

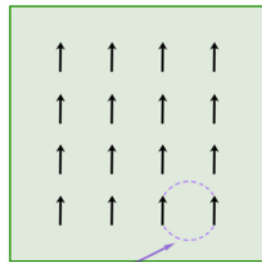


Física 3

V-2022

Parte 29

Materiales **Ferromagnéticos**

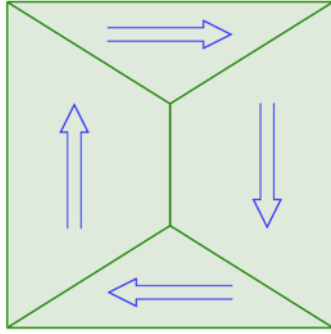


quantum mechanical exchange interaction

Dipolos magnéticos con un acoplamiento que favorece su alineación.

Mantienen su magnetización si se acaba el campo

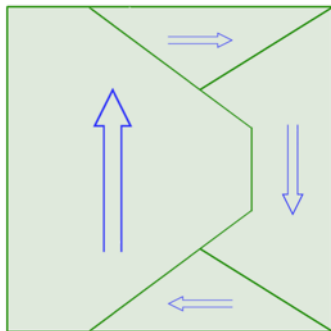
Materiales **Ferromagnéticos**



Los materiales ferromagnéticos suelen organizarse en dominios, cada uno con una dirección diferente.

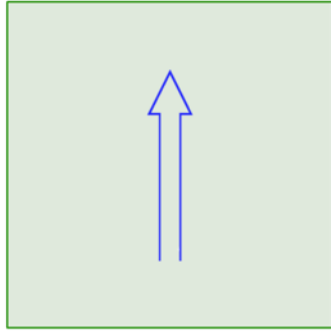
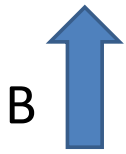
Materiales **Ferromagnéticos**

B ↑



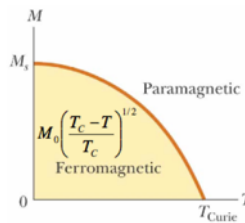
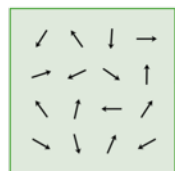
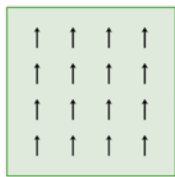
Campo no nulo pequeño, aumenta el tamaño del dominio orientado.

Materiales **Ferromagnéticos**



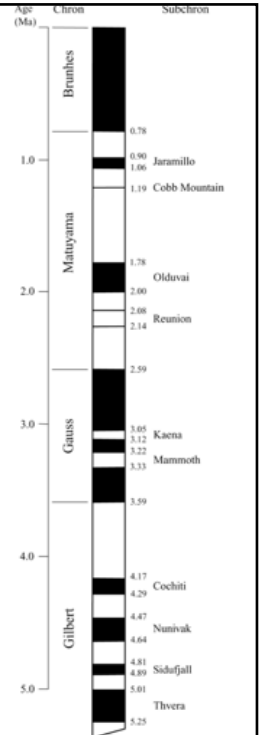
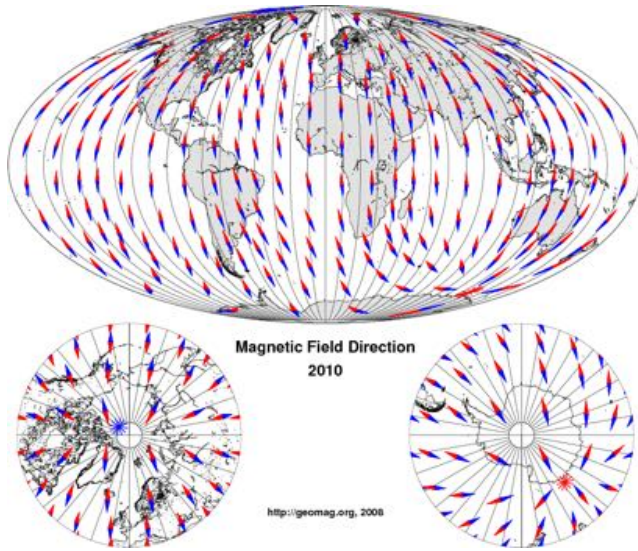
Campo no nulo grande,
saturación y dominio
único.

Materiales **Ferromagnéticos**



Aumentando la temperatura
puede superarse esa
interacción.
(Temperatura de Curie)

Paleomagnetismo



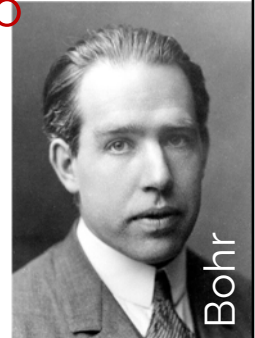
El magnetismo en un fenómeno cuántico (el teorema de Bohr-Van Leeuwen)

$$P(S) = e^{-\frac{U_S}{k_B T}}$$

Distribución de Maxwell-Boltzmann

Probabilidad de encontrar al un sistema en el estado S, con Energía U_S a una temperatura T

$$U_S = \text{cinética} + \text{potencial}$$

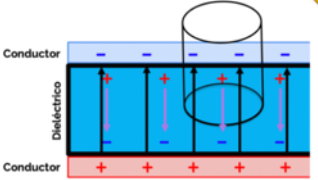


Leer Feynmann Vol 2, 34.6

Cargas de polarización

$$\Phi = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0}$$

$$Q_{enc} = Q_{libre} + Q_{pol}$$

$$\Phi = \oint_{S(V)} \vec{E}(\vec{r}) \cdot d\vec{S}$$


$$\sigma_{pol} = -\left(1 - \frac{\epsilon_0}{\epsilon}\right)\sigma$$

Las ecuaciones de Maxwell en presencia de Dieléctricos

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} = \frac{\rho_{libre} + \rho_{pol}}{\epsilon_0}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho_{libre} - \vec{\nabla} \cdot \vec{P}}{\epsilon_0}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \left(\vec{E} + \frac{\vec{P}}{\epsilon_0}\right) = \frac{\rho_{libre}}{\epsilon_0}$$

$$\vec{\nabla} \cdot (\epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}) = \rho_{libre}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho_{libre}$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

$$= \epsilon_r \epsilon_0 \vec{E} = \epsilon \vec{E}$$

Electrostática	Magnetostática
Cargas de polarización ρ_{pol}	Corrientes de magnetización I_{mag}
Vector polarización \vec{P}	Vector Magnetización \vec{M}
Permitividad eléctrica $\epsilon > \epsilon_0$	Permeabilidad magnética μ
Desplazamiento eléctrico	Excitación Magnética
\vec{D}	\vec{H}

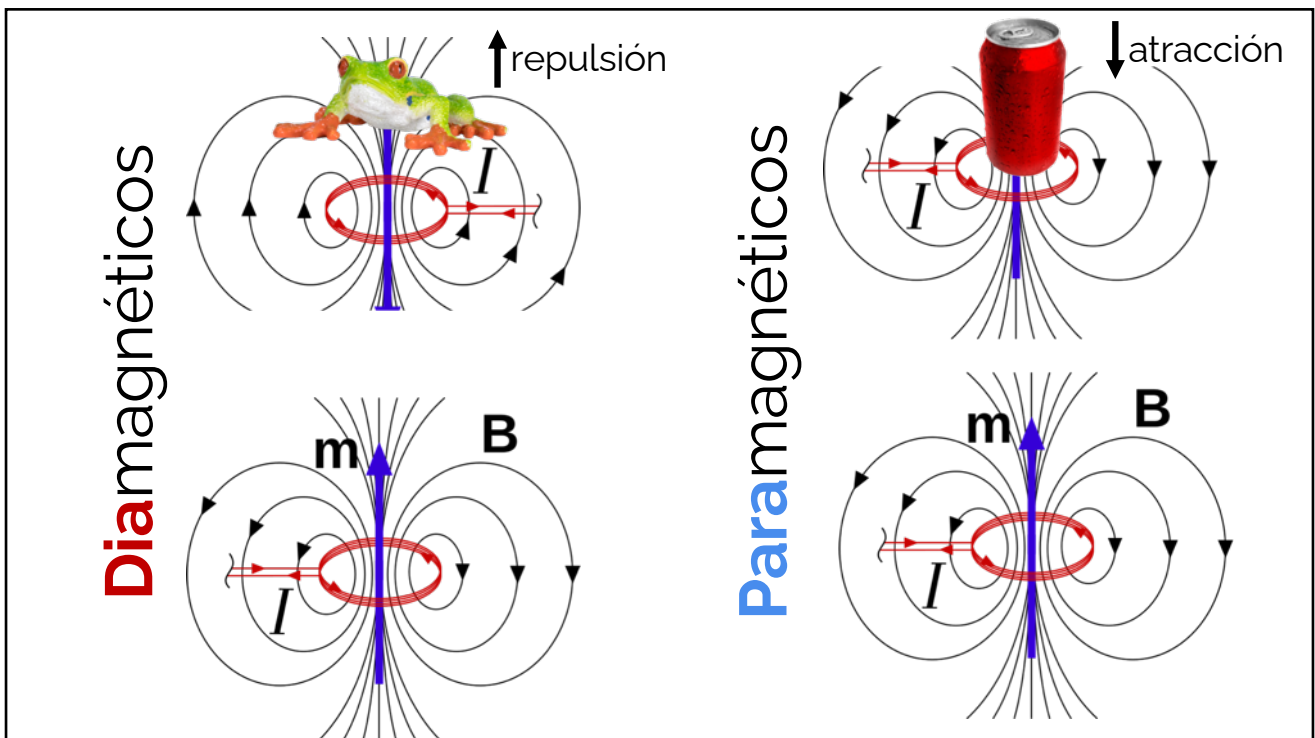
Campo magnético dentro de un material

$$\vec{B} = \vec{B}_{externo} + \vec{B}_{material}$$

En un medio lineal, isótropo y homogéneo

$$\vec{B}_{material} = \alpha \vec{B}_{externo}$$

$$\vec{B} = \vec{B}_{externo}(1 + \alpha) = \vec{B}_{externo} \frac{\mu}{\mu_0} = \vec{B}_{externo} \mu_r$$

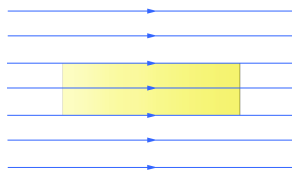


Susceptibilidad magnética

$$\chi_m = \mu_r - 1$$

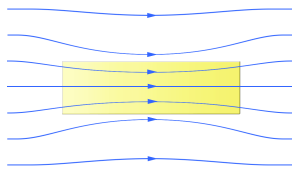
Diamagnetic Substance	χ
Bismuth	-1.66×10^{-5}
Copper	-9.8×10^{-6}
Diamond	-2.2×10^{-5}
Gold	-3.6×10^{-5}
Lead	-1.7×10^{-5}
Mercury	-2.9×10^{-5}
Nitrogen	-5.0×10^{-9}
Silver	-2.6×10^{-5}
Silicon	-4.2×10^{-6}

Paramagnetic Substance	χ
Aluminum	2.3×10^{-5}
Calcium	1.9×10^{-5}
Chromium	2.7×10^{-4}
Lithium	2.1×10^{-5}
Magnesium	1.2×10^{-5}
Niobium	2.6×10^{-4}
Oxygen	2.1×10^{-6}
Platinum	2.9×10^{-4}
Tungsten	6.8×10^{-5}



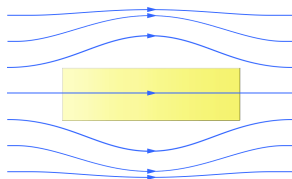
No magnéticos

ej. Polímeros, madera



“Magnéticos”

ej. Hierro, cobalto



Diamagnéticos”

ej. Agua, plata, cobre

Electrostática

Cargas de polarización ρ_{pol} Vector polarización \vec{P} Permitividad eléctrica $\epsilon > \epsilon_0$

Desplazamiento eléctrico

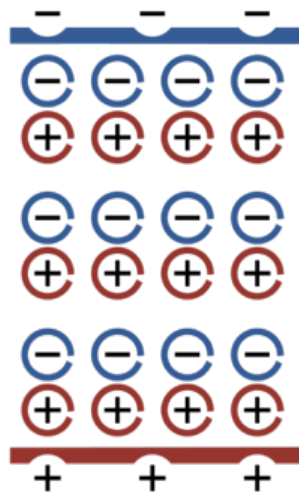
$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

Magnetostática

Corrientes de magnetización I_{mag} Vector Magnetización \vec{M} Permeabilidad magnética μ

Excitación Magnética

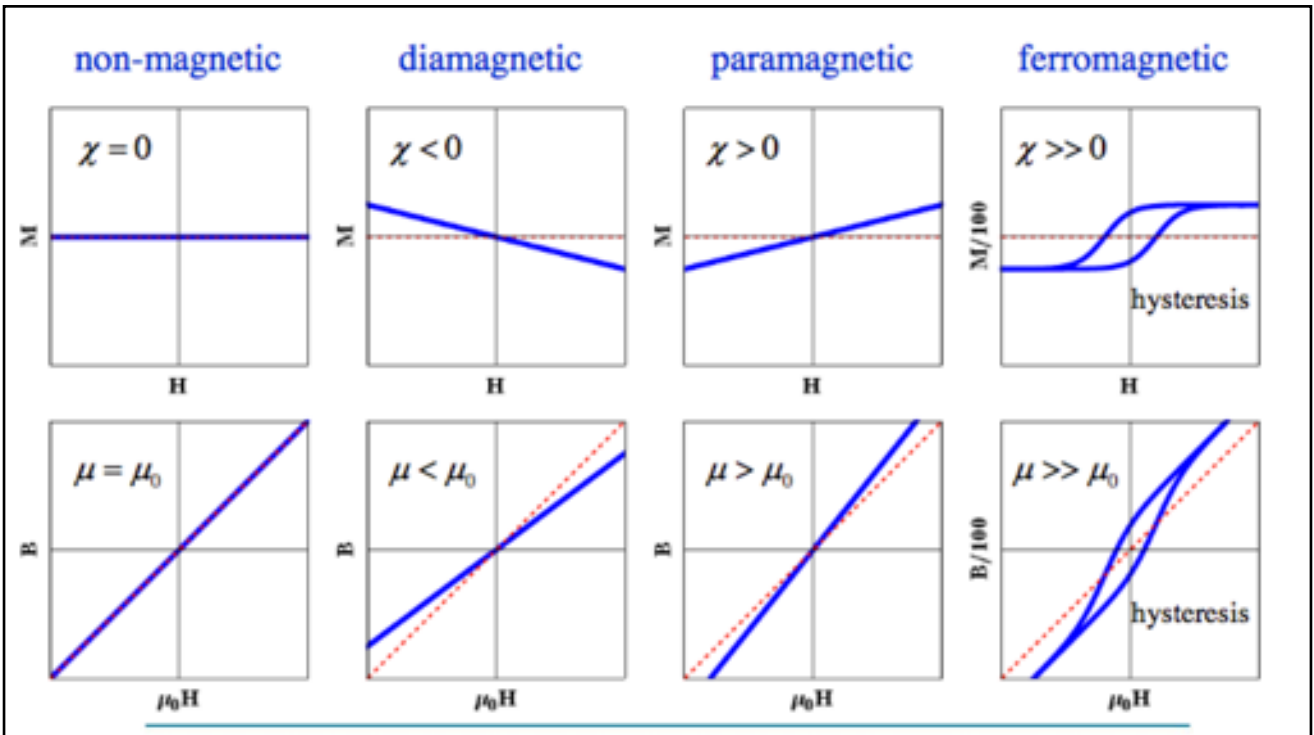
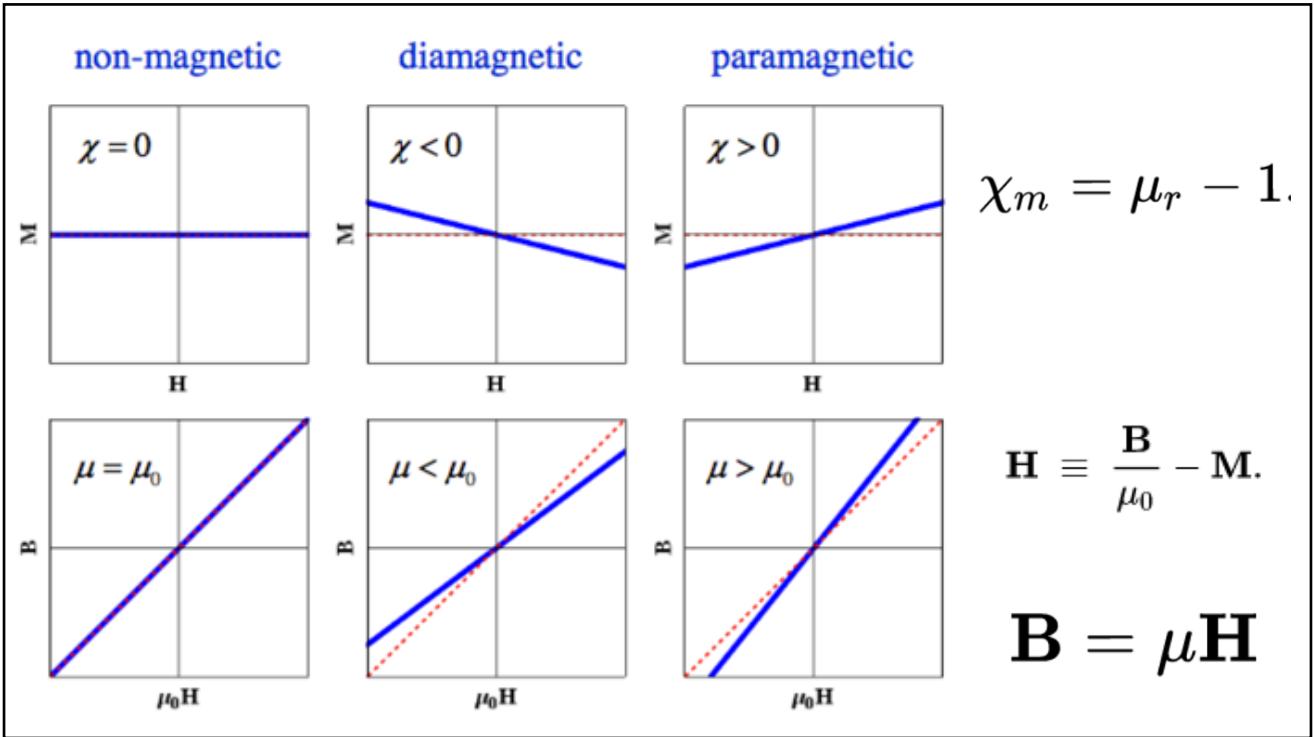
$$\vec{H} = \frac{1}{\mu} \vec{B} = \frac{1}{\mu_0} \vec{B} - \vec{M}$$

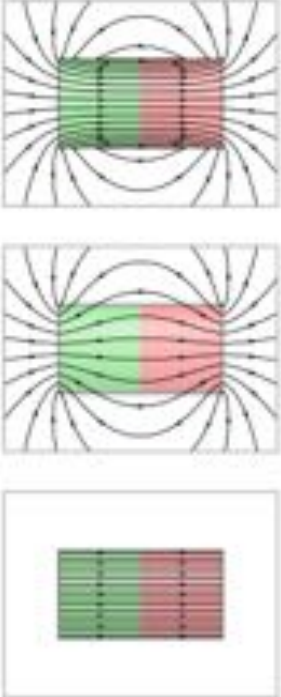


E, D y P



B, H y M





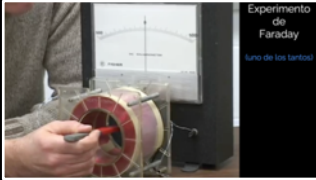
\vec{B} $\oint \vec{B} \cdot d\ell = \mu_0 I_{enc},$
 \vec{H} $\vec{H} \equiv \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}.$
 $\oint \vec{H} \cdot d\ell = \oint \left(\frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M} \right) \cdot d\ell = I_{tot} - I_b = I_f,$
 \vec{M} $\oint \vec{M} \cdot d\ell = I_b,$

Anteriormente en Física 3 A



$\vec{E} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$
 And God said...
 $\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho$ ✓
 $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$ ✓
 $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ ~
 $\vec{\nabla} \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{j}$ ~
 ...and then there was light. ?

¿Cómo funciona un generador eléctrico?



Próximo episodio el miércoles

Watch Credits

▶ Next Episode