

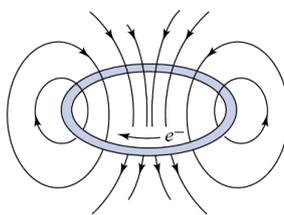
Aula 10

- **Magnetismo da Matéria**
- **Indução Magnética**

Momento Magnético Momento de Dipolo

É originado devido à movimentação de partículas carregadas.

Momento
Magnético

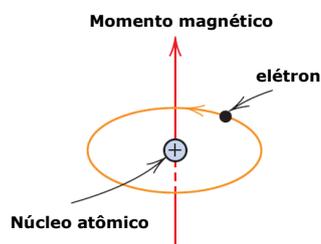


Linhas de força de
campo magnético

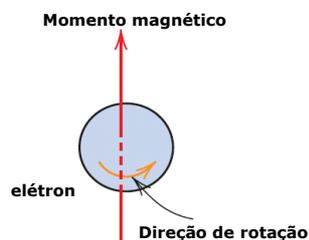
$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

Origem dos momentos magnéticos no átomo

MOMENTO ORBITAL



MOMENTO DE SPIN



Magneton de Bohr = Quantum de momento magnético para o elétron
 $\mu_B = 9,27 \times 10^{-24} \text{ A.m}^2$

Momento de spin: $\pm \mu_B$

Momento orbital: $m_l \cdot \mu_B$
 (m_l é o no. quântico magnético; $-l < m_l < l$)

Propriedades Magnéticas Macroscópicas = \sum Momentos Magnéticos dos Elétrons Individuais

Momento magnético resultante no átomo

- **ALGUNS MOMENTOS ORBITAIS E DE SPIN SE CANCELAM**
- **O MOMENTO LÍQUIDO DO ÁTOMO É A SOMA DOS MOMENTOS ORBITAL E SPIN QUE NÃO SE CANCELAM**
- **ÁTOMOS COM CAMADAS E SUBCAMADAS CHEIAS NÃO TÊM CAPACIDADE DE SER PERMANENTEMENTE MAGNETIZADAS.**

No. atômico	Elemento	Estrutura Eletrônica de elementos 3d	Momento (μ_B)
21	Sc	\uparrow \square \square \square \square	1
22	Ti	\uparrow \uparrow \square \square \square	2
23	V	\uparrow \uparrow \uparrow \square \square	3
24	Cr	\uparrow \uparrow \uparrow \uparrow \uparrow	5
25	Mn	\uparrow \uparrow \uparrow \uparrow \uparrow	5
26	Fe	$\uparrow\downarrow$ \uparrow \uparrow \uparrow \uparrow	4
27	Co	$\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$ \uparrow \uparrow \uparrow	3
28	Ni	$\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$ \uparrow \uparrow	2
29	Cu	$\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$	0

\uparrow = orientação do spin eletrônico

Materiais Ferromagnéticos

Magnetismo forte

$$J/T = A/m$$

Materiais com momentos de spin que tendem a se alinhar paralelos uns aos outros, mesmo na presença de um campo magnético fraco

ferromagnéticos

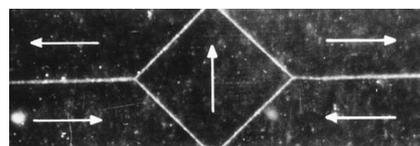
Este alinhamento permanente é devido ao forte acoplamento entre átomos vizinhos efeitos quânticos

Momentos Magnéticos de Alguns Átomos e Íons ($\times 10^{-24}$ J/T)	
Átomo (ou íon)	Momento Magnético por Átomo ou por Íon
H	9,27
He	0
Ne	0
Fe	20,6 \rightarrow 20,6
Co	16,0
Ni	5,62
Gd	65,8
Dy	92,7
Co ²⁺	44,5
Ni ²⁺	29,7
Fe ²⁺	50,1
Ce ³⁺	19,8
Yb ³⁺	37,1

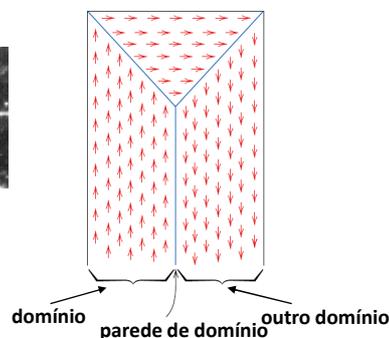
Organização dos momentos magnéticos em materiais ferromagnéticos

Porque o ferro, antes de estar sujeito a um campo magnético, não apresenta magnetismo? \rightarrow domínios magnéticos

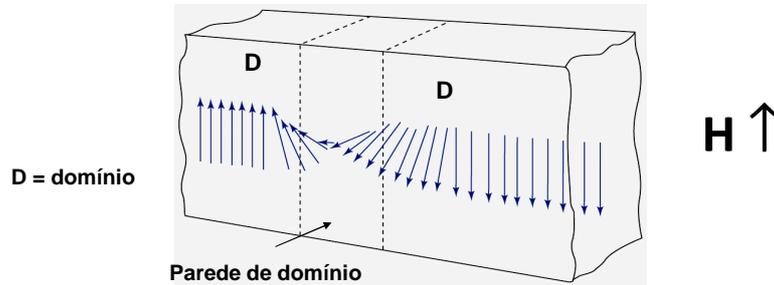
Domínios: são regiões em que o material ferromagnético se subdivide, de forma que dentro de cada domínio a magnetização de saturação é máxima. A somatória das magnetizações dos domínios é nula.



Fe $H = 0$



Paredes de domínios



Momento magnético: módulo constante, muda a direção (rotação)

Quando é aplicado um campo magnético H (ou B) a parede de domínio se movimenta

Dureza Magnética - Classificação de Materiais Magnéticos

- **Materiais Magnéticos Macios (Doces)**
 - Fe, Fe-Si: fácil movimentação das paredes de domínios com a mudança de intensidade e direção do campo magnético; magnetiza e desmagnetiza facilmente.
- **Materiais Magnéticos Duros**
 - Usados em ímãs permanentes → alta resistência à desmagnetização.
 - Difícil movimentação das paredes de domínios, paredes aprisionadas (defeitos do material)

Indução Magnética

Uma espira condutora percorrida por uma corrente I na presença de um campo magnético sofre ação de um torque:
espira de corrente + campo magnético → **torque**

Pergunta-se então:

- Se uma espira, com a corrente desligada, girar no interior de uma região onde há um campo magnético B , aparecerá uma corrente I na espira? Isto é:
- **torque + campo magnético** → **corrente?**

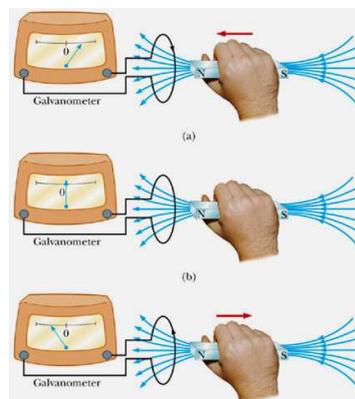
Experimentos de Michael Faraday - 1

Faraday observou que o *movimento relativo* no conjunto ímãs e circuitos metálicos fechados fazia aparecer nestes últimos *correntes transientes*.

Espira conectada a um galvanômetro (G) – não há bateria!

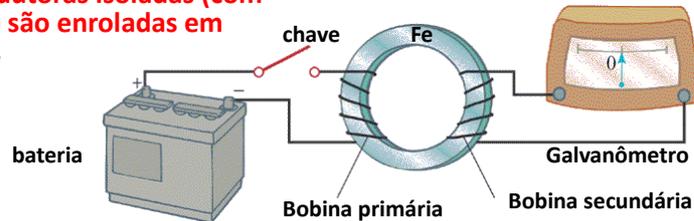
1- Se houver **movimento relativo** ímã-espira aparecerá uma corrente no galvanômetro.

2- **Quanto mais veloz** for o movimento, **maior será a corrente** na espira.



Experimentos de Michael Faraday - 2

Duas espiras condutoras isoladas (com esmalte isolante) são enroladas em um anel de ferro.



Fechando-se a chave uma corrente passa pela bobina primária e aparece um **pico momentâneo** de corrente no galvanômetro.

Abrindo-se a chave (para desligar a corrente), aparece um pico momentâneo de corrente no galvanômetro, na **direção oposta à anterior**.

Embora não haja movimento das espiras, temos uma **corrente induzida** ou uma **força eletromotriz induzida (fem)**

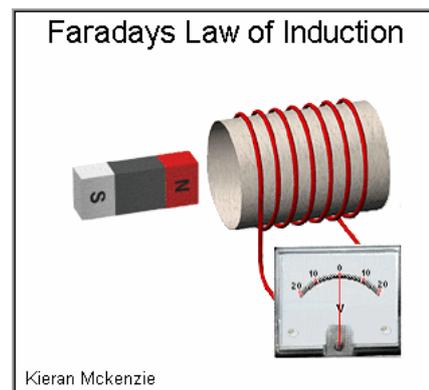
Corrente induzida



FEM induzida

Uma corrente elétrica ou fem é criada no circuito do enquanto houver um movimento relativo entre o ímã e a espira ou seja se o campo magnético varia com o tempo.

$$I \rightarrow \frac{dB}{dt}$$



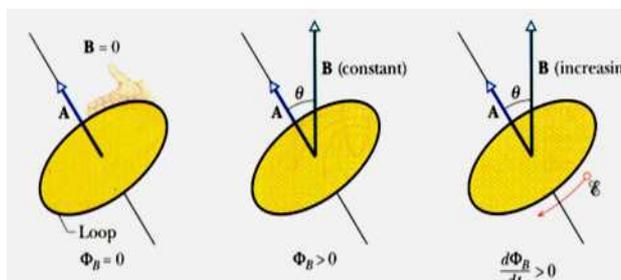
A Lei de Faraday da Indução

Fluxo do campo magnético:

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

$$[\Phi_B] = \text{weber}$$

$$1 \text{ weber} = 1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot \text{m}^2$$

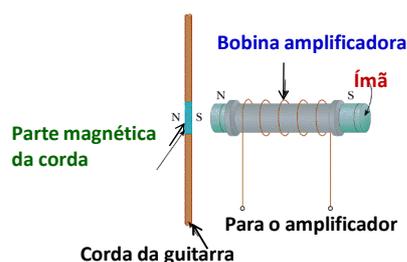


A intensidade da **fem** \mathcal{E} é igual à taxa de variação temporal do **fluxo do campo magnético** :

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (\text{Lei de Faraday})$$

O **sinal negativo** indica que a **fem deve se opor** à **variação** do fluxo que a produziu.

Enigma 23.3: O amplificador de uma guitarra elétrica consiste em um ímã permanente cercado por uma bobina de fio. Como o amplificador detecta o movimento de uma corda de aço da guitarra?



A bobina amplificadora é colocada perto da corda vibrante de uma guitarra, que é feita de um material que pode ser magnetizado.

O ímã permanente dentro da bobina magnetiza a parte da corda mais próxima à bobina.

A parte da corda magnetizada vibra e produz uma variação de fluxo que é sentida pela bobina, através da indução de uma fem e esta fem alimenta um amplificador. A saída do amplificador é ligada a altos falantes.

Exemplo 23.2: Uma espira plana, de área A , é colocada em uma região onde o campo magnético faz um ângulo θ com a normal ao plano e tem a mesma magnitude em todos os pontos dentro da área da bobina a qualquer instante. A magnitude do campo magnético varia com o tempo de acordo com a expressão:

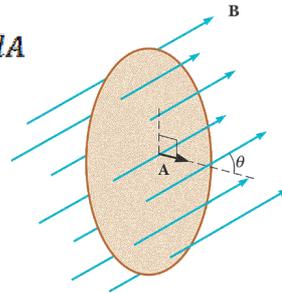
Encontre a fem induzida em função do tempo. $B = B_{max} e^{-at}$

$$\phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} = \int B dA \cos\theta = B \cos\theta \int dA$$

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

$$\varepsilon = -B_{max} A \cos\theta \frac{d}{dt}(e^{-at})$$

$$\varepsilon = a A B_{max} \cos\theta e^{-at}$$



Problema 23.6

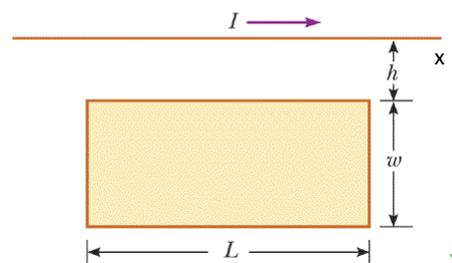
- Uma espira de fio na forma de retângulo de largura w e comprimento L e um fio longo e reto que conduz uma corrente I , encontram-se sobre uma mesa, como mostra a Figura.

- determine o fluxo magnético através da espira.
- Suponha que a corrente esteja variando com o tempo de acordo com $I = a + bt$, onde a e b são constantes. Determine a fem induzida na espira se $b=10,0$ A/s, $h=1,00$ cm e $L = 100$ cm. Qual a direção da corrente induzida na espira?

Que equações usar?

$$\phi_B = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$

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



Problema 23.8

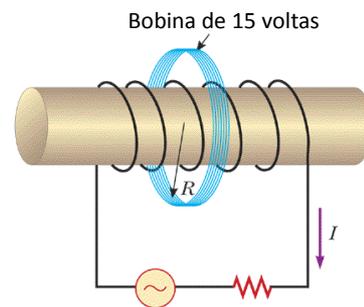
- Um transformador é usado para transferir potência de um circuito elétrico de corrente alternada para outro, mudando a corrente e a voltagem ao fazer isso. Um transformador particular consiste em uma bobina de 15 voltas com raio de 10,0 cm que cercam um solenóide longo com raio de 2,00 cm e $1,00 \times 10^3$ espiras/m (Veja Figura). Se a corrente no solenóide variar com $I = 5 \text{ sen}(120t)$ (A), encontre a fem induzida na bobina de 15 espiras em função do tempo?

Que equações usar?

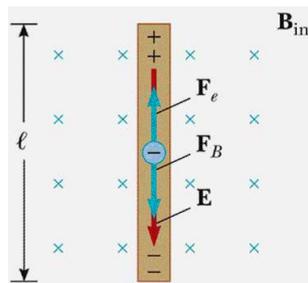
$$\mathcal{E} = -N \frac{d\phi_B}{dt}$$

$$\phi_B = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 N I}{\ell}$$



FEM de movimento



Condutor reto se deslocando com velocidade constante perpendicular ao campo magnético \rightarrow força magnética F_B sobre os elétrons \rightarrow elétrons aceleram para a extremidade inferior

A separação de cargas cria campo elétrico E dentro do condutor.

No equilíbrio, quando as cargas cessam de se movimentar:

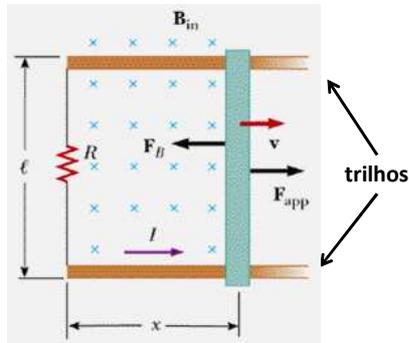
$$\sum \vec{F} = \vec{F}_e - \vec{F}_B = 0 \longrightarrow qE = qvB$$

$$E = vB \longrightarrow E\ell = vB\ell$$

$$\Delta V = vB\ell \longrightarrow$$

A ddp é mantida enquanto o condutor se movimentar o campo magnético.
Se o movimento é invertido, a polaridade de ΔV também é invertida

Condutor móvel em um circuito fechado



- Barra condutora de comprimento ℓ de $R=0$ deslizando sobre trilhos.
- Campo magnético aplicado \perp ao plano da espira.

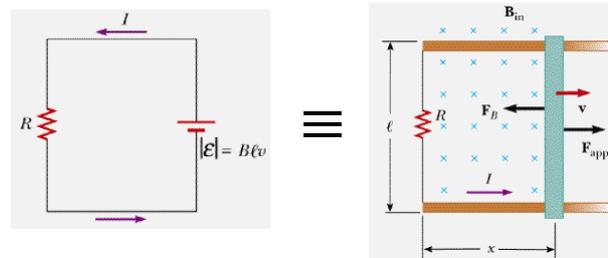
Barra puxada para a direita

Cargas induzidas a se movimentar na barra \rightarrow corrente no circuito.

O fluxo magnético externo através do circuito é: $\Phi_B = BA = B\ell x$

Logo, a fem induzida é:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}(B\ell x) = -B\ell \frac{dx}{dt} = -B\ell v$$



Barra móvel funciona como bateria. $\longrightarrow I = \frac{|\mathcal{E}|}{R} = \frac{B\ell v}{R}$

Se a barra deve se deslocar com velocidade constante, $F_{ap} = F_B = I\ell B$.

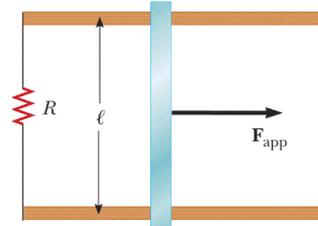
A potência fornecida pela força aplicada é:

$$P = F_{ap}v = [I\ell B]v = \left[\frac{(B\ell v)}{R} B\ell\right]v \quad P = \left[\frac{B^2 \ell^2 v^2}{R}\right] = \frac{I^2 R^2}{R} = RI^2$$

A potência calculada =
A taxa em que a energia é fornecida ao resistor =
Potência \mathcal{E} fornecida pela fem induzida.

Problema 23.12

- Uma haste condutora de comprimento l se desloca sobre dois trilhos horizontais, sem atrito, como mostrado na Figura. Se uma força constante de 1,00 N movimentar a barra a 2,0 m/s através de um campo magnético B que esteja orientado para dentro da página.



- (a) Qual é a corrente no resistor R de 8,00 Ω ?

$$F_B = IB\ell \quad I = \frac{|\mathcal{E}|}{R} : \quad \mathcal{E} = B\ell v$$

- (b) A que taxa a energia é fornecida ao resistor?

$$P = RI^2$$

- (c) Qual é a potência mecânica fornecida pela F_{ap} ?

$$P = Fv$$

Problema 23.16

- Uma bobina retangular com resistência R tem N espiras, cada uma de comprimento l e largura w . A bobina se desloca para dentro de um campo magnético uniforme B com velocidade constante v . Qual a magnitude e a direção da força magnética total sobre a bobina:

- (a) Enquanto ela entra no campo magnético?

- (b) Enquanto ela se desloca no campo?

- (c) Enquanto sai do campo?

