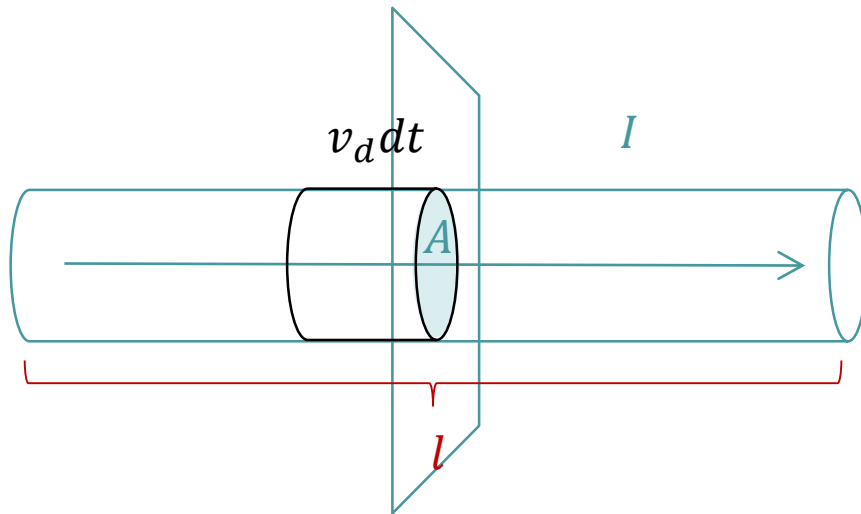


Força sobre elements de corrent



$$d\vec{F} = dq(\vec{v}_d \times \vec{B}) = Idt(\vec{v}_d \times \vec{B})$$

$$\vec{F} = Id\vec{l} \times \vec{B}$$

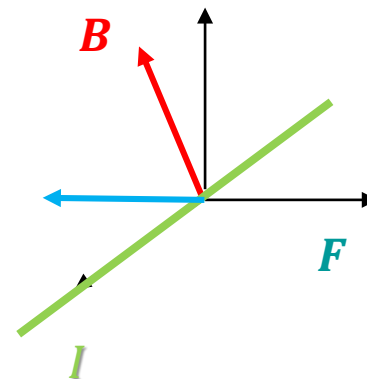
Camp uniforme i cable rectilini: $I\vec{l} \times \vec{B}$

P.e. $I = 1 \text{ A}$ en la direcció x

$$\vec{B} = (0,01\hat{i} + 0,03\hat{k}) \text{ Te}$$

$$l = 0,5 \text{ m}$$

$$\vec{F} = -0,015 \hat{j} \text{ N}$$

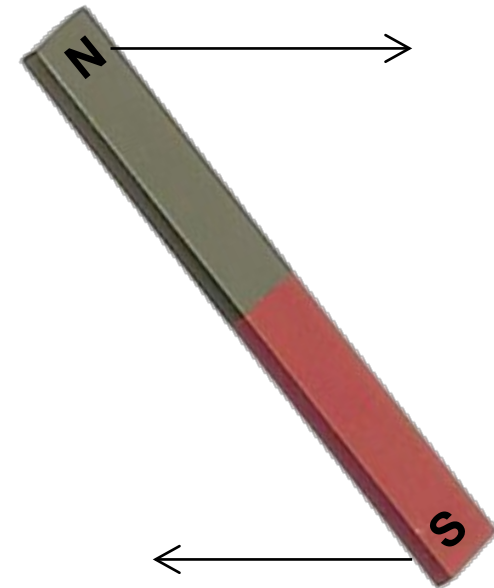
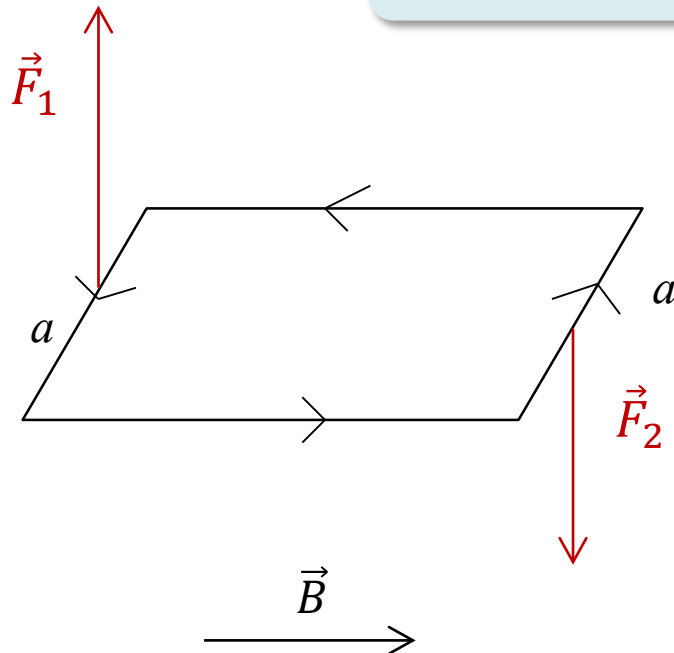


Motors elèctrics (I)

Sobre una **espira quadrada** apareixerà un parell de forces que tendirà a orientar-la en el sentit del camp

$$[\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B}]$$

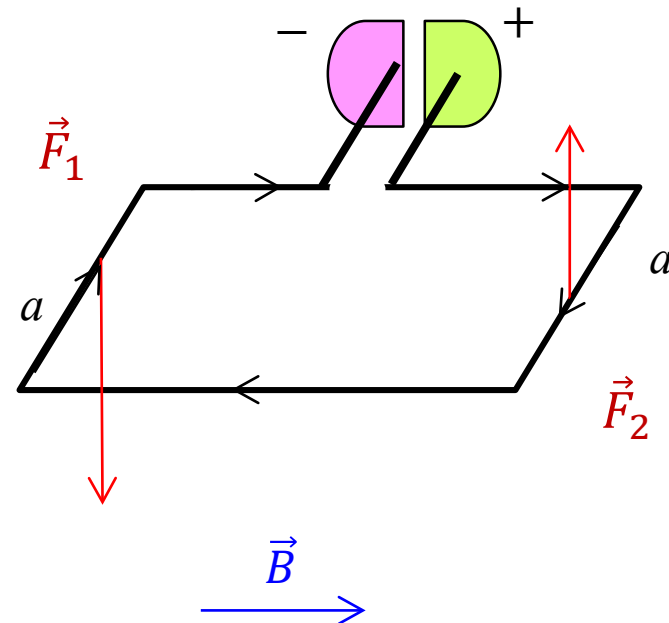
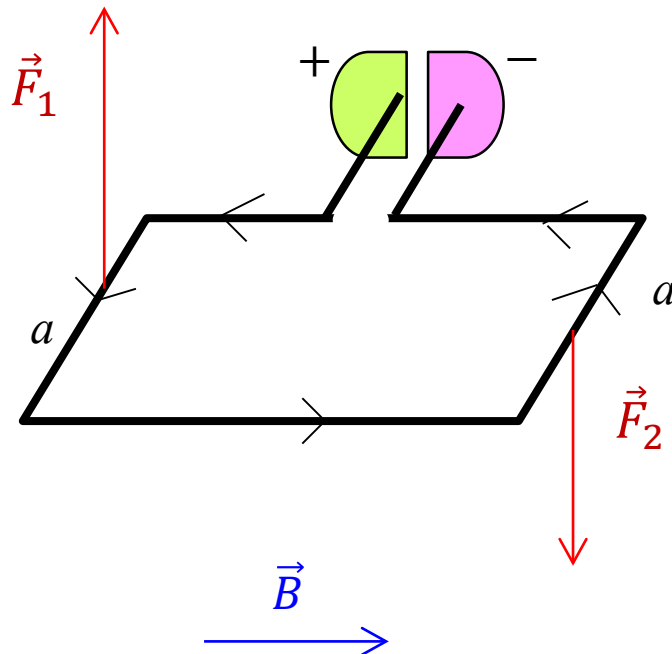
$$|\vec{F}_1| = |\vec{F}_2| = Iab$$



Motors elèctrics (I)

Sobre una **espira quadrada** apareixerà un parell de forces que tendirà a orientar-la en el sentit del camp

$$|\vec{F}_1| = |\vec{F}_2| = I a B$$



Primer motor elèctric!

4. Magnetisme

4.1 Força magnètica sobre càrregues

4.2 Força magnética sobre elements de corrent

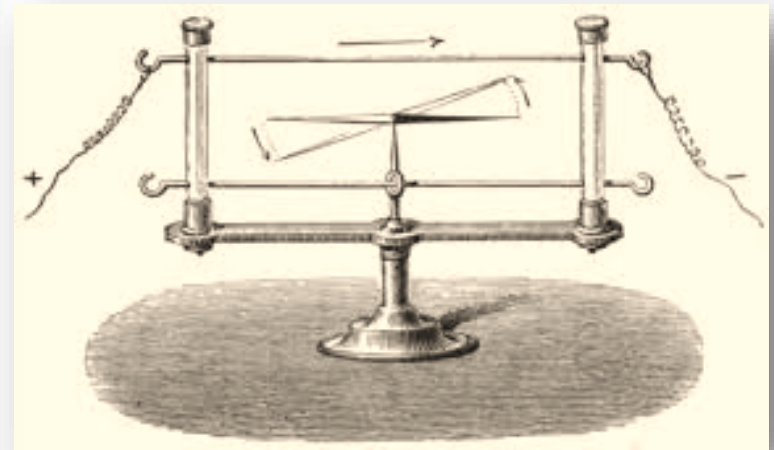
4.3 Fonts elèctriques de camps magnètics

4.4 Llei d'Ampère

4.5 Inducció electromagnètica. Llei de Faraday

4.6 Llei de Lenz

- Electrostatica
- Corrent elèctric [pila de Volta, 1800]
- Magnetisme
- Electromagnetisme [experiment d'Oersted/Ampère 1820]

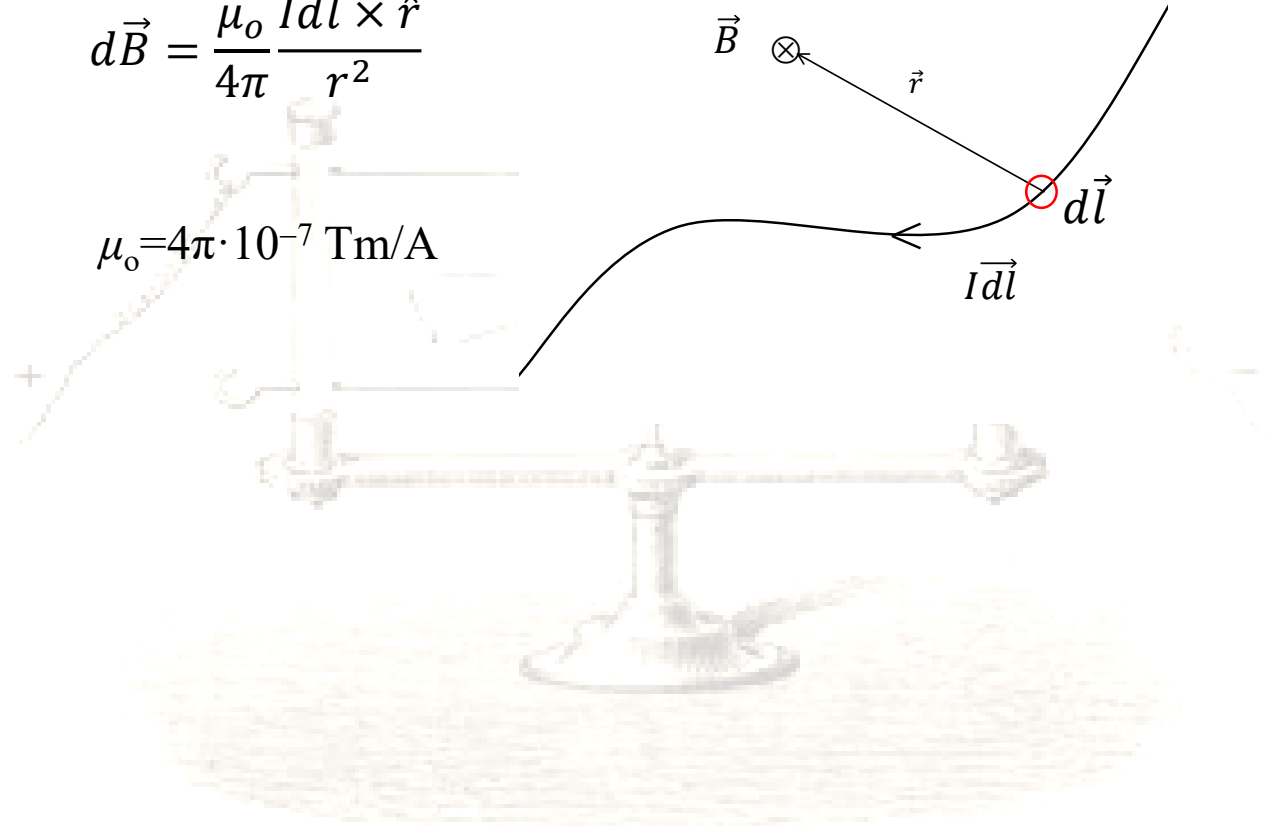


Fonts elèctriques de camps magnètics

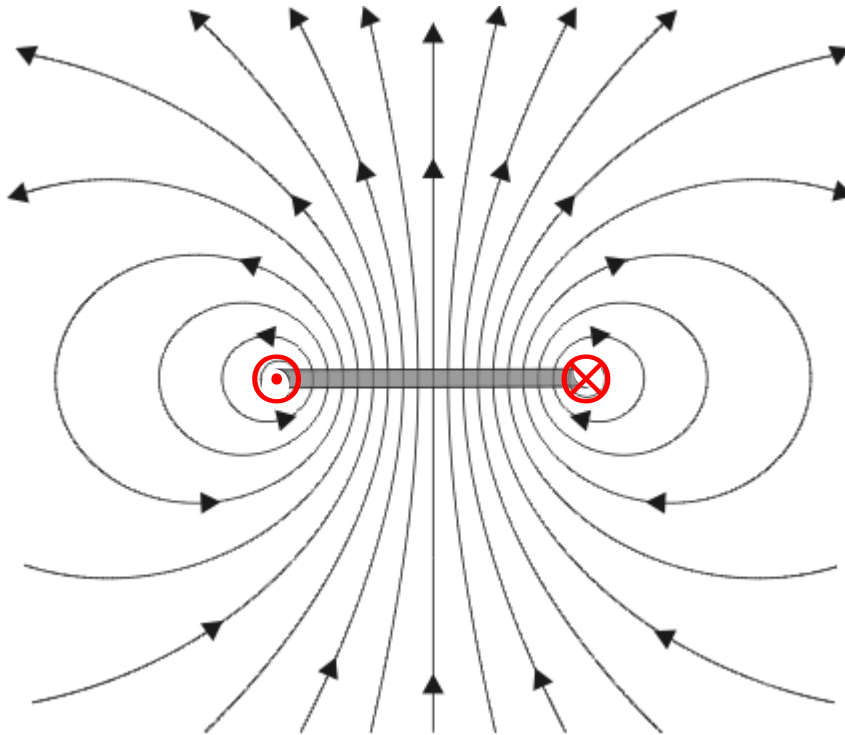
Llei de Biot-Savart

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$$

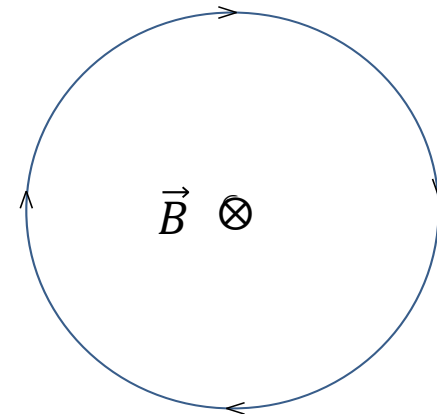


Fonts elèctriques de camps magnètics



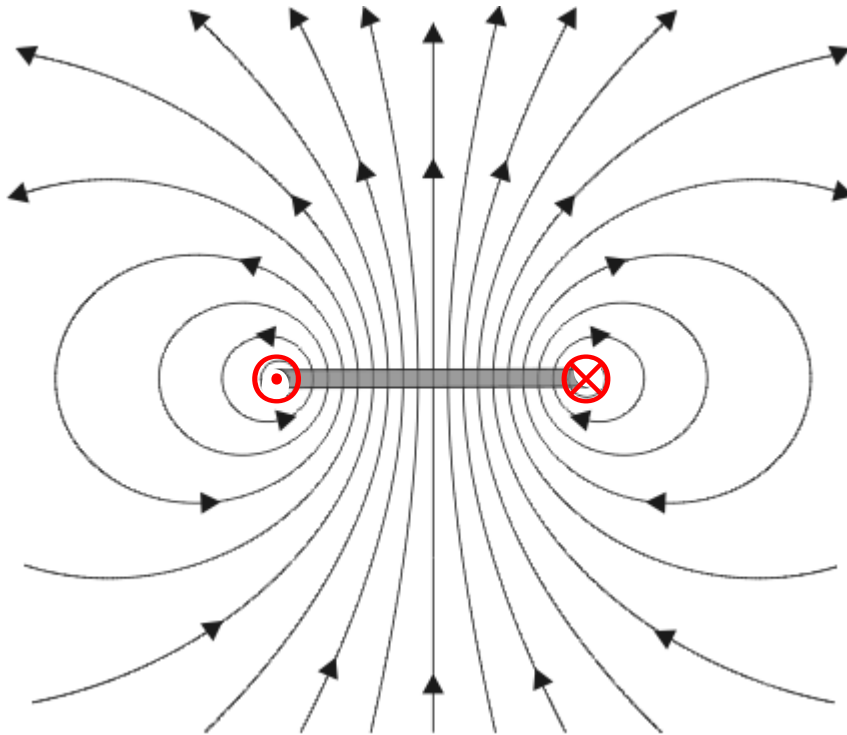
$$d\vec{B} = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

Camp creat per una espira circular de radi R . Al centre és:

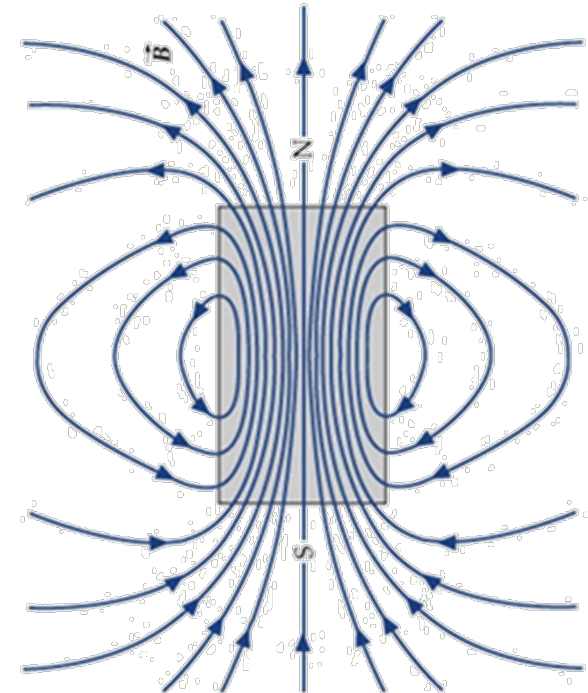


$$d\vec{B} = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{Id\vec{l}}{R^2} \Rightarrow B = \frac{\mu_o I}{2R}$$

Fonts elèctriques de camps magnètics

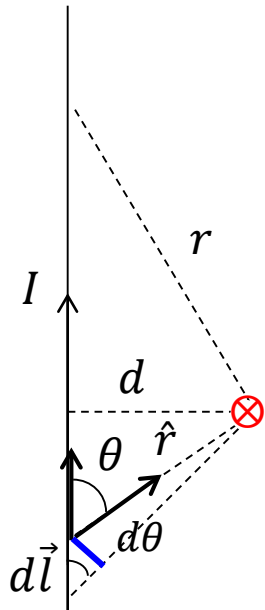


Electroimant



Imant

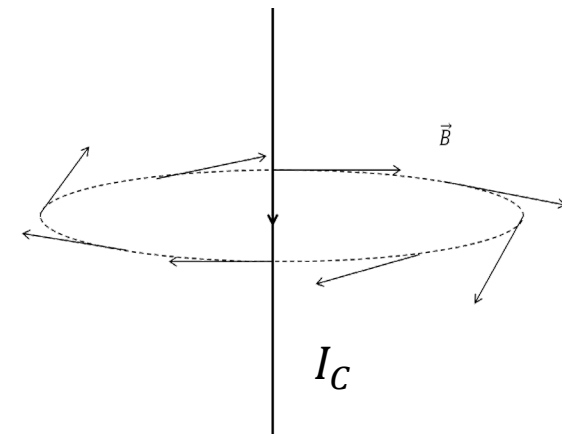
Fonts elèctriques de camps magnètics



$$d\vec{B} = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

$$\left. \begin{aligned} dB &= \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{I \cdot dl \cdot \sin \theta}{r^2} \\ \sin \theta &= \frac{d}{r} \\ rd\theta &= dl \cdot \sin \theta \end{aligned} \right\} \Rightarrow B = \frac{\mu_o I}{2\pi d}$$

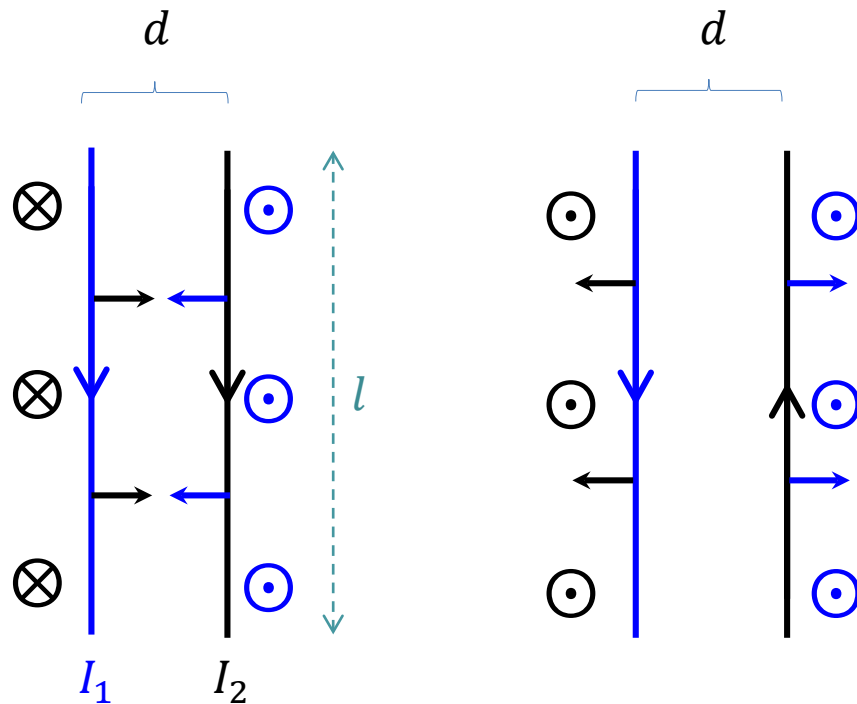
*En un **cable rectilini** (il·limitat) el camp és perpendicular al cable i tangent al perímetre del cercle que travessa.*



Llei d' Ampère [equivalent a Biot-Savart]

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l}_C = \mu_o I_C \Rightarrow B 2\pi R = \mu_o I_C$$

Forces entre corrents



$$d\vec{B} = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

$$B = \frac{\mu_o I}{2\pi d}$$

$$\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B}$$

$$\vec{F}_{12} = I_2 l B_1 = \frac{I_2 I_1 l \mu_o}{2\pi d}$$

$$\vec{F}_{21} = I_1 l B_2 = \frac{I_1 I_2 l \mu_o}{2\pi d}$$



Definició d'Ampère: *Intensitat que passa per dos cables que estan en el buit a una distància d'1 m i s'exerceixen una força per unitat de longitud de $2 \cdot 10^{-7}$ N/m*

Equacions de Maxwell (en el buit)

Llei de Gauss

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0} \qquad \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

Absència de monopols magnètics

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \qquad \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

Inducció magnètica: fonts magnètiques de corrents

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot d\vec{S} \qquad \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Llei d'Ampère [Biot-Savart]: fonts elèctriques de camps magnètics

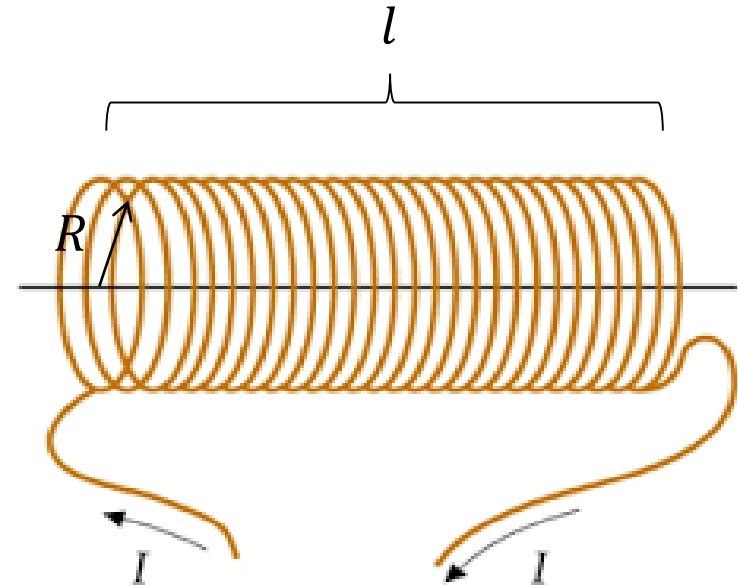
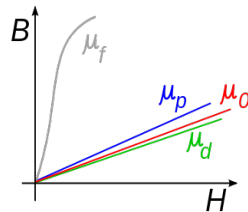
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \int \vec{J} \cdot d\vec{S} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int \vec{E} \cdot d\vec{S} \qquad \vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Solenoide

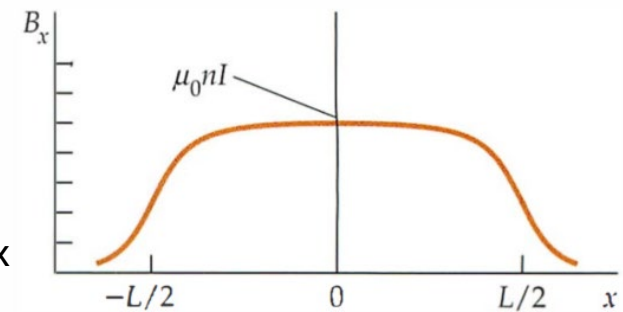
Si $l > 10R$ el camp a l'eix és uniforme excepte en els extrems

$$B = \mu \frac{N}{l} I$$

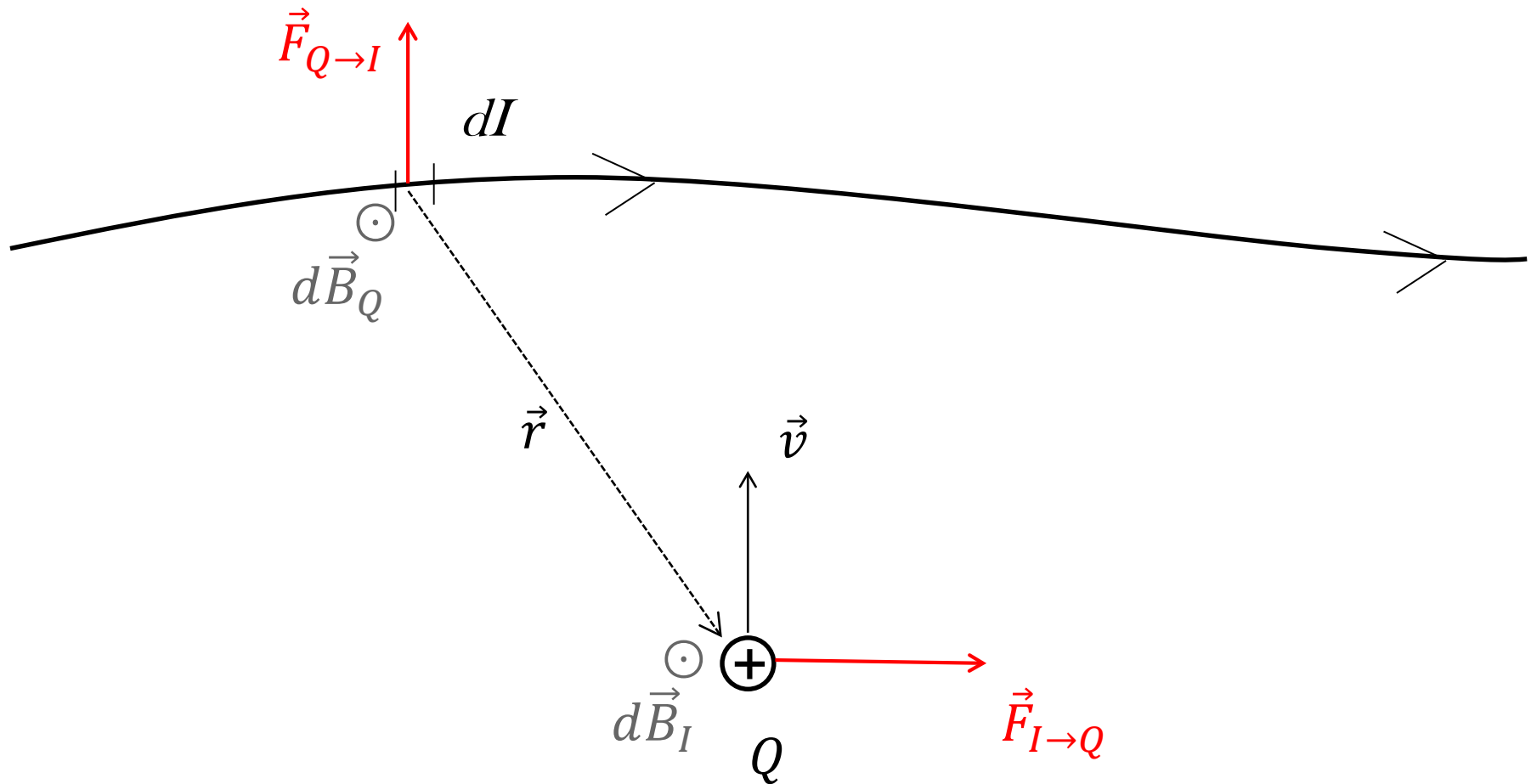
- N : número d'espises
- $\mu = \mu_r \mu_0$: μ_r : permeabilitat relativa al buit



Camp a l'eix



La força magnètica, satisfà la 3^a llei de Newton?



Lleis de Newton (1687)

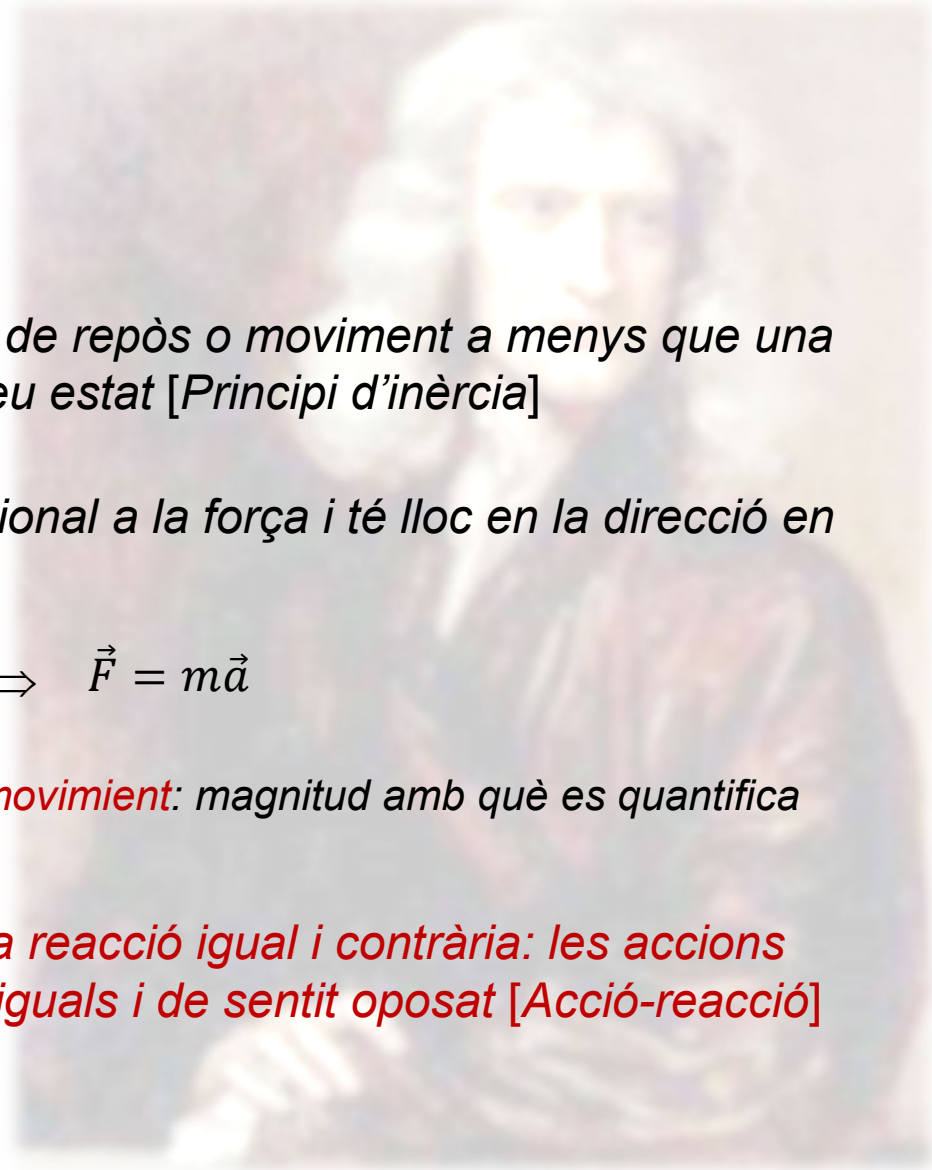
1. *Tot cos persevera en el seu estat de repòs o moviment a menys que una força externa l'obligui a canviar el seu estat [Principi d'inèrcia]*

2. *El canvi de moviment és proporcional a la força i té lloc en la direcció en que aquesta s'imprimeix*

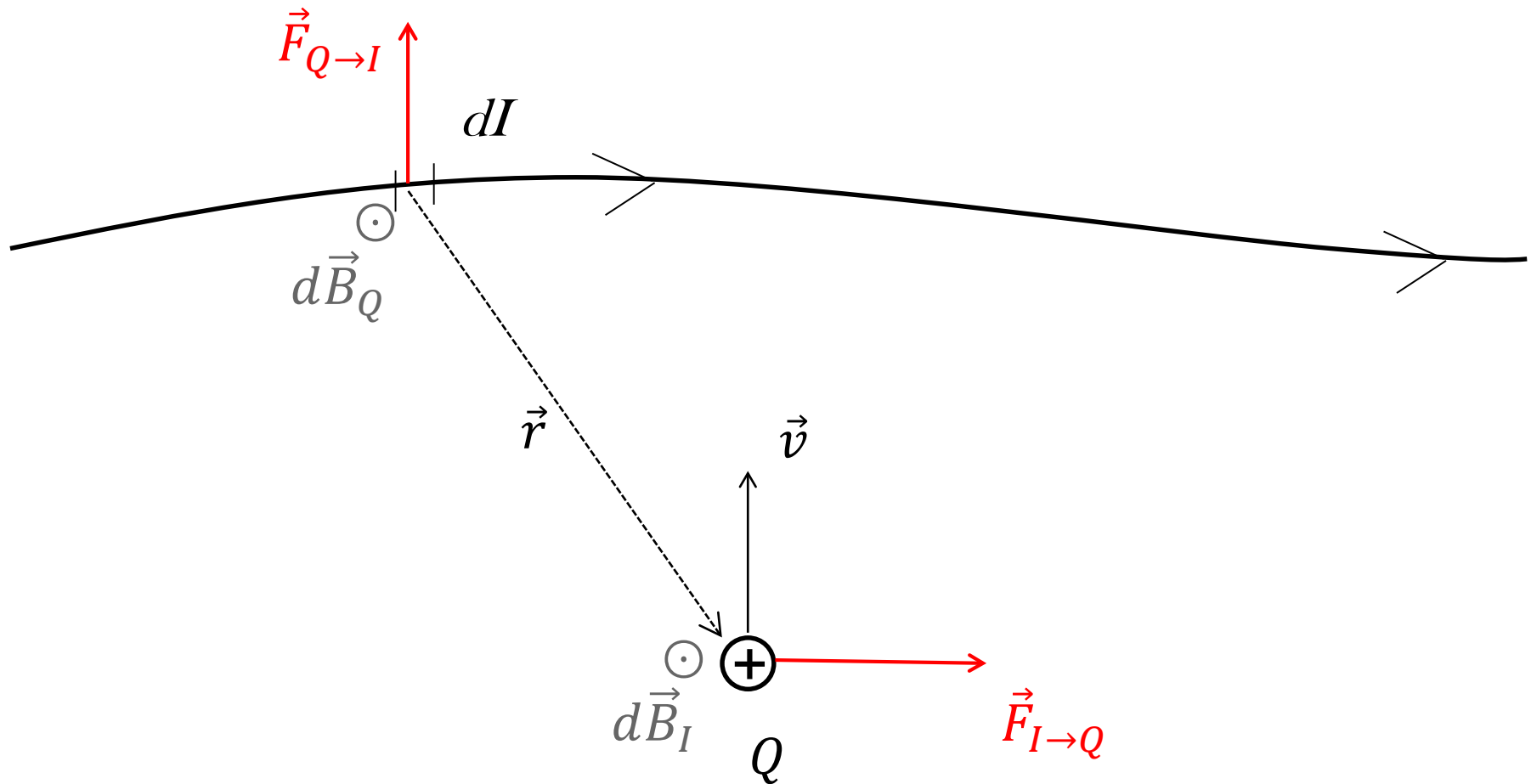
$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad \text{Si } m = ct. \Rightarrow \vec{F} = m\vec{a}$$

$\vec{p} = m\vec{v}$ es la “**quantitat**” de moviment: magnitud amb què es quantifica el moviment

3. *Amb tota acció sempre té lloc una reacció igual i contrària: les accions mútues de dos cossos són sempre iguals i de sentit oposat [Acció-reacció]*



La força magnètica, satisfà la 3^a llei de Newton?



Inducció electromagnètica

Fluxe elèctric

$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{int}}{\epsilon_r \epsilon_0}$$

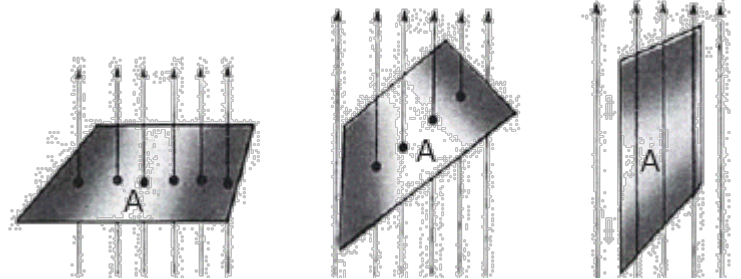
[Teorema de Gauss]

Fluxe magnètic

$$\Phi_M = \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

$$d\Phi = \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

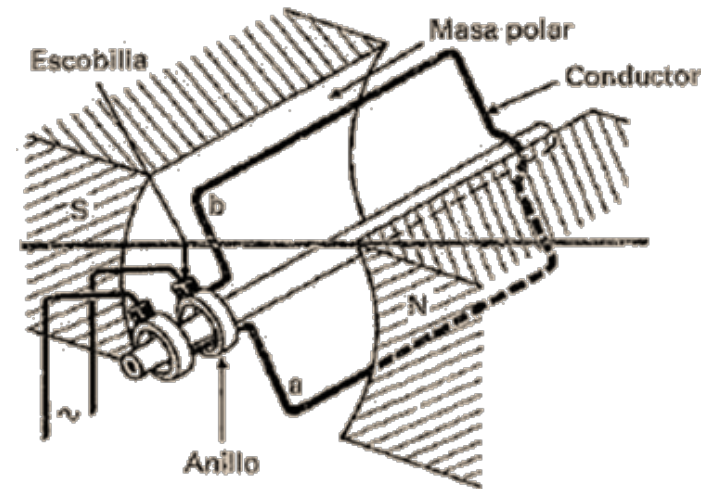
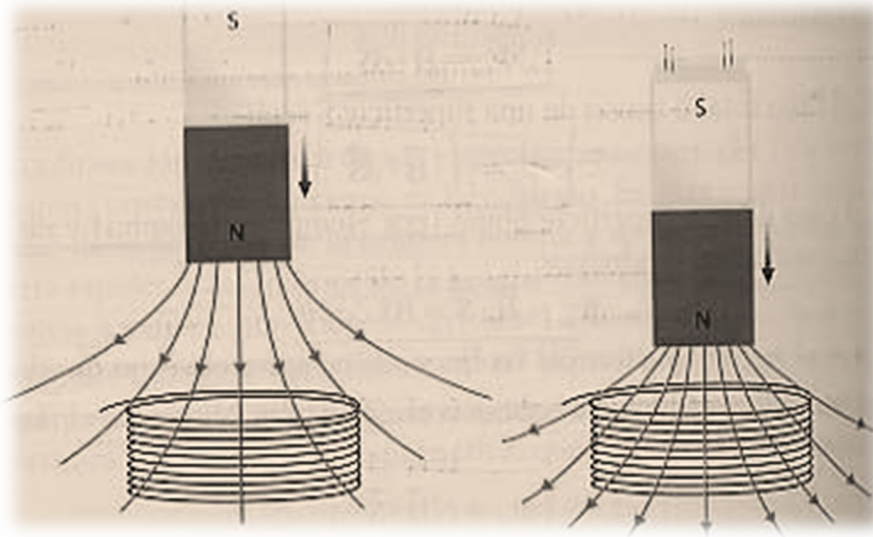
$$\Phi = \oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = BS \cos \theta$$



Llei de Faraday

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

Força electromotriu induïda

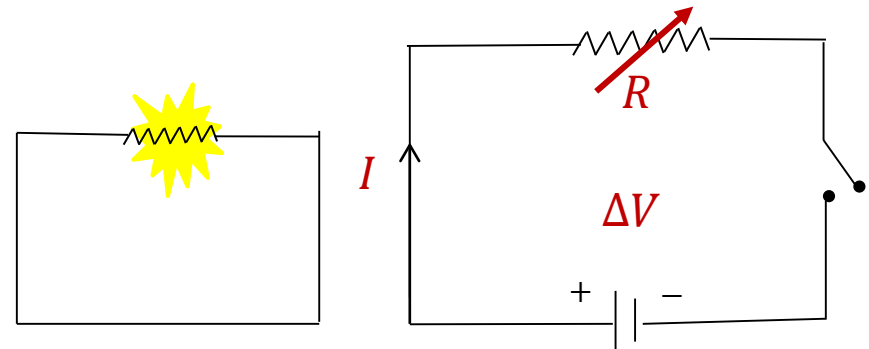


Llei de Faraday

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

Força electromotriu induïda

- Tota variació de fluxe que travessa un circuit hi produeix una f.e.m. induïda
- Només hi ha f.e.m. mentre hi ha variació de fluxe
- Aquesta f.e.m. crea corrents induïts



Per exemple

$$N = 100$$

$$S = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$\left\{ \begin{array}{l} B = 0,6 \text{ Te} \rightarrow 0,3 \text{ Te} \\ \Delta t = 0,1 \text{ s} \end{array} \right.$$

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = 100 \cdot \frac{0,006}{0,1} = 6 \text{ volts}$$

