

Bloque I: Electricidad
Bloque II: Magnetismo
Bloque III: Ondas y Óptica
Tema 4. Magnetostática en el vacío

- 4.1. Fenómenos magnéticos. El campo magnético
- 4.2. Fuerza de Lorentz
- 4.3. Acción del campo magnético sobre una espira. Momento magnético
- 4.4. Fuentes de campo magnético: Ley de Biot-Savart
- 4.5. Flujo magnético
- 4.6. Ley de Ampère

Tema 5. Magnetostática en la materia

- 5.1. Imanación y susceptibilidad magnética
- 5.2. Paramagnetismo, ferromagnetismo y diamagnetismo

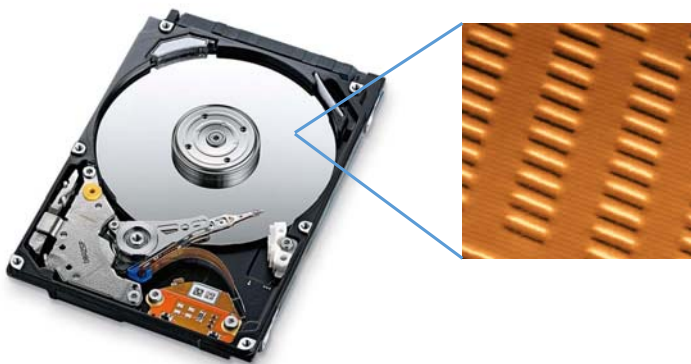
Tema 6. Inducción electromagnética

- 6.1. Ley de Faraday-Lenz
- 6.2. Autoinducción e inducción mutua
- 6.3. Energía magnética
- 6.4. Corriente de desplazamiento. Ecuaciones de Maxwell

¿Por qué un imán atrae a unas monedas y a otras no?

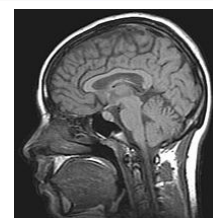
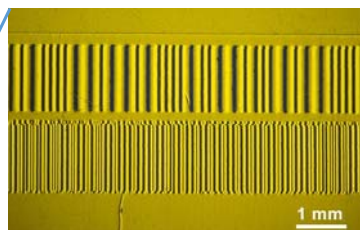
Propiedades magnéticas de los materiales

Muchas aplicaciones



¿Cómo funciona un transformador?

¿Cómo funciona una resonancia?



Propiedades magnéticas de los materiales

Origen

Momento magnético orbital



Electrones alrededor del núcleo

Momento magnético intrínseco

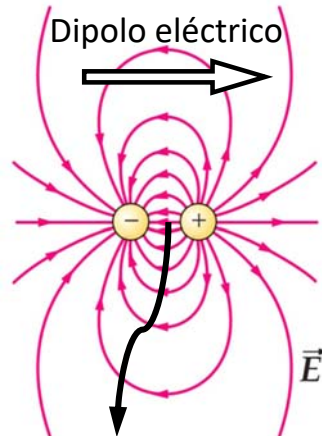


Spin de electrones

Momentos dipolares magnéticos atómicos

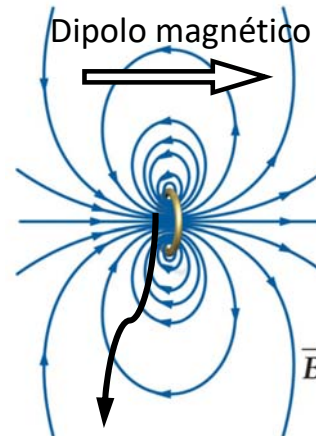
Dipolos magnéticos VS Dipolos eléctricos

Los dipolos se alinean con campos externos



Campo **contrario** al campo externo

Al alinearse, **disminuye** el campo



Campo **a favor** del campo externo

Al alinearse, **aumenta** el campo

Respuesta a campo magnéticos externo

Paramagnéticos

- **Tienen** momentos dipolares magnéticos propios
- Campo externo produce **alineación parcial**
- Pequeño incremento del campo

“Junto a”
e.g. paralelo

Ferromagnéticos

- **Tienen** momentos dipolares magnéticos propios
- Campo externo produce una **GRAN alineación**
- **GRAN** incremento del campo

Hierro

Diamagnéticos

- **NO Tienen** momentos dipolares magnéticos propios
- Campo externo **induce** momentos, pero **contrarios** a él
- Pequeño campo contrario

“Opuesto a”
e.g. diagonal

Imanación

Definición: Imanación: Momento dipolar magnético neto por unidad de volumen

$$\vec{M} = \frac{d\vec{\mu}}{dV}$$

Vamos a relacionar la imanación de un material con el campo magnético que se le tiene que aplicar para imantarlo, y con el que produce:

Definición: Campo que produce un material imantado:

$$\vec{B}_m = \mu_0 \vec{M}$$

Definición: Intensidad magnética: Campo auxiliar \vec{H} que cumple que

$$\vec{B}_{ap} = \mu_0 \vec{H}$$

Donde B_{ap} es el campo externo aplicado sobre el material, es decir, el que causa la imantación

Uniéndolo todo: CAMPO TOTAL = CAMPO APLICADO + CAMPO DE LA IMANACIÓN

$$\vec{B} = \vec{B}_{ap} + \vec{B}_m = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{M} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M})$$

Susceptibilidad

Paramagnéticos } \vec{H} y \vec{M} con misma dirección y sentido

Ferromagnéticos }

Diamagnéticos \rightarrow \vec{H} y \vec{M} con misma dirección y sentidos opuestos

Definición: Susceptibilidad magnética: Magnitud que relaciona \vec{H} y \vec{M}

$$\vec{M} = \chi_m \vec{H}$$

$$\vec{B} = \vec{B}_{ap} + \vec{B}_m = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{M} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) = \mu_0 (1 + \chi_m) \vec{H} = \mu_0 \mu_m \vec{H} = \mu \vec{H}$$

Definición: Permeabilidad relativa: $\mu_m = 1 + \chi_m$

Definición: Permeabilidad: $\mu = \mu_0 \mu_m$

PENSAR: ¿Qué pasa si el material no es magnético?

Ejercicios: 12 de relación; 2 de 2º parcial 2018; 2 de 2º parcial del final de 2018; 3 del de septiembre 2018; 5 del final de 2019

FICHAS 25 y 26



Bloque I: Electricidad

Bloque II: Magnetismo

Bloque III: Ondas y Óptica

Tema 4. Magnetostática en el vacío

- 4.1. Fenómenos magnéticos. El campo magnético
- 4.2. Fuerza de Lorentz
- 4.3. Acción del campo magnético sobre una espira. Momento magnético
- 4.4. Fuentes de campo magnético: Ley de Biot-Savart
- 4.5. Flujo magnético
- 4.6. Ley de Ampère

Tema 5. Magnetostática en la materia

- 5.1. Imanación y susceptibilidad magnética
- 5.2. Paramagnetismo, ferromagnetismo y diamagnetismo

Tema 6. Inducción electromagnética

- 6.1. Ley de Faraday-Lenz
- 6.2. Autoinducción e inducción mutua
- 6.3. Energía magnética
- 6.4. Corriente de desplazamiento. Ecuaciones de Maxwell



Paramagnetismo

- Tienen momentos dipolares magnéticos propios
- Pero los momentos no interactúan entre sí fuertemente (están orientados al azar)
- Campo externo produce alineación parcial

$$\vec{M} = \chi_m \vec{H} \quad \chi_m \approx 10^{-5}$$

- Con la temperatura se rompe la alineación
- Pequeño incremento del campo (para T y B_{externo} normales)

Definición: Ley de Curie: Dependencia de la imanación con la temperatura

$$\vec{M} = \frac{C}{T} \vec{H}$$

Constante de Curie

$$\chi_m = \frac{C}{T}$$

- A baja temperatura aumenta la alineación de los momentos dipolares magnéticos

EJEMPLOS: Aluminio, tungsteno, cesio

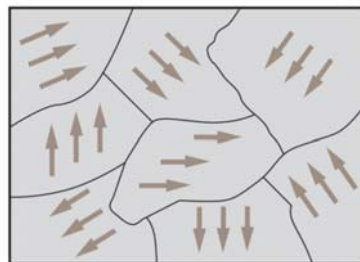
Ferromagnetismo

- Tienen momentos dipolares magnéticos propios
- Los momentos vecinos están **fuertemente ligados**, y pueden estar alineados incluso sin B_{externo} (imanes permanentes)
- **GRAN** incremento del campo con B_{externo}

$$\vec{M} \approx (10^3 - 10^5) \vec{H}$$

Causa:

Puede ser más favorable energéticamente que los electrones alineen sus momentos dipolares magnéticos (en este caso, de espín), creando **dominios**



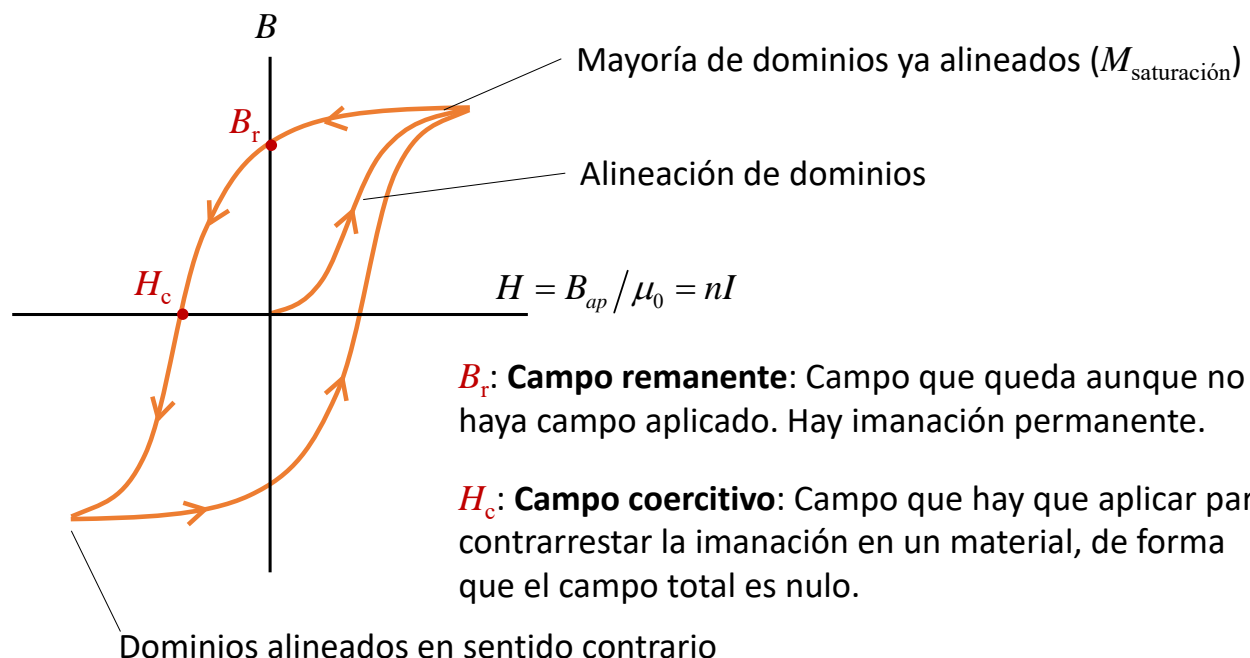
EJEMPLOS: Hierro, cobalto, níquel (y aleaciones que los contengan, como acero). También tierras raras, como gadolinio, disprosio o neodimio.

Ferromagnetismo: histéresis

Imaginemos un trozo de hierro dentro de un solenoide. El campo magnético total valdrá:

$$B = B_{ap} + B_m = \mu_0 H + \mu_0 M = \mu_0 (nI + M)$$

La imanación M depende del campo aplicado. Pero para ferromagnéticos no es tan sencillo como $\vec{M} = \chi_m \vec{H}$

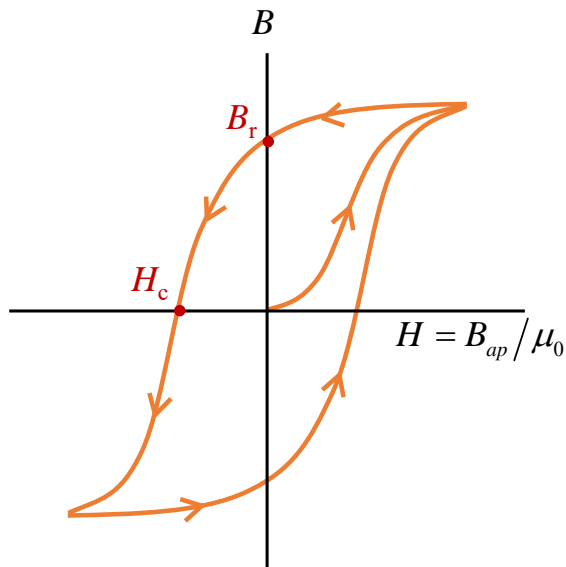


Ferromagnetismo: histéresis

El área del ciclo está relacionada con la energía disipada en la imanación y desimanación del material

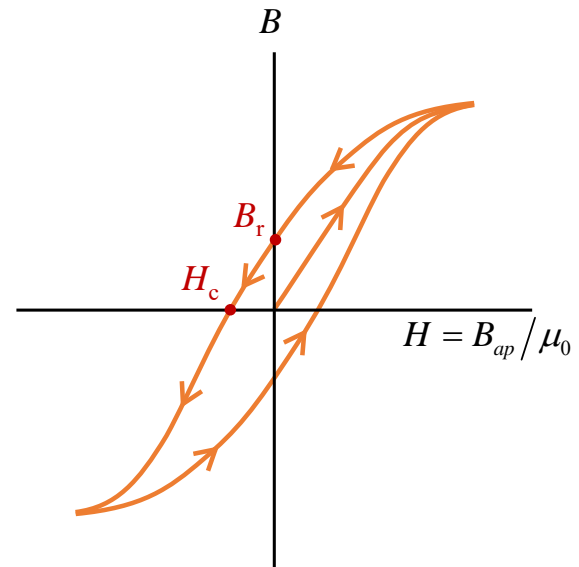
Magnéticamente duro

Imanes permanentes, sartenes de inducción (acero al carbono)



Magnéticamente blando

Transformadores (hierro dulce)



Diamagnetismo

- **NO Tienen** momentos dipolares magnéticos propios
- Campo externo **induce** momentos, pero **contrarios** a él (siempre repelidos por imanes)

$$\begin{cases} \vec{M} = \chi_m \vec{H} \\ \chi_m \approx -10^{-5} \end{cases}$$

- Este comportamiento está en **todos** los materiales (agua, madera, ranas...), pero en para- y ferromagnéticos no se aprecia



Diamagnetismo

$$B_{\text{imán}} \sim 1 \text{ T}$$

$$B_{\text{experimento}} \sim 16 \text{ T}$$



Andre Geim, premio Ig Nobel (2000, rana), y premio Nobel (2010, grafeno)