

(Desarrolle sus respuestas y **cuide la presentación.** Sin calculadora. )

### Relaciones útiles:

$$\vec{B} = \mu_o \vec{H} + \mu_o \vec{M}$$

$$\vec{B} = \mu \mu_o H, \quad \mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T m A}^{-1}$$

Magnetización en materiales lineales:  $\vec{M} = \chi_B \vec{B} / \mu_o$ .

$$\vec{B} = \frac{\mu_o}{4\pi} \int \vec{j}(\vec{r}') \times \frac{(\vec{r} - \vec{r}')}{\|\vec{r} - \vec{r}'\|^3} d^3x'$$

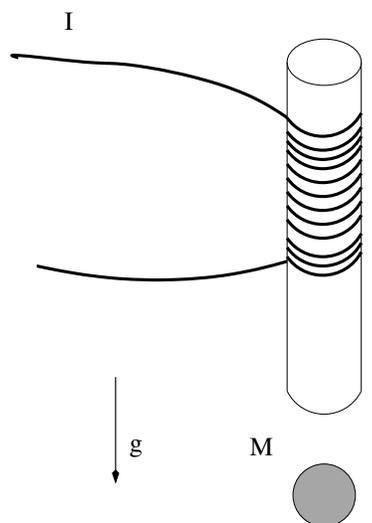
$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j}_l$$

Energía potencial magnética de un dipolo:

$$U = -\vec{m} \cdot \vec{B}.$$

Fuerza de Lorentz:  $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$ .

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}, \quad m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}, \quad m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}.$$



## I Electro-imán

Queremos levantar una masa  $M$  de Fe con densidad  $\rho$  usando un campo magnético. Construimos un electro-imán como se indica en la Figura: enrollamos un solenoide de largo  $l$  con  $N_c$  vueltas de cable conductor alrededor de un clavo de Fe, con largo total  $L$ . Suponga que  $\mu \sim 1000$ . La masa está a una distancia  $h$  de la punta del clavo (despreciamos efectos asociados a forma puntuda de la punta).

1. (2 pt) Dé una expresión para  $\vec{H}$  en la parte del clavo interior al solenoide.
2. (1 pt) ¿Cuál es el campo  $\vec{B}$  en la punta del clavo que apunta hacia  $M$ ?
3. (3 pt) Idealizamos el campo  $\vec{B}$  externo al clavo con un dipolo magnético en el origen de coordenadas, coincidente con el centro de masa del clavo:

$$\vec{B}(\vec{r}) = -\nabla\phi, \quad \phi = \vec{m} \cdot \vec{r}/r^3.$$

- a) Identifique  $\vec{m}$ .
  - b) Si el tamaño de la masa es despreciable ante variaciones de  $\vec{B}$ , y si se encuentre en el eje del clavo, ¿Cuál es la magnetización en el interior de la masa?
  - c) ¿Cuál es el momento magnético  $\vec{m}_{\text{Fe}}$  de la masa?
  - d) ¿Cuál es la fuerza que actúa sobre la masa?
4. (+2.0 pt) De lo anterior discuta la intensidad de corriente necesaria para levantar una masa de 10 g de Fe. Critique las aproximaciones y use números educados para las variables físicas.
  5. (+0.5 pt) ¿Es posible usar corriente del tendido eléctrico?

## II Aceleradores de partículas

1. (1.5 pt) Calcule las trayectorias de una partícula cargada con algún vector velocidad  $\vec{v}_0$  en  $t = 0$  y masa  $m$ , en un campo magnético uniforme. Si  $\vec{B}$  es arbitrariamente intenso, ¿En qué dirección global se mueven la partícula?
2. (0.5 pt) ¿Se puede usar un campo  $\vec{B}$  uniforme para entregar energía cinética a una partícula cargada?
3. (1.0 pt) Agregamos un condensador con placas perpendiculares a  $\vec{B}$  y diferencia de potencial  $\phi$ . ¿Cuál es la energía cinética adquirida al cruzar el condensador?
4. Construimos un acelerador de partículas con un solenoide toroidal de radio interno  $r_i$  y radio externo  $r_e$ , construido con  $N_c$  vueltas de cable con intensidad de corriente  $I$ .
  - a) (2 pt) Calcule el campo  $\vec{B}$  en todo el espacio.
  - b) (1 pt) Describa el movimiento de una partícula con velocidad  $v$ . Dé la corriente  $I$  mínima necesaria para evitar que choque con las paredes del solenoide.
  - c) (+2 pt) En una sección de solenoide agregamos un condensador intermitente, compuesto por dos rejillas cargadas que establecen una diferencia de potencial  $\phi$  sólo cuando la partícula entra en el condensador. La energía total de la partícula es

$$E = mc^2 / \sqrt{1 - (v/c)^2},$$

en que  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$  es la velocidad de la luz. Si el toro tiene un radio de 10 km,  $v_0 = 0$  y  $\phi = 10^3 \text{ V}$ , cuánto tarda un electrón en alcanzar una velocidad de  $c/\sqrt{2}$ ?

## III Ejemplos de magnetostática

1. (3pt) Hacemos pasar una intensidad de corriente  $I$  por un cable cilíndrico e infinito, de radio  $a$ . Calcule el campo  $\vec{B}$  en todo el espacio.
2. (3pt) Consideramos un disco aislante de radio  $a$  con densidad superficial de carga  $\sigma$ . El disco rota en torno a su eje de simetría con velocidad angular  $\omega$ . Calcule el campo de magnético en el eje del disco.