza da figura), com módulo B , direção perpendicular ao plano do fio e da haste e sentido indicado. Uma força de módulo F é aplicada na haste, e o módulo do campo magnético aumenta com o tempo.



De acordo com a lei de Faraday, é correto afirmar que:

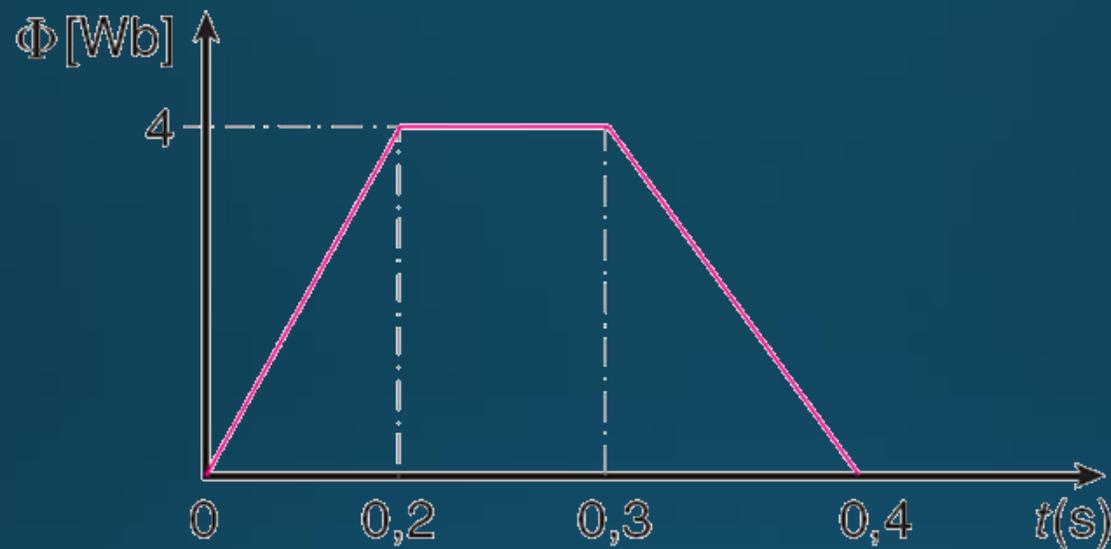
- o aumento de B com o tempo tende a gerar uma corrente no sentido horário, enquanto a ação da força F tende a gerar uma corrente no sentido anti-horário.
- o aumento de B com o tempo tende a gerar uma corrente no sentido anti-horário, enquanto a ação da força F tende a gerar uma corrente no sentido horário.

- c) ambos, o aumento de B com o tempo e a ação da força F , tendem a gerar uma corrente no sentido horário.
- d) ambos, o aumento de B com o tempo e a ação da força F , tendem a gerar uma corrente no sentido anti-horário.
- e) a ação da força F tende a gerar uma corrente no sentido horário, enquanto o aumento de B com o tempo não tem influência sobre o sentido da corrente gerada.

RESPOSTA: C O aumento do campo provoca aumento no fluxo magnético e, por isso, gera corrente induzida na haste. O campo aumenta na direção normal à folha, saindo da página. Pela lei de Lenz, a corrente induzida deve ter sentido tal que provoque variação inversa no campo magnético. Isso é obtido com uma corrente no sentido horário. A ação da força também aumenta o fluxo, pelo aumento da área do circuito imersa no campo magnético. Assim, a corrente induzida também deve ter sentido horário, para compensar o aumento.

4

O fluxo magnético através de uma bobina varia com o tempo, de acordo com o gráfico mostrado a seguir. Sabe-se que a bobina constitui um circuito fechado, cuja resistência é igual a 10Ω .



Determine o valor da corrente elétrica no intervalo entre $t = 0,3 \text{ s}$ e $t = 0,4 \text{ s}$.

- a) 4 A c) 3 A
b) 2 A d) 1 A

RESPOSTA: A

A variação de fluxo, nesse intervalo de tempo, é de

-4 Wb . Combinando a lei de Ohm com a lei de Faraday,

$$\text{obtemos: } R \cdot i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \Rightarrow 10 \cdot i = - \frac{-4}{0,1} \Rightarrow i = 4 \text{ A}$$