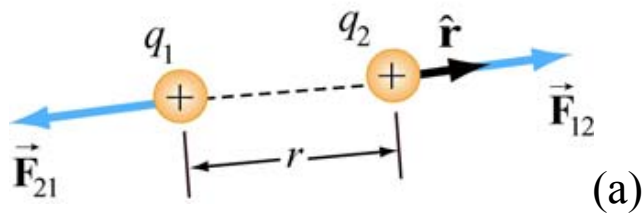


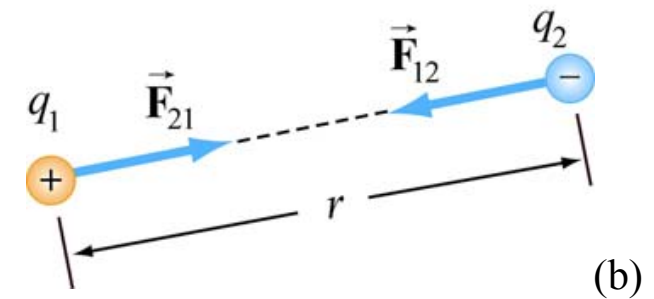
Lei de Faraday

Eletrostática

Lei de Coulomb

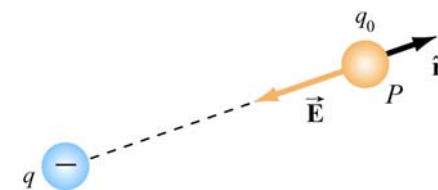


$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_2 q_1}{r^2} \hat{r}$$

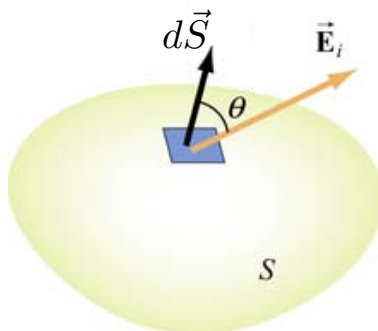


Campo elétrico

$$\vec{F}_{12} = q_2 \vec{E}_{12}; \quad \vec{E}_{12} = k \frac{q_1}{r^2} \hat{r}$$

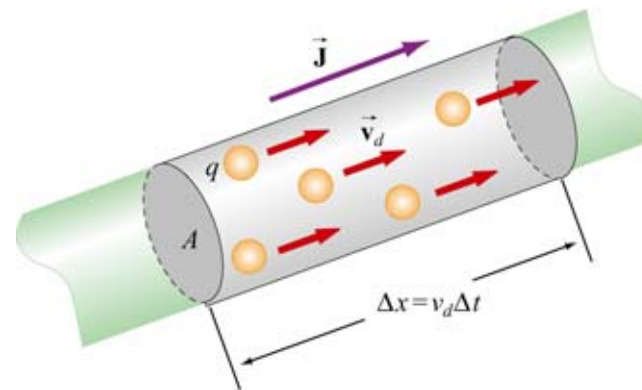


Lei de Gauss



$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

Cargas em movimento: corrente elétrica



- Carga em movimento interage com campo magnético: força de Lorentz

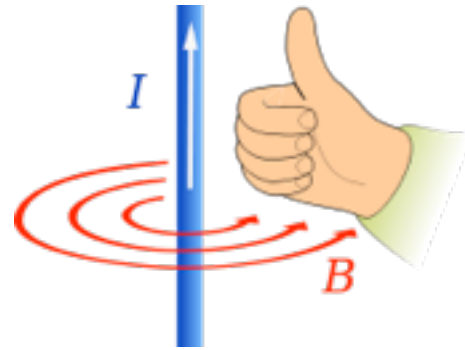
$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

 ↑ ↑

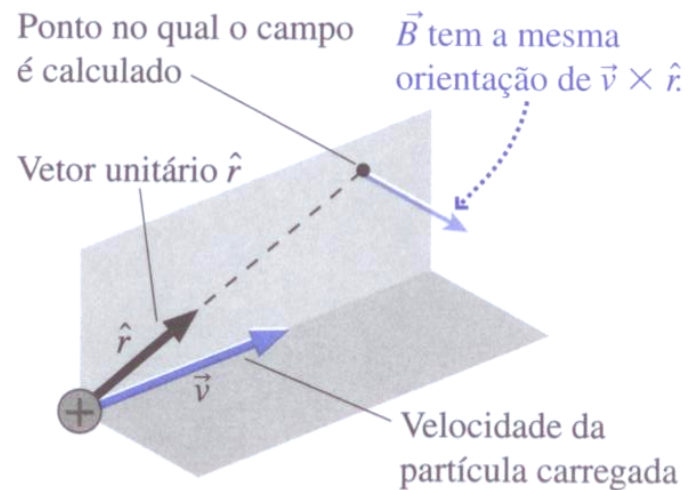
Interação com campo elétrico

Interação com campo magnético

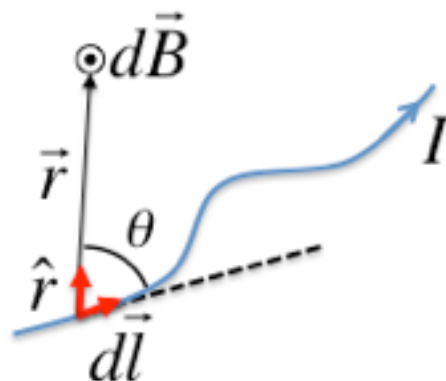
Carga em movimento gera campo magnético



- Campo magnético produzido por uma carga em movimento: Lei de Biot-Savard

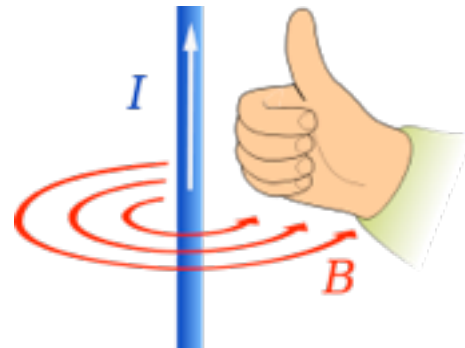


$$\vec{B} = \left(\frac{\mu_0}{4\pi} \right) \frac{q \vec{v} \times \hat{r}}{r^2}$$

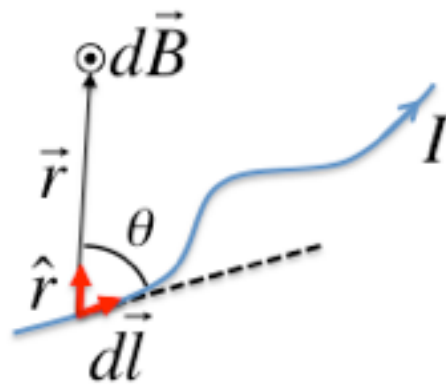


$$d\vec{B} = \left(\frac{\mu_0}{4\pi} \right) \frac{i d\vec{\ell} \times \hat{r}}{r^2}$$

Carga em movimento gera campo magnético

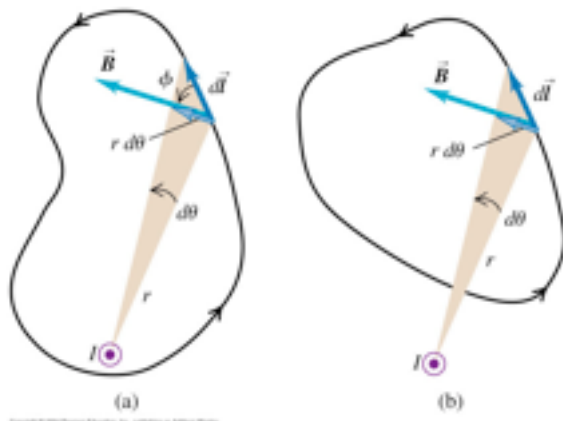


Lei de Biot-Savart



$$d\vec{B} = \left(\frac{\mu_0}{4\pi} \right) \frac{i d\vec{\ell} \times \hat{r}}{r^2}$$

Lei de Ampère

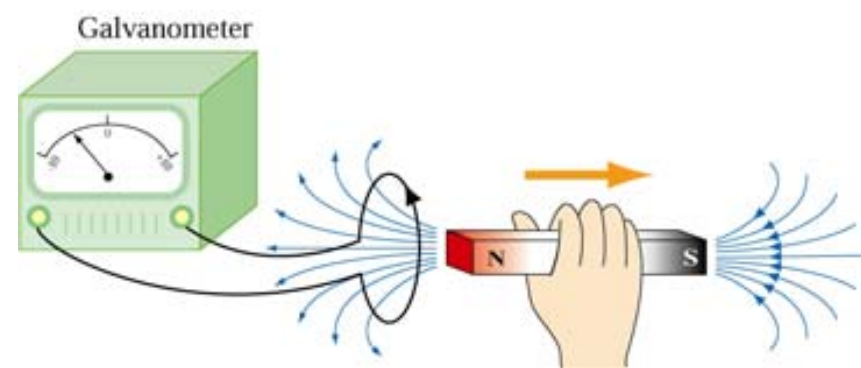
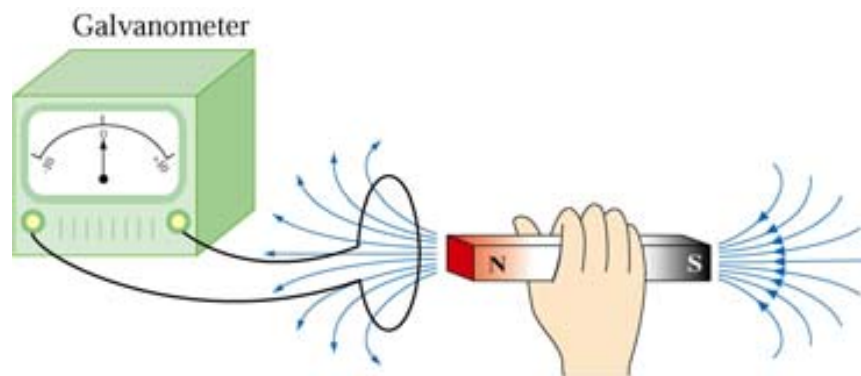
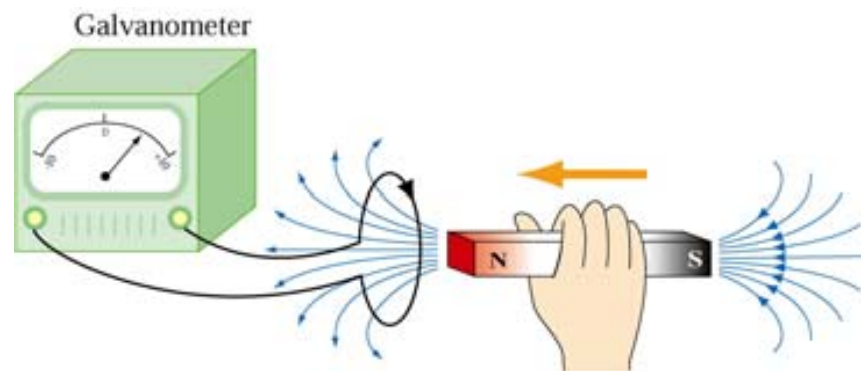


$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 I$$

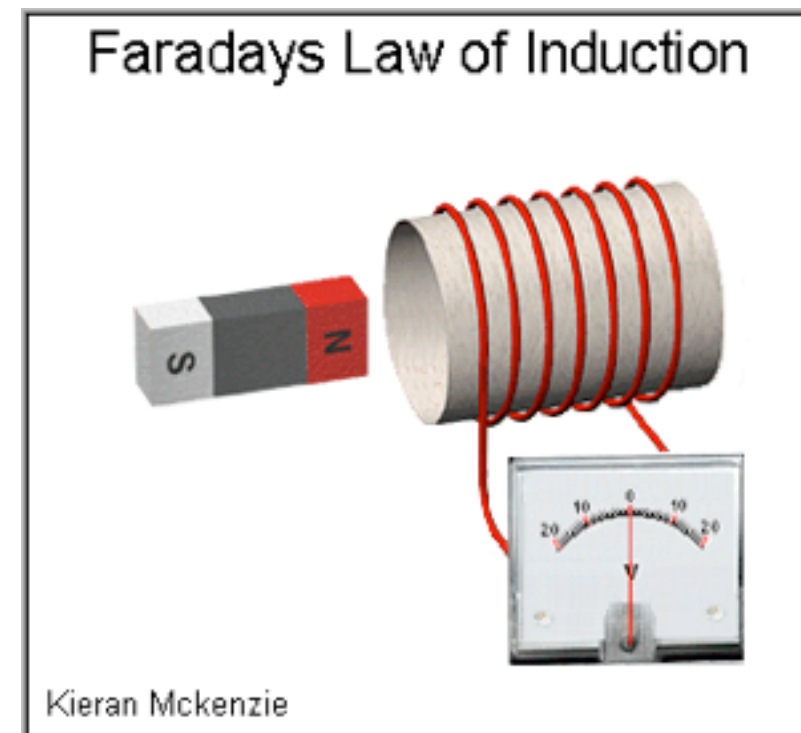
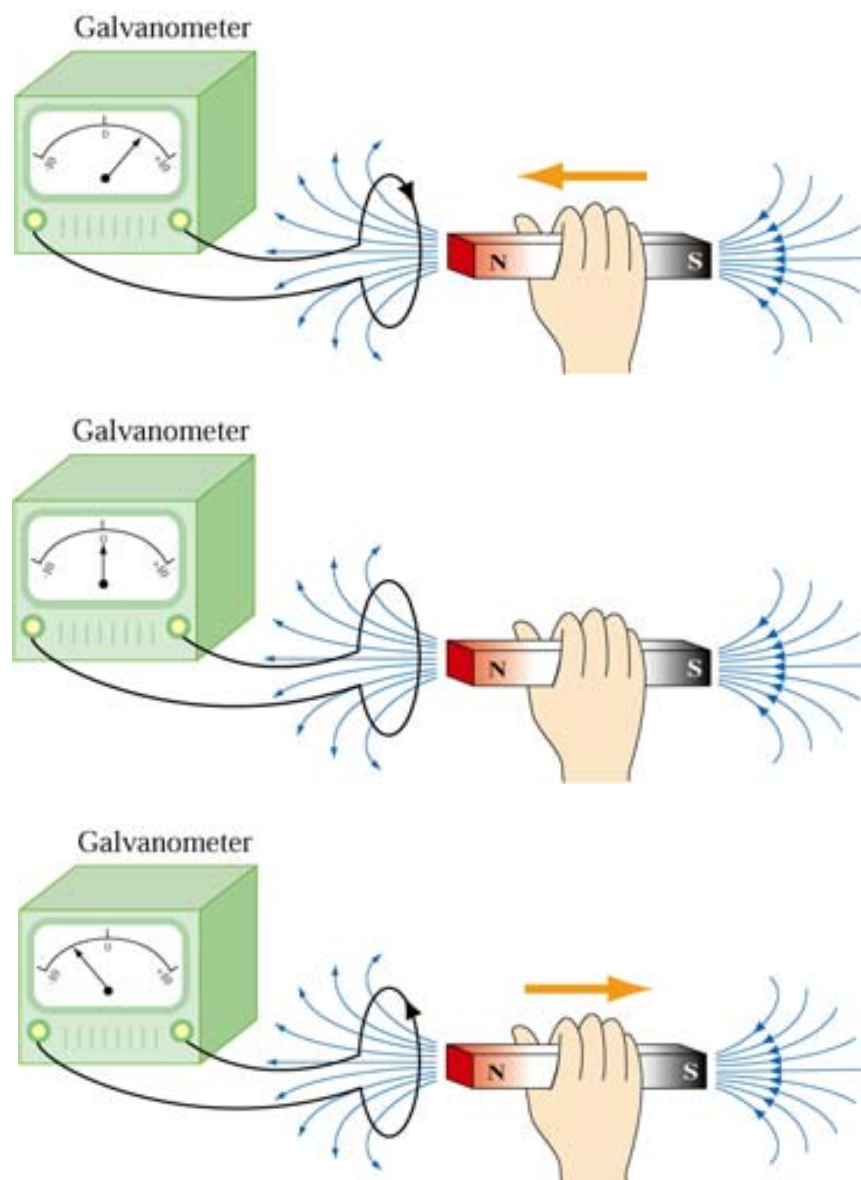
Lei de Faraday

Pausa
para alguns experimentos

Indução eletromagnética



Indução eletromagnética



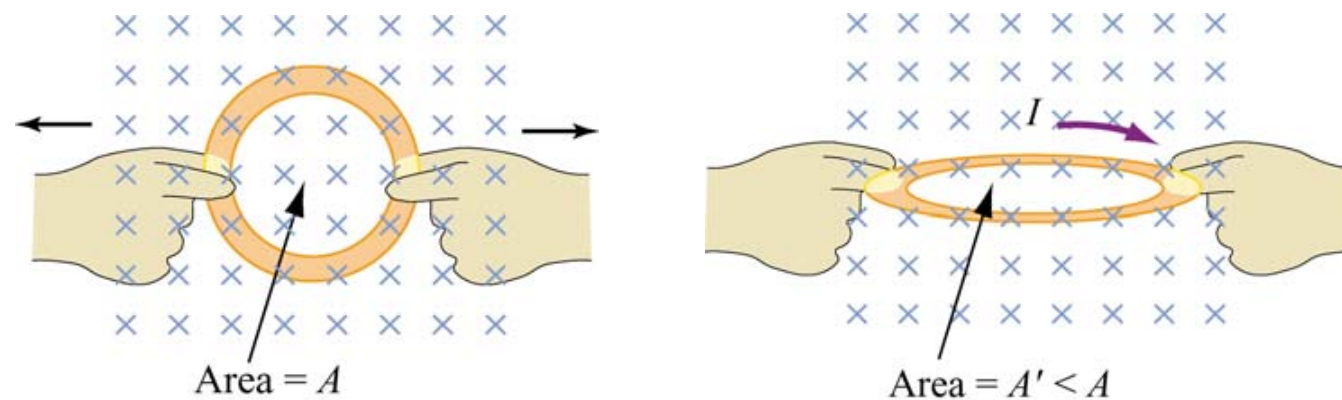
Observações experimentais

- Campo magnético pode gerar corrente elétrica:
 - quanto maior a velocidade do ímã maior a corrente,
 - se $v=0$ não há corrente (*)
 - se o ímã estiver parado e a espira se movimentando também há corrente
 - corrente induzida depende da área da espira

(*) Área da espira e o valor de $\vec{B}$ permanecerem constantes

Observações experimentais

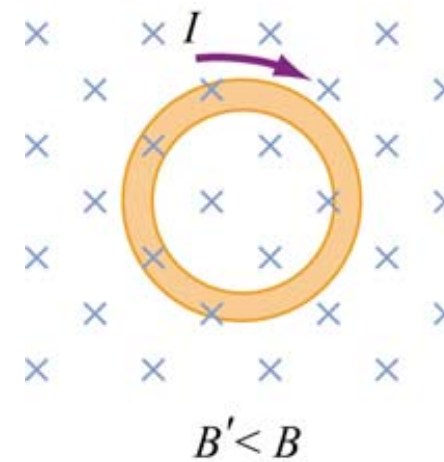
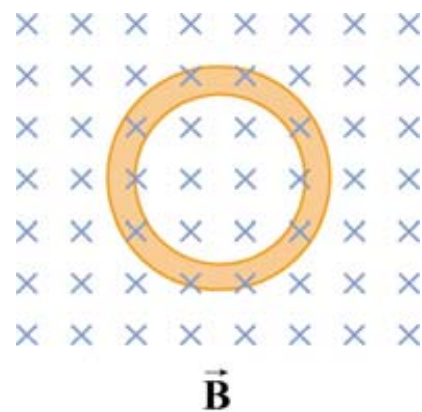
- Com o valor de $\vec{B}$ fixo, se a área da espira variar com o tempo há corrente induzida



Se a área aumentar ($A' > A$) a corrente induzida aparece no sentido oposto

Observações experimentais

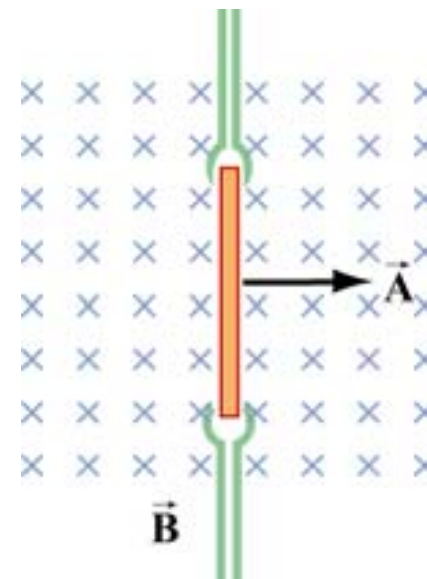
- Se o valor de $\vec{B}$ variar com o tempo aparece corrente induzida



Se o valor de B aumentar ($B' > B$) a corrente induzida aparece no sentido oposto

Observações experimentais

- Se o ângulo entre $\vec{B}$ e $\vec{A}$ variar com o tempo, aparece corrente induzida



Observações experimentais

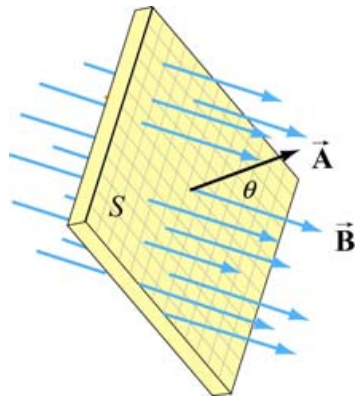
- A corrente induzida é proporcional a:

- velocidade relativa entre o ímã e a espira,
- intensidade do campo magnético sobre a espira
- área da espira

- A corrente elétrica induzida é proporcional à variação do fluxo de campo magnético através da espira.

Lei de Faraday

Matematicamente, a Lei de Faraday é dada por:



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

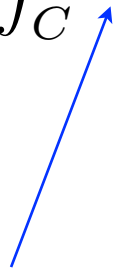
$$\epsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

Lei de Lenz

- Parodiando a célebre frase de cunho anarquista: Hay gobierno? Soy contra!
- Lei de Lenz: Hay variación de flujo? Soy contra!

Lei de Faraday

- Podemos imaginar que esta f.e.m. induzida decorre de um campo elétrico induzido, que causa o aparecimento da corrente elétrica induzida

$$\epsilon = \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{\ell}$$


Campo elétrico induzido

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = -\frac{d}{dt} \left(\int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} \right)$$

Lei de Faraday

Note que este campo elétrico $\vec{E}$ induzido **não** é conservativo: a circulação de $\vec{E}$ ao longo de um circuito fechado é diferente de zero .

Lei de Lenz: convenção para o vetor área

- Arbitra-se um sentido para o vetor área. A regra da mão direita estabelece o sentido positivo da circulação. Por exemplo:

Suponha que $\vec{B}$ tenha este sentido



Com esta escolha para $d\vec{S}$ este é o sentido positivo da circulação

- Verificação:

$$\blacksquare (a) \quad \otimes d\vec{S} \quad \odot \vec{B} \Rightarrow \vec{B} \cdot d\vec{S} = -BdS \Rightarrow \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{dB}{dt}dS$$

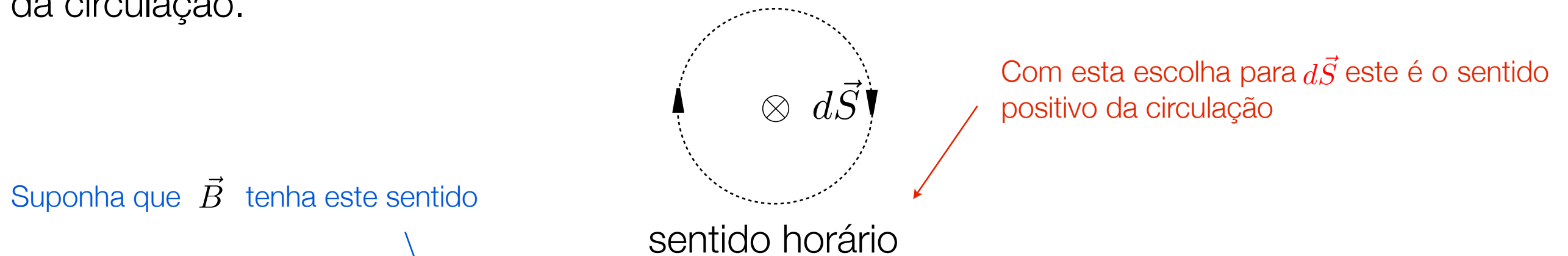
$$\blacksquare \text{ Se } \frac{dB}{dt} > 0 \text{ (campo aumenta } \odot) \Rightarrow \epsilon = -\frac{d\Phi}{dt} > 0 \Rightarrow I_{ind} \curvearrowright$$

$$\blacksquare \text{ Se } \frac{dB}{dt} < 0 \text{ (campo diminui } \odot) \Rightarrow \epsilon = -\frac{d\Phi}{dt} < 0 \Rightarrow I_{ind} \curvearrowleft$$

(*) Note que campo aponta na mesma direção nos dois casos acima. A corrente **não** se opõe ao campo; opõe-se à variação do fluxo

Lei de Lenz: convenção para o vetor área

- Mantendo o sentido do vetor área. A regra da mão direita estabelece o sentido positivo da circulação.



- Verificação:

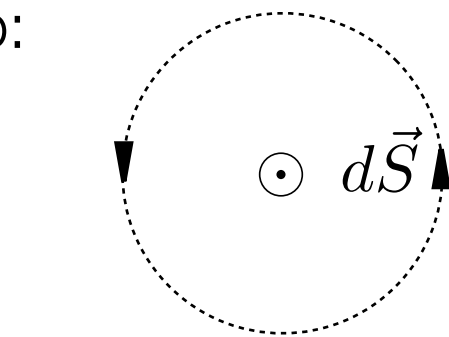
■ (b) $\otimes d\vec{S} \quad \otimes \vec{B} \Rightarrow \vec{B} \cdot d\vec{S} = B dS \Rightarrow \frac{d\Phi}{dt} = \frac{dB}{dt} dS$

■ Se $\frac{dB}{dt} > 0$ (campo aumenta $\otimes$) $\Rightarrow \epsilon = -\frac{d\Phi}{dt} < 0 \Rightarrow I_{ind} \curvearrowright$

■ Se $\frac{dB}{dt} < 0$ (campo diminui $\otimes$) $\Rightarrow \epsilon = -\frac{d\Phi}{dt} > 0 \Rightarrow I_{ind} \curvearrowleft$

Lei de Lenz: convenção para o vetor área

- Arbitra-se um sentido para o vetor área. A regra da mão direita estabelece o sentido positivo da circulação. Por exemplo:



Com esta escolha para $d\vec{S}$ este é o sentido positivo da circulação

sentido anti-horário

Suponha que $\vec{B}$ tenha este sentido

- Verificação:

■ (c) $\odot \quad d\vec{S} \quad \odot \quad \vec{B} \Rightarrow \vec{B} \cdot d\vec{S} = B dS \Rightarrow \frac{d\Phi}{dt} = \frac{dB}{dt} dS$

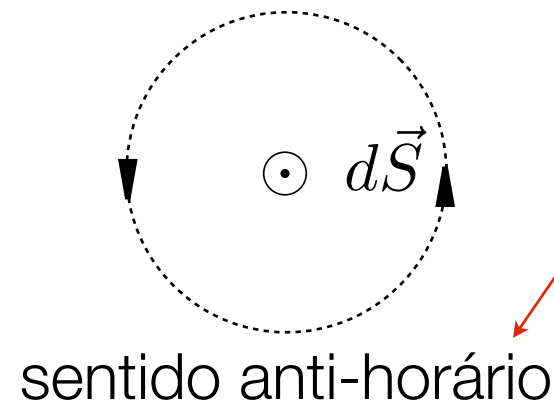
■ Se $\frac{dB}{dt} > 0$ (campo aumenta $\odot$) $\Rightarrow \epsilon = -\frac{d\Phi}{dt} < 0 \Rightarrow I_{ind} \curvearrowright$

■ Se $\frac{dB}{dt} < 0$ (campo diminui $\odot$) $\Rightarrow \epsilon = -\frac{d\Phi}{dt} > 0 \Rightarrow I_{ind} \curvearrowleft$

Lei de Lenz: convenção para o vetor área

- Mantendo o sentido do vetor área. A regra da mão direita estabelece o sentido positivo da circulação.

Suponha que $\vec{B}$ tenha este sentido



Com esta escolha para $d\vec{S}$ este é o sentido positivo da circulação

- Verificação:

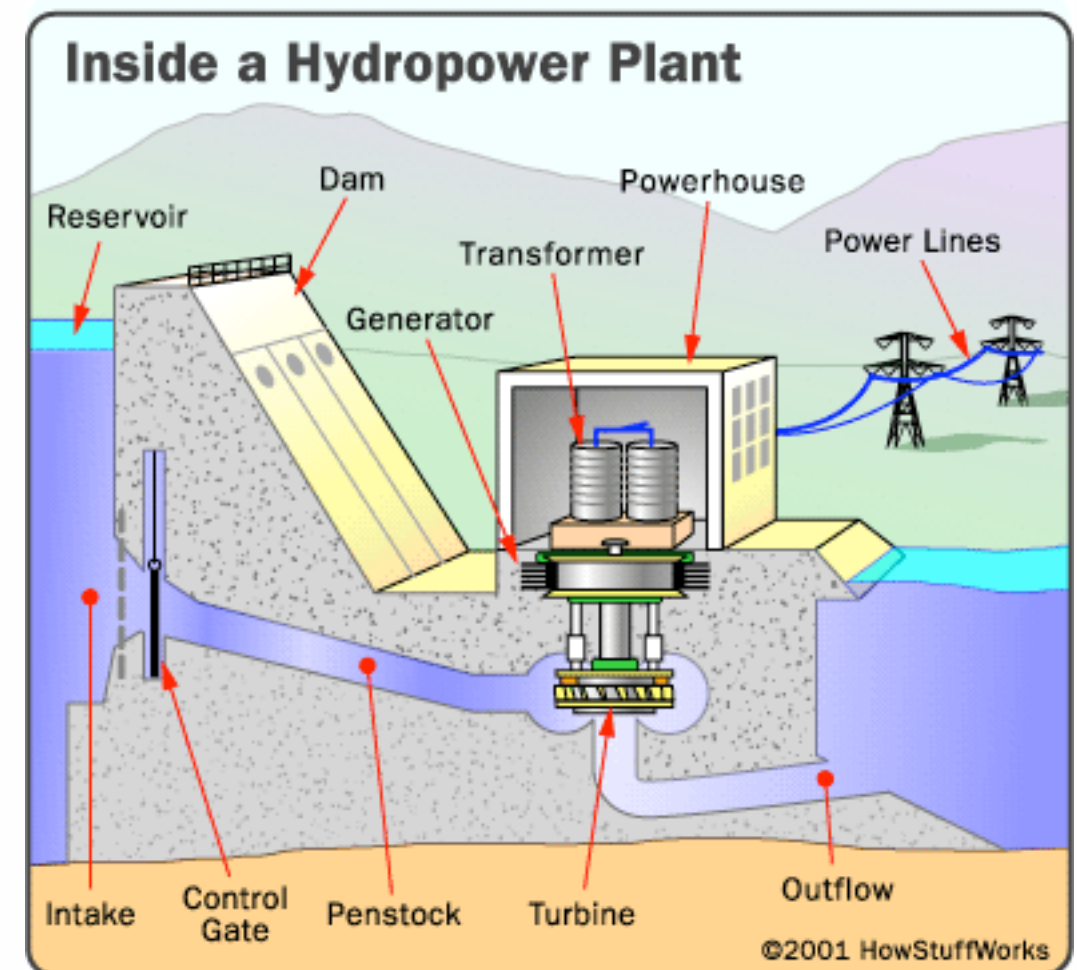
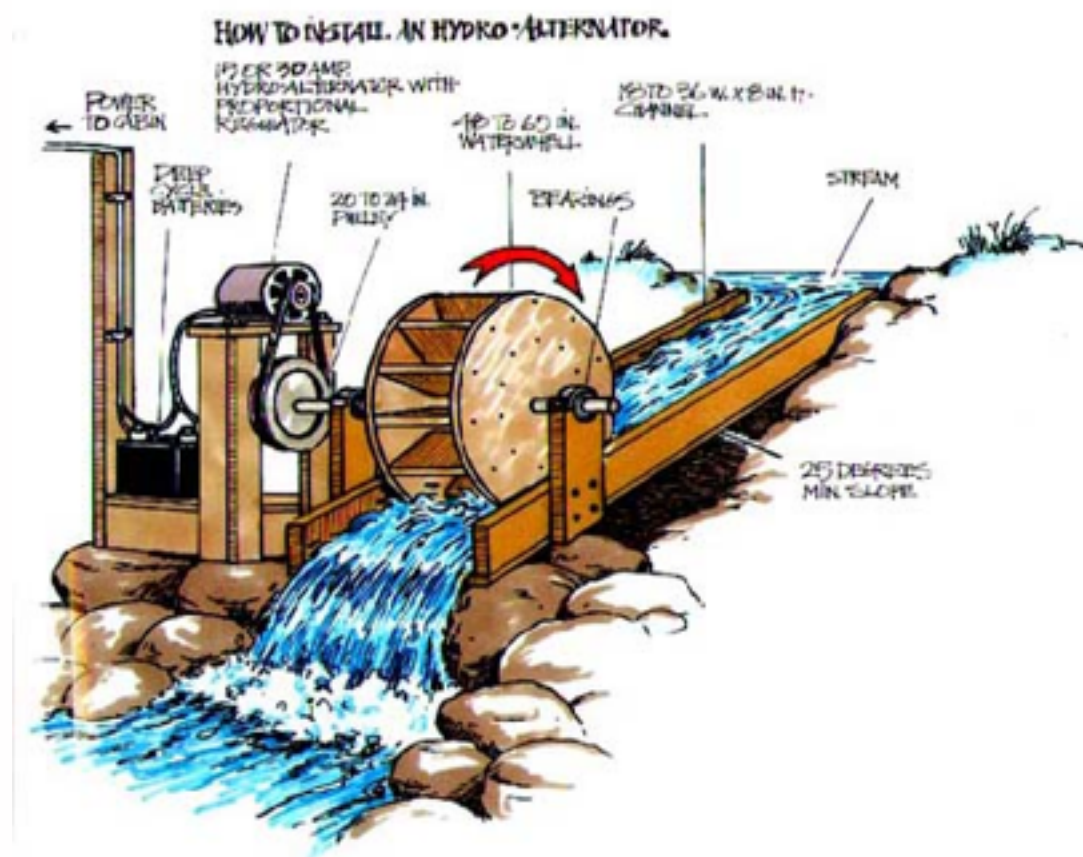
$$\blacksquare (d) \quad \odot \quad d\vec{S} \quad \otimes \quad \vec{B} \Rightarrow \vec{B} \cdot d\vec{S} = -BdS \Rightarrow \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{dB}{dt}dS$$

$$\blacksquare \text{ Se } \frac{dB}{dt} > 0 \text{ (campo aumenta } \otimes) \Rightarrow \epsilon = -\frac{d\Phi}{dt} > 0 \Rightarrow I_{ind} \curvearrowright$$

$$\blacksquare \text{ Se } \frac{dB}{dt} < 0 \text{ (campo diminui } \otimes) \Rightarrow \epsilon = -\frac{d\Phi}{dt} < 0 \Rightarrow I_{ind} \curvearrowleft$$

(*) Na prática não precisamos nos preocupar com isto por que a “Lei do contra” nos fornece o sentido da corrente induzida.

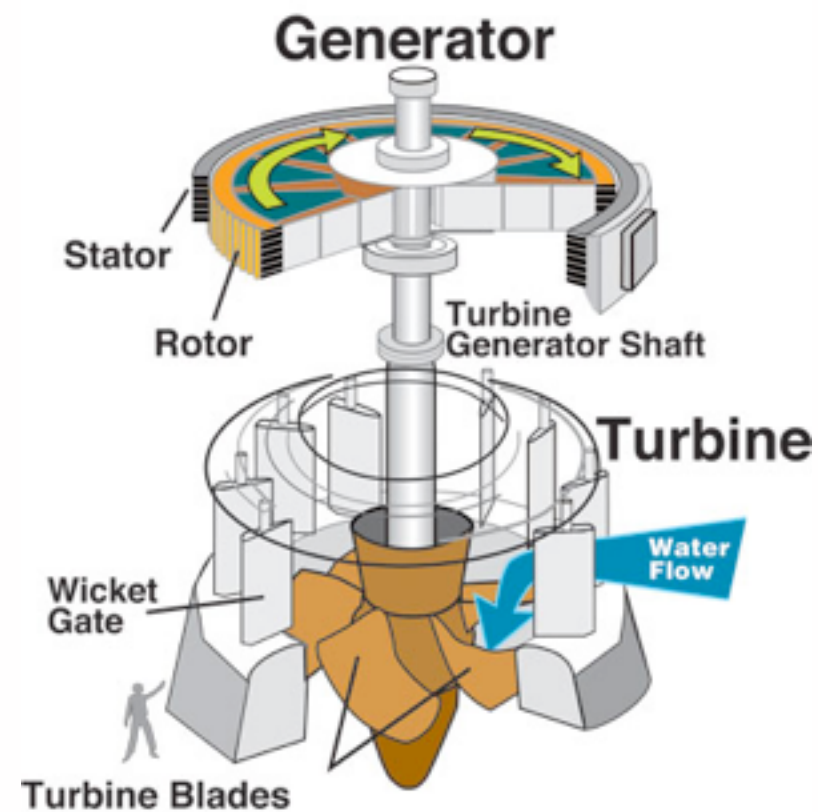
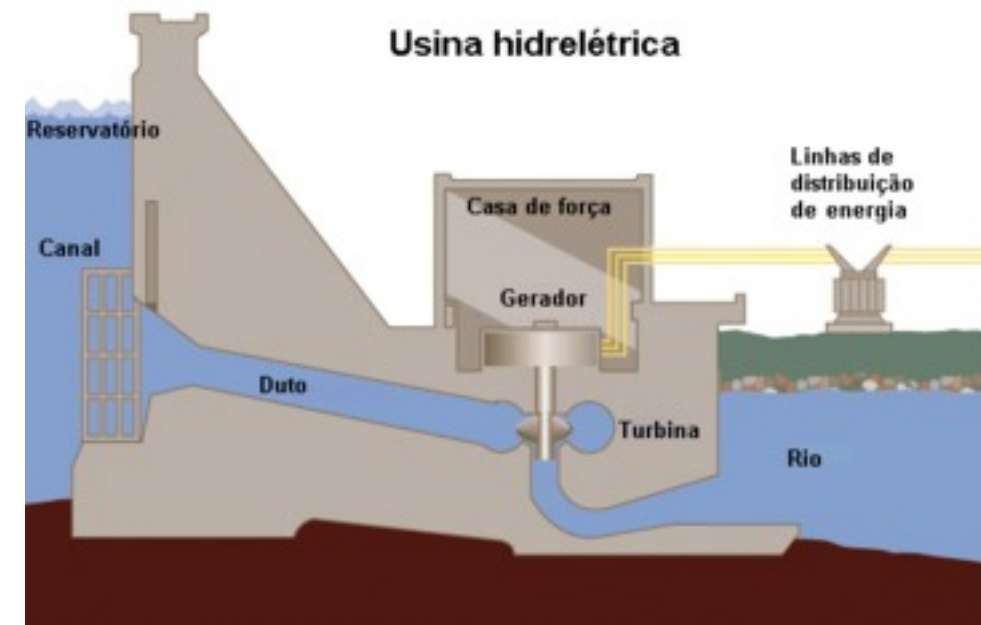
Aplicações da Lei de Faraday: geração de eletricidade



Um vídeo com um gerador caseiro em

w.greenoptimistic.com/2010/03/09/build-small-scale-hydroelectric-generator/#.UpSOUGRDt8M

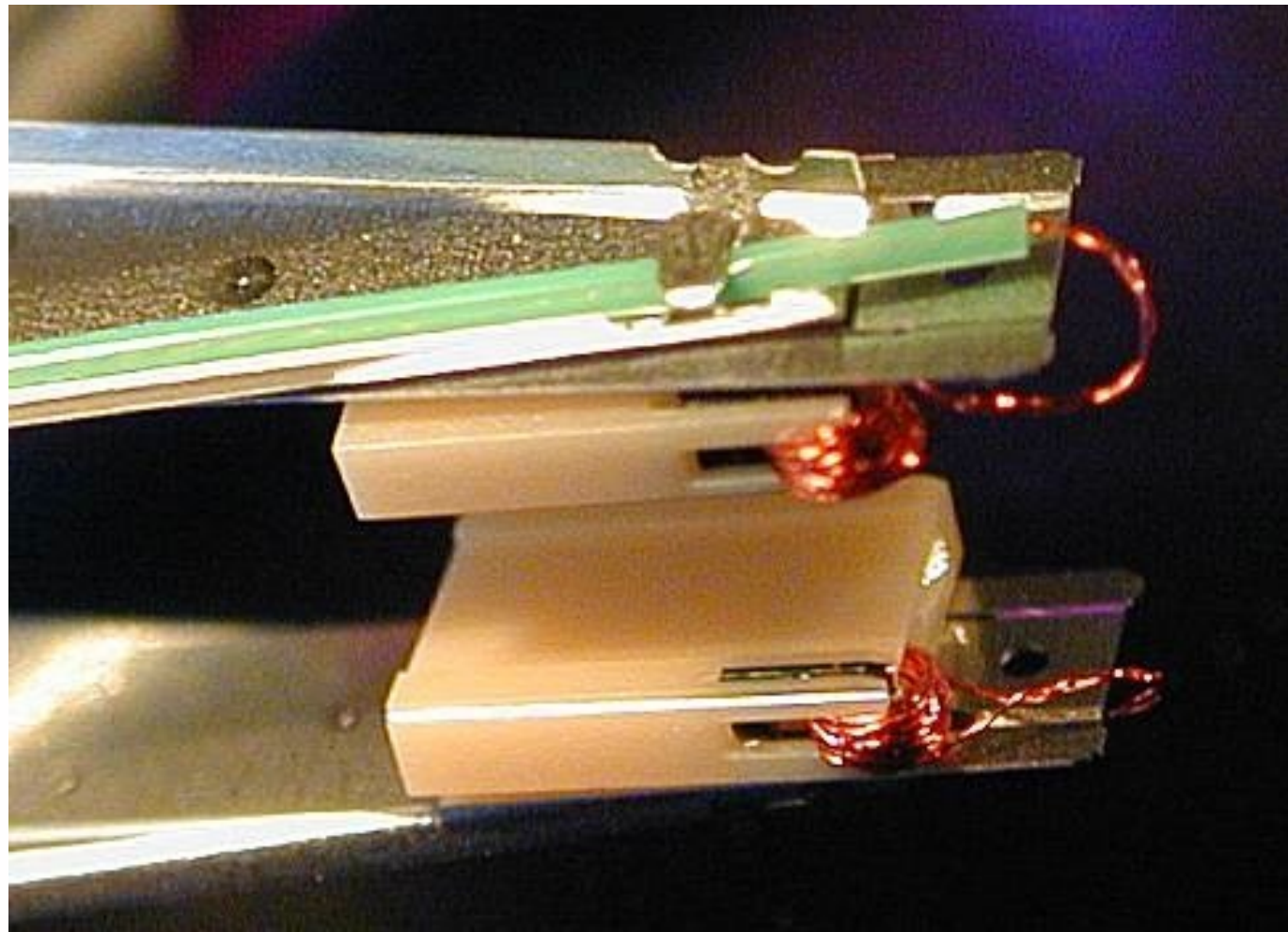
Aplicações da Lei de Faraday: geração de eletricidade



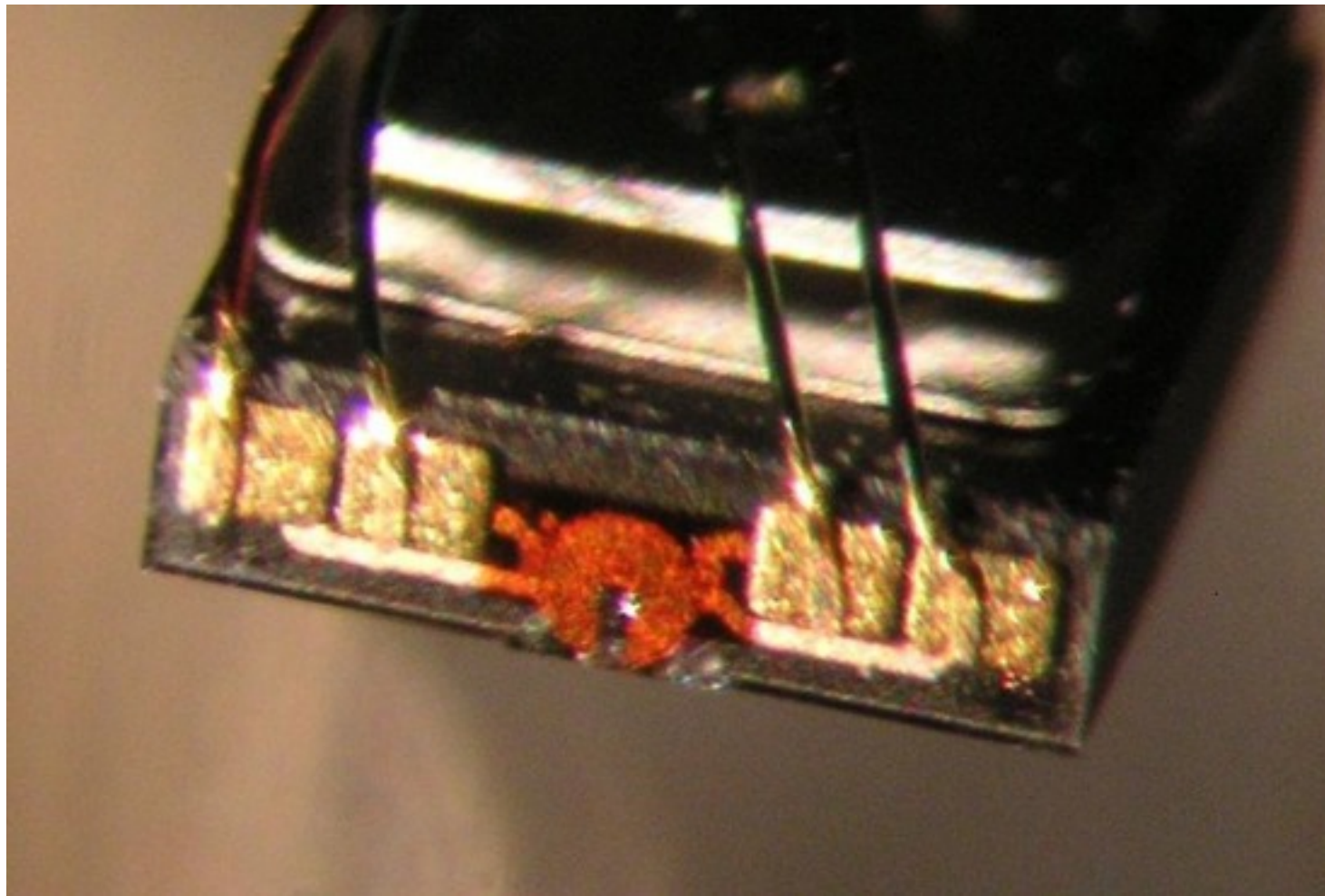
Os primeiros discos rígidos comerciais utilizavam sensores indutivos para escrita e leitura



Os primeiros discos rígidos comerciais utilizavam sensores indutivos para escrita e leitura



Os primeiros discos rígidos comerciais utilizavam sensores indutivos para escrita e leitura



Digitalização

- Informação é codificada em bits: contração inglesa de *binary digits* (0,1)

Um bit:

0
1

 2 possibilidades

Dois bits:

0	0
0	1
1	0
1	1

 4 possibilidades

- 1 Byte = 8 bits

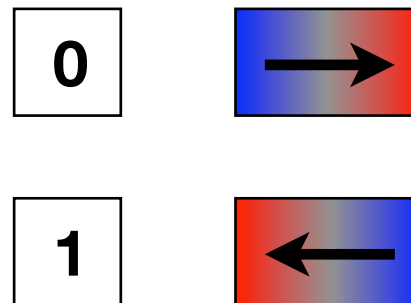
0	0	0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

 $2^8 = 256$ possibilidades

- 1 palavra (*word*) = 4 Bytes = 32 bits = $2^{32} = 4.294.967.296$ possibilidades

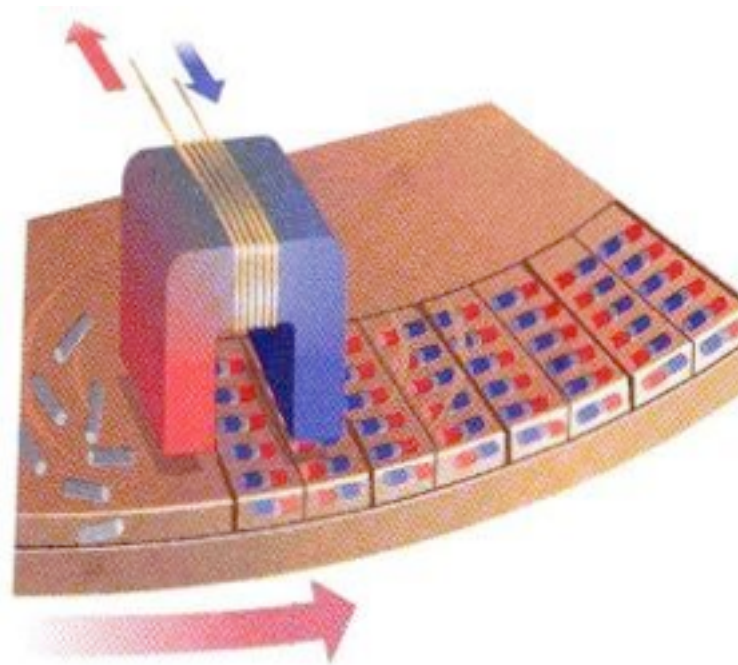
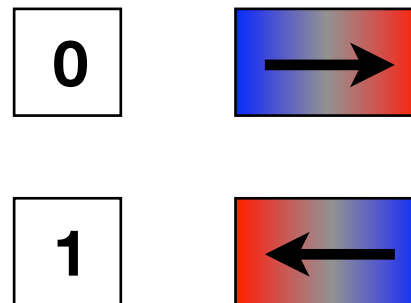
Armazenagem de informação

- Em meios magnéticos, os bits são unidades magnetizadas em uma direção ou outra



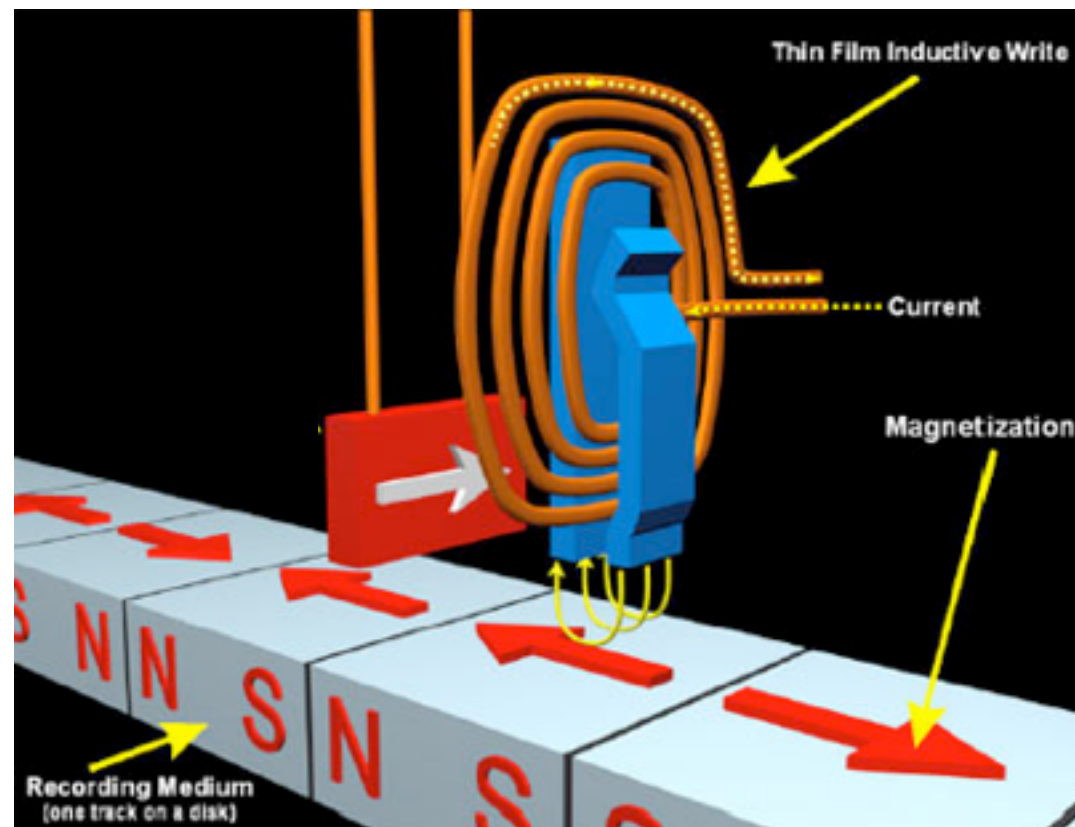
Armazenagem de informação

- Em meios magnéticos, os bits são unidades magnetizadas em uma direção ou outra

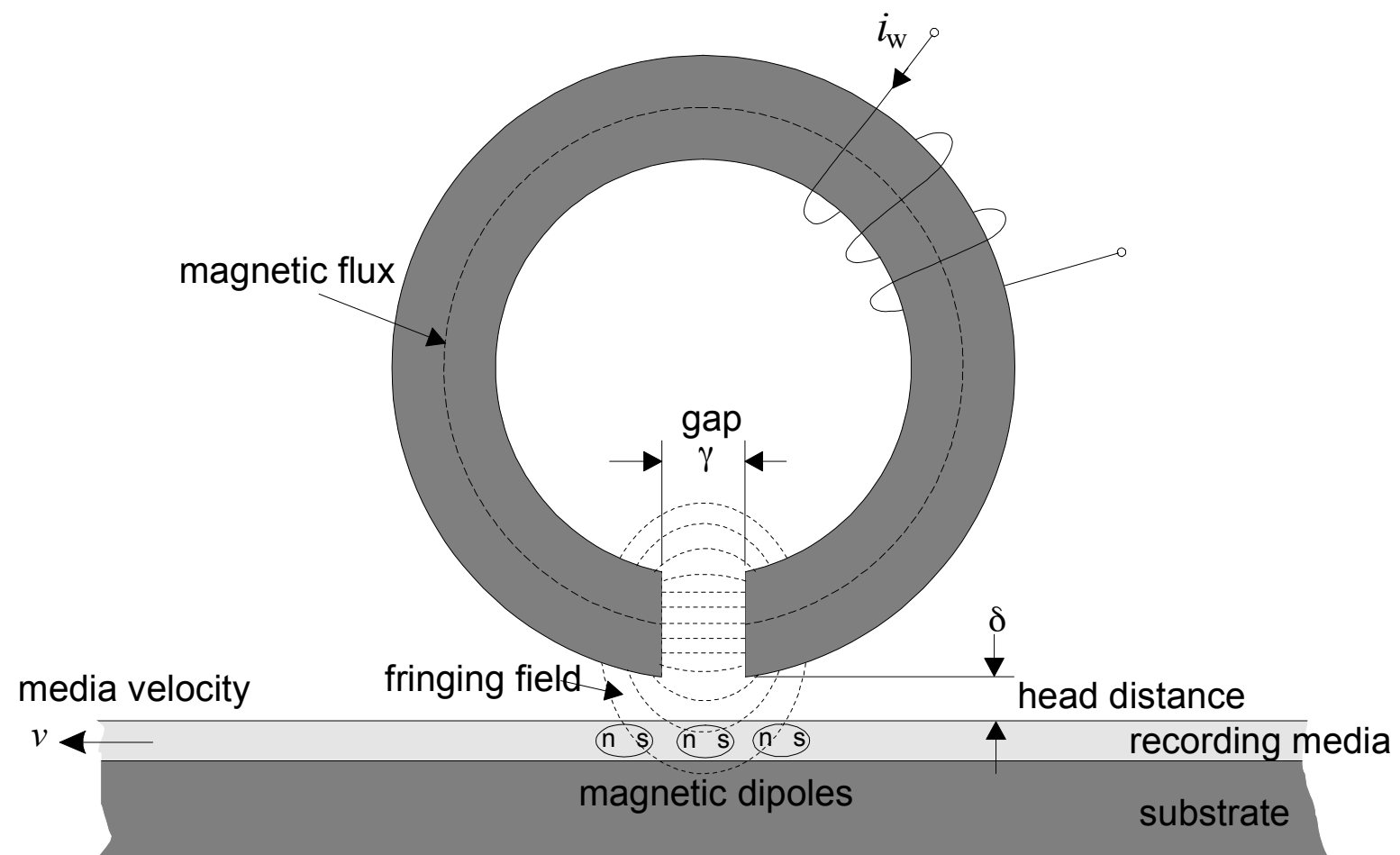


Armazenagem de informação

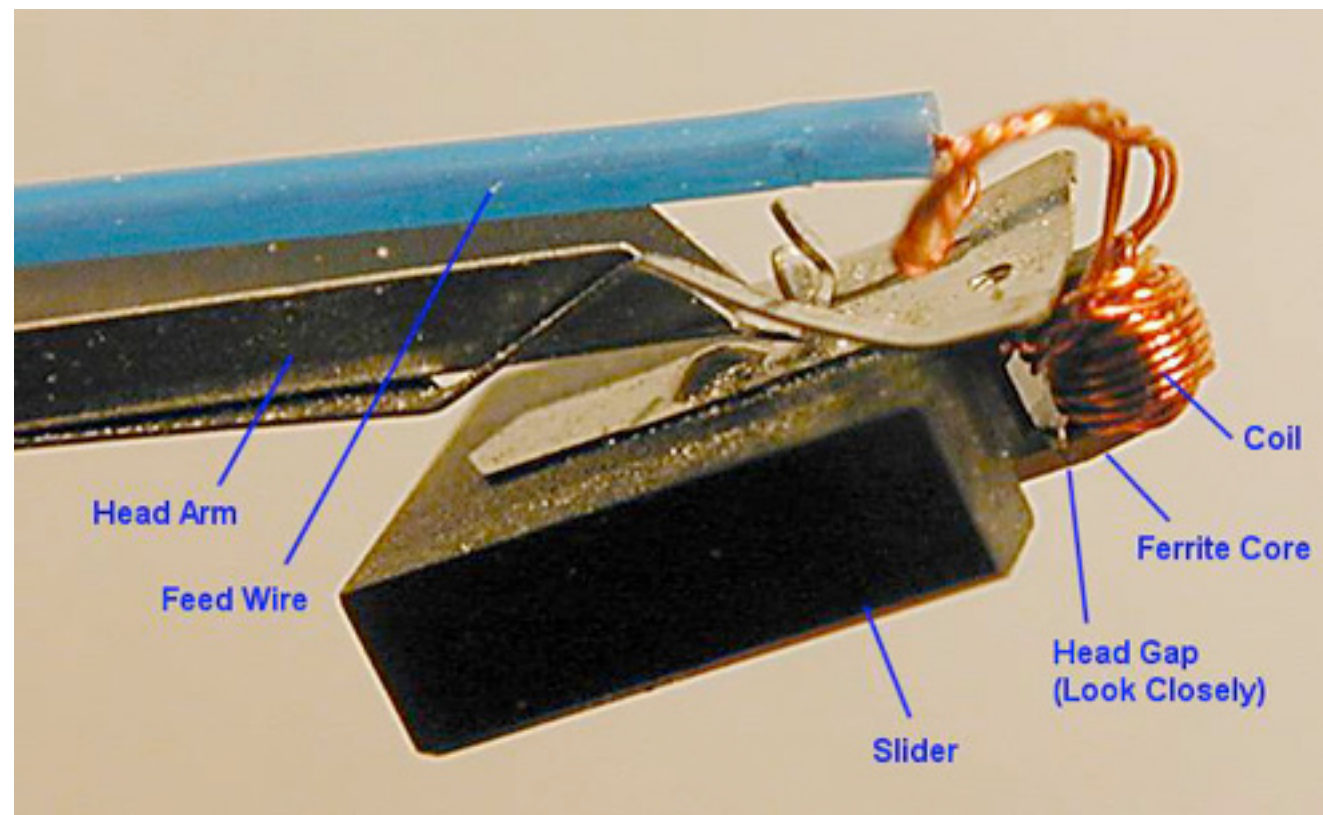
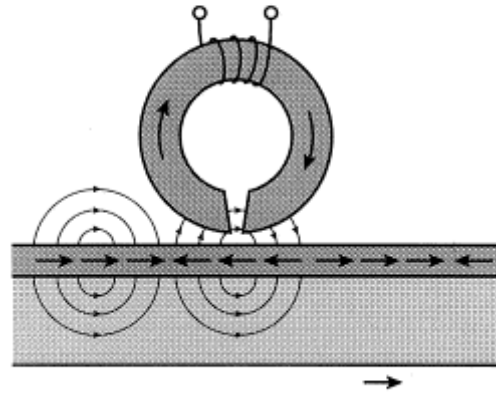
- Para aumentar a capacidade de armazenamento precisamos reduzir o tamanho da unidade magnética que armazena os bits



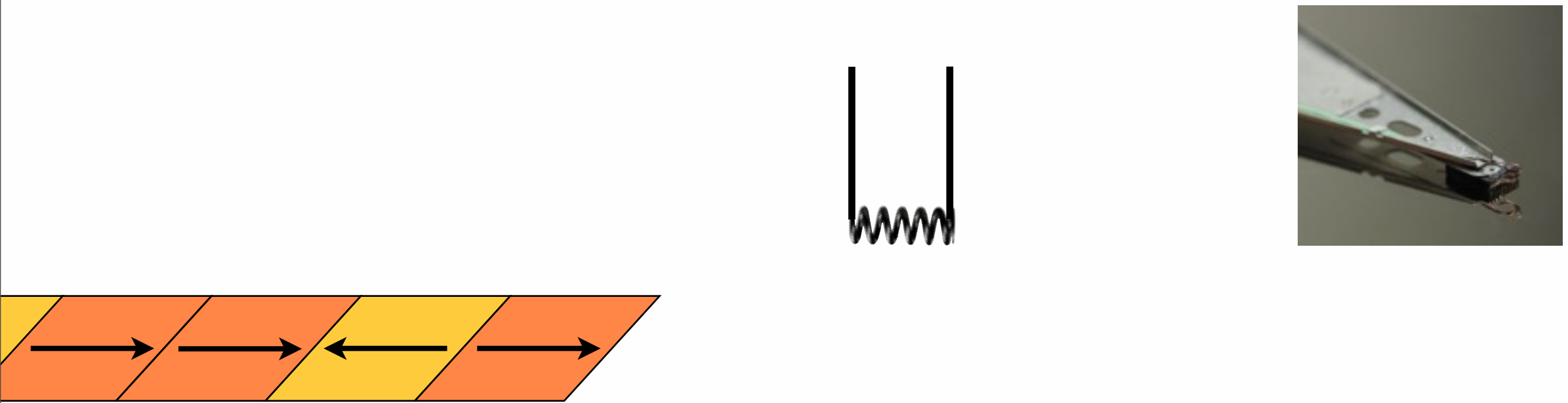
Cabeçotes indutivos



Cabeçotes indutivos

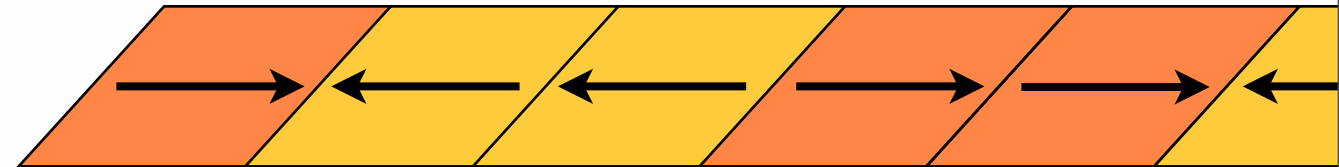
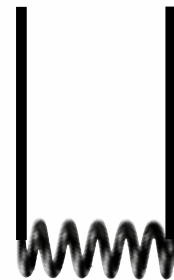


Aplicações da Lei de Faraday: sensores magnéticos



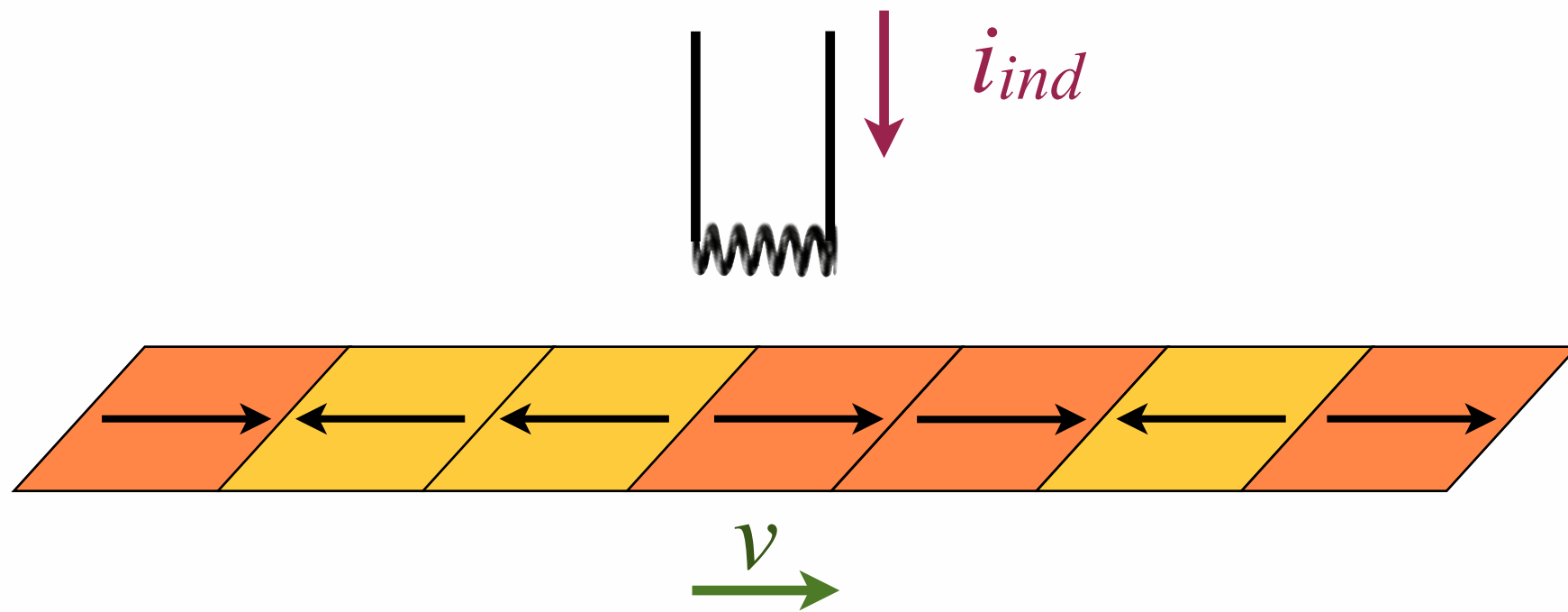
- A corrente induzida depende da taxa de variação do fluxo do campo magnético através da espira

Aplicações da Lei de Faraday: sensores magnéticos

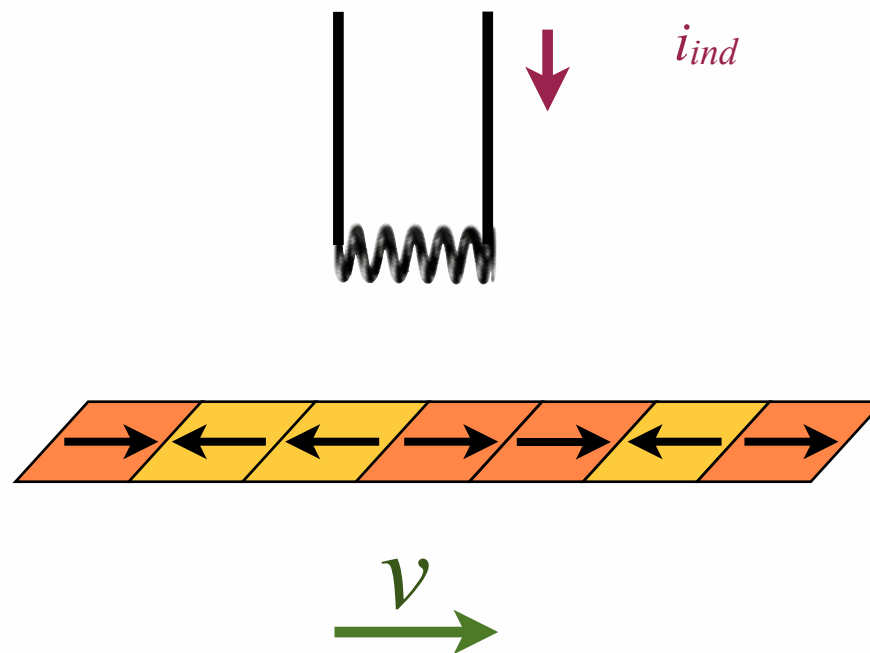


- A corrente induzida depende da taxa de variação do fluxo do campo magnético através da espira

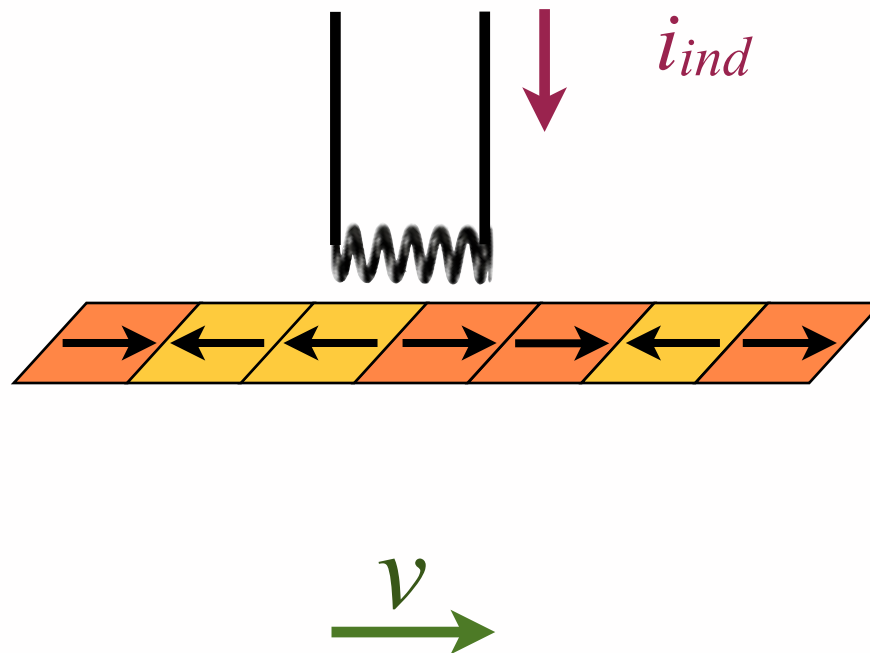
A corrente induzida depende da taxa de variação do fluxo do campo magnético através da espira



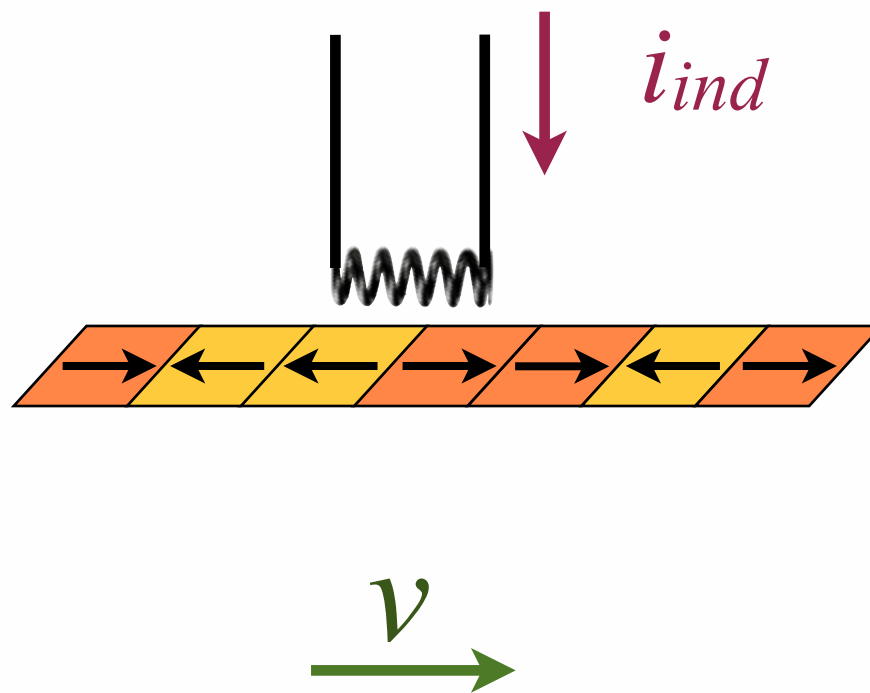
A corrente induzida depende da taxa de variação do fluxo do campo magnético através da espira



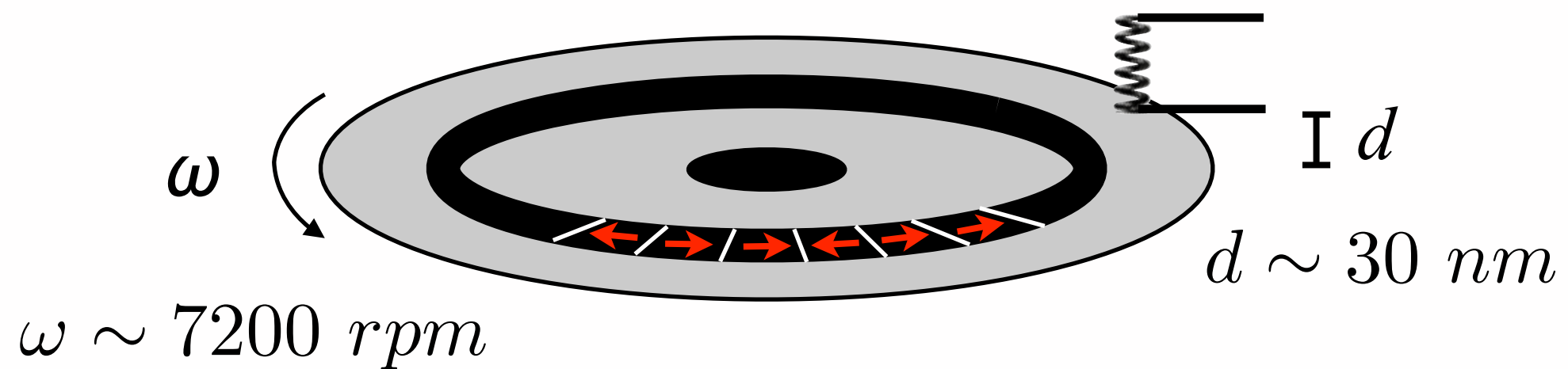
A corrente induzida depende da taxa de variação do fluxo do campo magnético através da espira



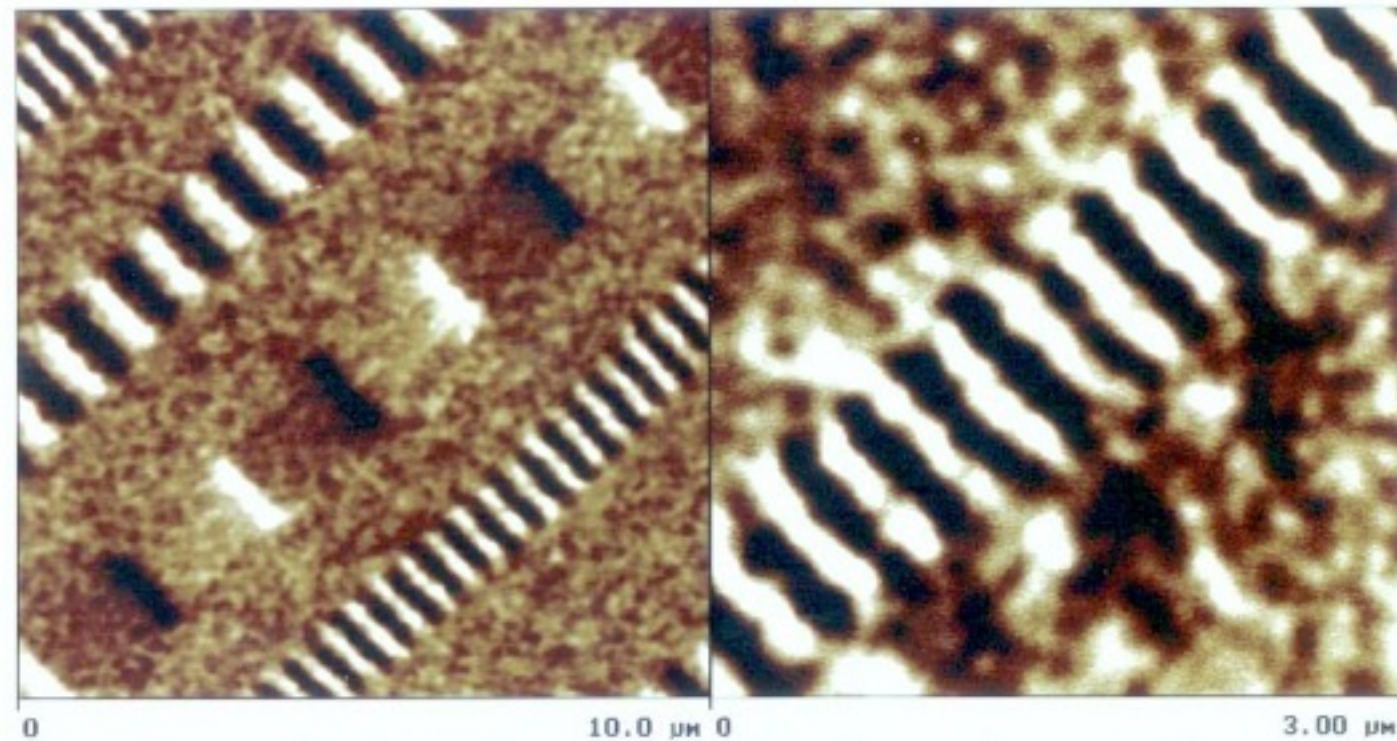
A corrente induzida depende da taxa de variação do fluxo do campo magnético através da espira



Esta tecnologia tem limitações



A densidade de gravação no disco não é uniforme



Controle eletrônico de velocidade de rotação

