



Indução electromagnética

Força electromotriz induzida num circuito: Lei de Faraday e Lei de Lenz

Aplicações do campo magnético e da indução electromagnética.



Indução electromagnética

Quando o **fluxo do campo magnético** através de uma espira varia no tempo, surge na espira uma corrente eléctrica.



À corrente eléctrica produzida no circuito chama-se
"corrente induzida"



Indução electromagnética

Chama-se **força electromotriz induzida** ao trabalho realizado por unidade de carga durante o movimento dos portadores de carga que constituem a corrente induzida.



lei de Lenz

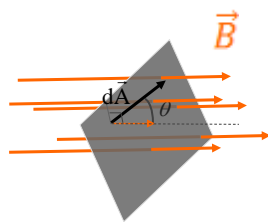
$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi_B}{dt} \quad N - \text{n}^\circ \text{ de espiras}$$

A lei de Lenz permite prever o **sentido da corrente** induzida

- A corrente induzida deve ter uma direcção tal que o fluxo que ela gera se oponha à variação do Φ_B externo.
- A corrente induzida tende a manter o fluxo original através do circuito.



Como se geram correntes induzidas?



$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

$$\varepsilon = -\frac{d}{dt}(B \cdot A \cdot \cos\theta)$$

É possível induzir uma *fem* num circuito de diversas maneiras:

- 1) O módulo de B pode variar com o tempo;
- 2) a área limitada pelo circuito pode variar com o tempo;
- 3) o ângulo, θ , entre B e dA pode variar com o tempo
- 4) qualquer combinação destas situações.

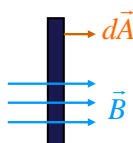


Fluxo do campo magnético $\Phi_B = B A \cos \theta$

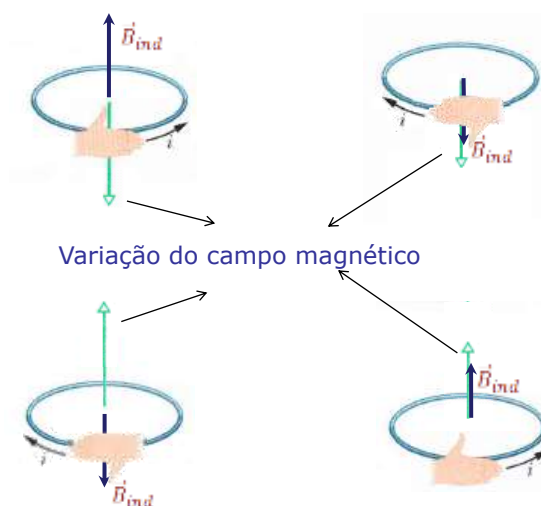
$$\vec{B} \perp d\vec{A} \Rightarrow \theta = 90^\circ, \Phi_B = 0$$



$$\vec{B} \parallel d\vec{A} \Rightarrow \theta = 0^\circ, \Phi_B = B.A \text{ (valor máximo)}$$



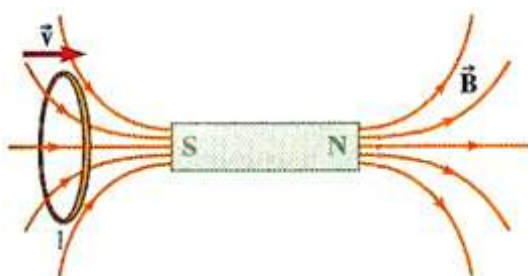
Indução





Movimento de uma espira num campo magnético

Consideremos uma espira que se move com uma velocidade \vec{v} e cuja superfície passa através de um íman.



Vamos, primeiro, analisar o que sucede quando a espira se aproxima do magnete (1).

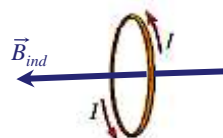
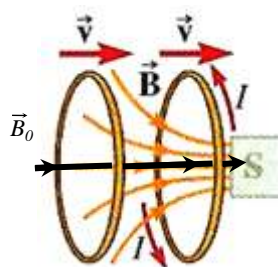


(1) a espira aproxima-se do campo...

Quando a espira se aproxima do íman, o fluxo do campo magnético através da espira, Φ_B , aumenta.

Como consequência, aparece na espira uma corrente induzida.

O sentido desta corrente é tal, que cria um campo induzido que irá contrariar a variação criada pelo movimento da espira.

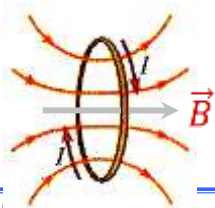
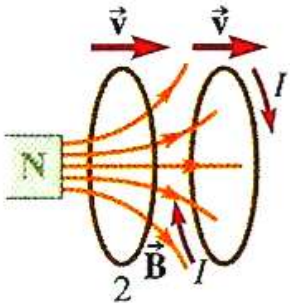




(2) a espira afasta-se do campo...

Quando a espira se afasta do íman, o fluxo magnético que a atravessa, diminui.

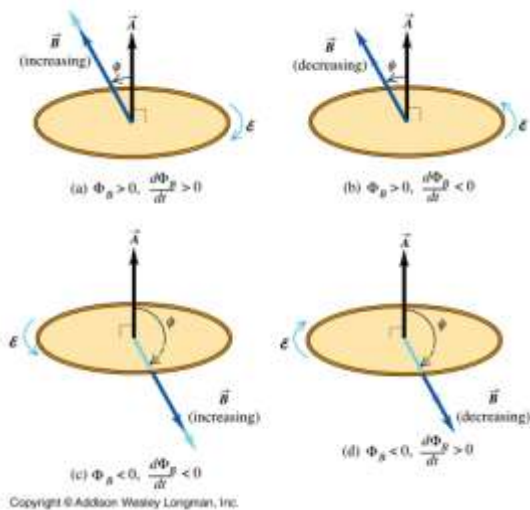
O sentido da corrente induzida será tal que contrarie esta variação. Assim o sentido da corrente induzida terá que provocar um aumento do fluxo magnético através da espira.



A corrente induzida tem o sentido horário, que gera um Φ_B para a direita.



Fluxo do campo magnético





Exemplo 1

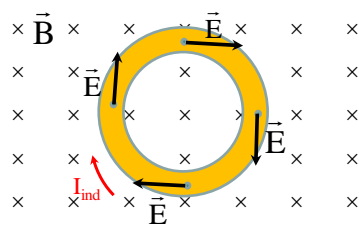
Um campo magnético uniforme de 2000 G , faz um ângulo de 30° com o eixo de uma bobine circular de 300 espiras, com 4 cm de raio. Calcular o fluxo do campo magnético através da bobine.

$$1\text{ G} = 10^{-4}\text{ T}$$



Campo eléctrico induzido

Vamos imaginar uma espira de cobre colocada num campo magnético, com direcção perpendicular à espira, e que vai diminuindo o longo do tempo.



B diminui ao longo do tempo

Vimos que uma alteração do fluxo magnético através de um circuito, induzia uma corrente eléctrica no circuito.

Se existe uma corrente induzida, podemos então concluir que deve ter sido criado também um campo eléctrico induzido.



A força electromotriz induzida, ε , vem: $\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}$ $\varepsilon = -\pi r^2 \frac{dB}{dt}$

O campo eléctrico pode ser relacionado com a fem*:

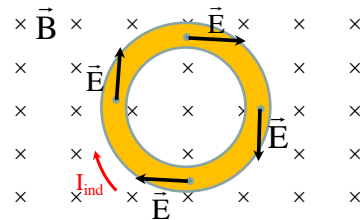
$$\varepsilon = E \cdot 2\pi r \quad E = \frac{\varepsilon}{2\pi r}$$

Escrevendo e em função do fluxo:

$$E = -\frac{\pi r^2}{2\pi r} \frac{dB}{dt}$$

$$E = -\frac{r}{2} \frac{dB}{dt}$$

O sinal negativo significa que o campo eléctrico induzido tem um sentido tal que se opõe à alteração provocada pela variação do fluxo magnético.



B diminui ao longo do tempo

* recordar que: $dV = \vec{E} \cdot d\vec{s}$



Forma geral da Lei de Faraday

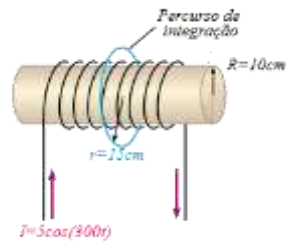
$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

- Uma variação do fluxo do campo magnético produz um campo eléctrico.
- O campo eléctrico produzido existe mesmo que o circuito não esteja lá (se não existir um condutor, não existe corrente eléctrica, mas o campo eléctrico continua a existir)
- O campo eléctrico induzido é não conservativo. O campo definido pela lei de Faraday não é um campo electrostático. Se fosse electrostático e conservativo o integral $\vec{E} \cdot d\vec{s}$ ao longo de uma linha fechada seria nulo.

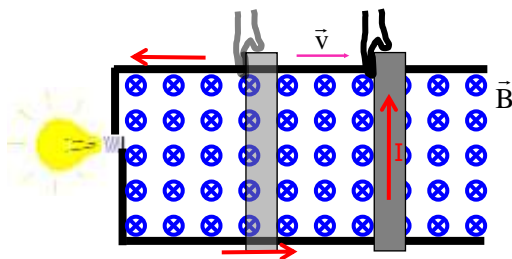


Exemplo 2

Um solenóide longo de 10cm de raio tem 300 espiras/centímetro. O solenoide é percorrido por uma corrente eléctrica periódica $I(t) = 5\cos(300t)$. Calcule o campo eléctrico induzido a uma distância de 15cm do centro do solenóide.



Indução e Transferência de Energia



Como calcular o trabalho realizado pelo exterior sobre o sistema espira/campo magnético ?

Como relacionar, através da lei de Lenz, a energia transferida com o trabalho exterior ?

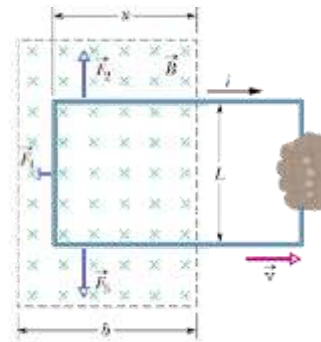


Considere a espira da figura que é movida, com velocidade constante, para a direita por uma força exterior.

Quando a espira se move o fluxo do campo magnético através da espira diminui, e surge uma corrente induzida na espira.

A presença de corrente na espira, numa região onde existe campo magnético leva ao aparecimento de forças nos lados da espira.

Se a velocidade da espira for constante, o somatório das forças será nulo.



O fluxo magnético através da espira é:

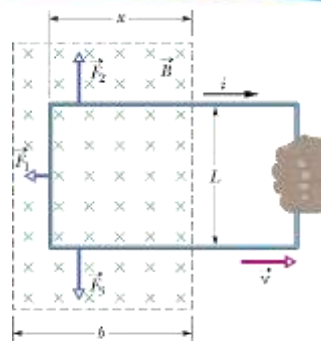
$$\Phi_B = B \cdot A = B \cdot L \cdot x$$

O fluxo diminui com o tempo, a força electromotriz induzida, vem:

$$|\varepsilon| = \frac{d(B \cdot L \cdot x)}{dt} \Leftrightarrow |\varepsilon| = BL \frac{dx}{dt} \Leftrightarrow |\varepsilon| = BLv$$

Se a resistência do circuito for R , a corrente da espira será:

$$|\varepsilon| = RI \Leftrightarrow I = \frac{BLv}{R}$$





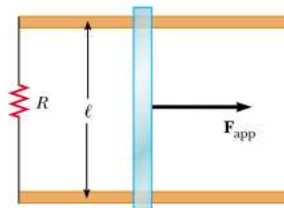
Exemplo 3

Considere o esquema da figura, em que uma barra condutora pode ser deslocada.

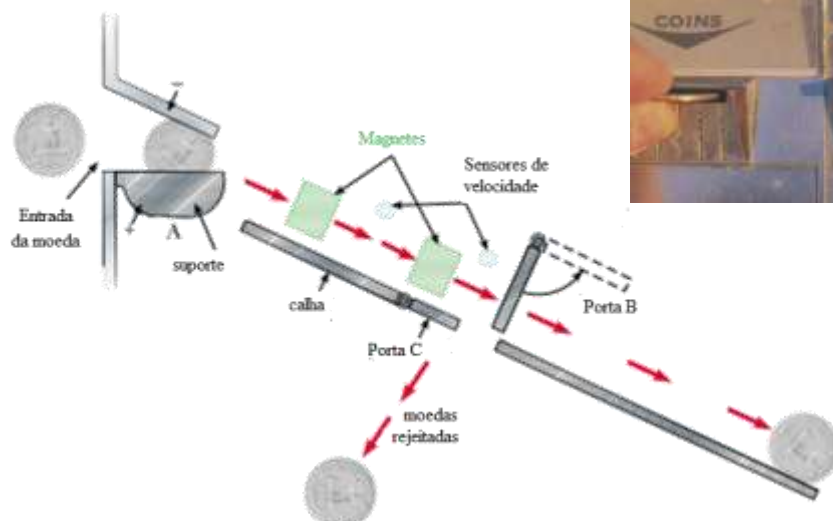
O circuito encontra-se localizado numa região onde existe um campo magnético uniforme de 2.5 T, dirigido "para dentro".

Admita que a resistência $R = 6.00 \, \Omega$, $l = 1.20 \, \text{m}$.

- A que velocidade deve ser movida a barra para que a corrente na resistência seja de 0.50 A?
- Qual o sentido da corrente?



Máquinas de moedas

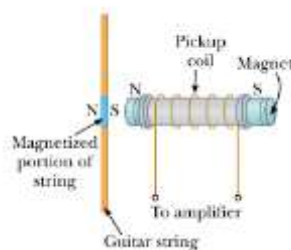




- Quando a moeda entra na máquina, uma diferença de potencial é aplicada através da moeda e a sua resistência eléctrica é medida.
- Se a resistência medida for aceitável, a plataforma desce e a moeda rola pela calha.
- Dois magnetes produzem correntes induzidas na moeda, o que faz com que surjam forças magnéticas que controlam a velocidade durante a descida. Se a velocidade for a esperada a porta B abre e a moeda é aceite. Se a velocidade não for a correcta, abre a porta C e a moeda é rejeitada



Guuitarra eléctrica



Na guitarra eléctrica a vibração de uma corda induz uma *fem* na bobina.

microfone



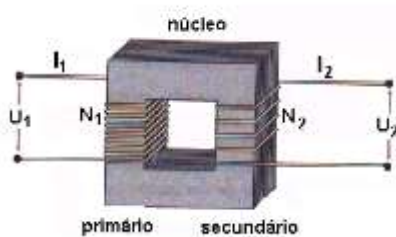
No microfone os sons (vibração mecânica) são “traduzidos” em sinais eléctricos, que são mais facilmente transportado ou transformados.

As ondas sonoras fazem vibrar uma membrana.

A vibração do diafragma é transmitida a uma bobina, que se move “de acordo” com as características da onda sonora.

A bobina está sob a influência do campo magnético de um ímã, e o seu movimento irá originar variações do fluxo magnético gerando impulsos eléctricos.

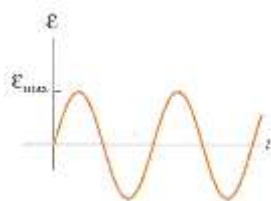
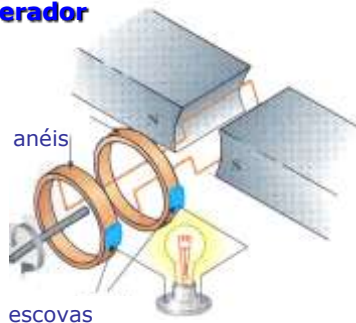
Transformador



<http://phet.colorado.edu/index.php>



Gerador



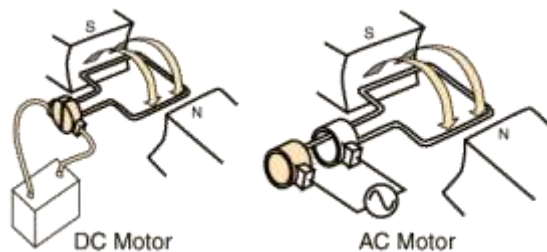
- Num gerador de corrente alternada (AC) simples a espira condutora é posta a girar num campo magnético, por um agente externo (queda de água, vapor de água, pedais de uma bicicleta, etc).
- Quando a espira gira no campo, o fluxo magnético através dela varia em função do tempo, originando no circuito externo uma força electromotriz e uma corrente induzida.

Um gerador converte energia mecânica em energia eléctrica.



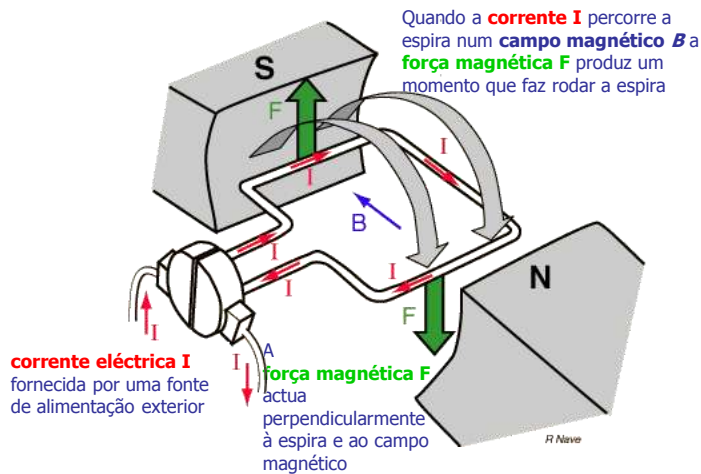
Geradores e motores

Um motor utiliza energia eléctrica para produzir movimento (geralmente a rotação de um eixo)



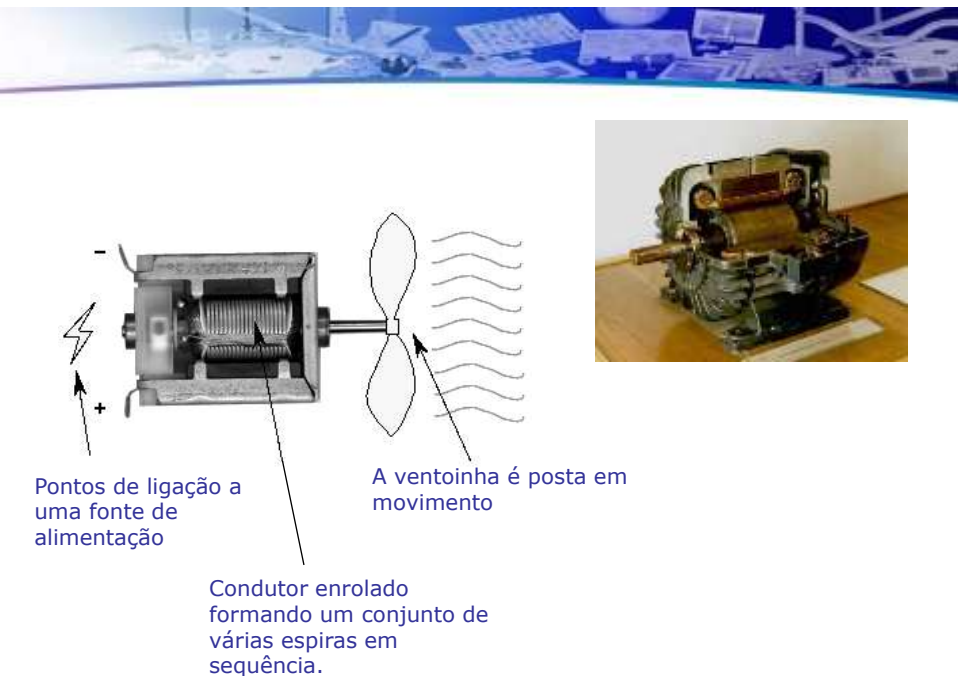
- Na sua essência, um motor é um gerador que opera de modo inverso: em lugar de se gerar uma corrente, pela rotação duma bobina, fornece-se uma corrente à bobina, mediante uma bateria, e o momento que actua sobre a bobina percorrida pela corrente provoca a rotação.

motores



Cacilda Moura-DFUM

27



Cacilda Moura-DFUM

28



Fluxo do campo magnético:

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

Através do movimento relativo entre condutores e magnetes, ou através dos campos magnéticos variáveis produzidos por correntes variáveis, criam-se correntes eléctricas induzidas.

Lei de Faraday-Lenz: A *fem* induzida instantaneamente num circuito corresponde à taxa de variação do fluxo magnético através do circuito. O sentido da *fem* induzida é tal que produz uma corrente eléctrica cujo campo magnético se opõe à variação do fluxo magnético através da espira.

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$