

“La piedra, magnética como era, debía poseer alguna peculiar propiedad eléctrica ya que había «atraído al rayo», como dijo Nahum, con una singular persistencia.” - “El color que cayó del cielo” (1927), de Howard Phillips Lovecraft.

1 Estudie la trayectoria de una partícula de carga  $q$  y masa  $m$  que entra en una región donde existen campos magnético y eléctrico uniformes y perpendiculares entre sí. Discuta en particular los siguientes puntos:

(a) Los casos en que  $\mathbf{E} = \mathbf{0}$  ó  $\mathbf{B} = \mathbf{0}$ .

(b) Muestre que si los campos eléctrico y magnético son diferentes de cero existe una única velocidad inicial para la cual la trayectoria de la partícula es una línea recta (este es el principio de funcionamiento de un filtro de velocidades).

(c) Estime el tiempo que tarda en recorrer una órbita circular un grano de polvo interestelar que se mueve con velocidad no relativista en el campo magnético de la galaxia.

**Datos:**  $B = 10^{-10}$  T,  $m = 10^{-13}$  g,  $q = 10^{-18}$  C.

2 Considere dos partículas cargadas que se mueven con velocidades perpendiculares entre sí. Analice cualitativamente las fuerzas sobre cada una de ellas y discuta la validez del principio de acción y reacción.

3 Un hilo infinito, cargado uniformemente con densidad  $\lambda$ , y una carga  $q$  se mueven ambos con velocidad  $v$  paralela al hilo (notar que el campo eléctrico del hilo es estático, ya que la distribución de cargas que lo genera es independiente del tiempo, a pesar del movimiento del hilo).

(a) ¿Cuánto debe valer  $v$  para que la interacción electrostática sea de la misma magnitud que la interacción magnética?

(b) ¿Cuál es la relación entre las fuerzas magnética y eléctrica si  $v$  es 1/100 de la velocidad hallada en la pregunta anterior?

**Dato:**  $(\mu_0\epsilon_0)^{-1} = 8,99 \times 10^{16}$  m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>.

4 Calcule la fuerza por unidad de longitud entre dos cables paralelos por los que circula una corriente de 30 A. La separación entre cables es de 2 cm. Estime hasta qué distancia por encima de los cables se verá afectada la indicación de una brújula. Considere los dos posibles sentidos de circulación de la corriente.

**Nota:** suponga que la intensidad del campo magnético terrestre en el lugar es de  $0,5 \times 10^{-4}$  T y forma un ángulo de  $30^\circ$  con la vertical.

5 (a) Calcule el campo magnético sobre el eje de una espira circular de área  $A$  y corriente  $I$ .

(b) Repita el cálculo anterior para una espira cuadrada.

(c) Estudie y compare los comportamientos de ambos resultados para distancias grandes. Expréselos en función de los momentos magnéticos de las espiras.

6 Una esfera de radio  $R$ , cargada superficialmente con densidad  $\sigma$  uniforme, gira sobre su eje con velocidad angular  $\omega$ . Hallar el campo magnético sobre el eje de rotación y el momento magnético.

7 En magnetostática, diremos que una transformación es de simetría si deja invariante la densidad de corriente (esto es análogo a la definición que hicimos en electrostática, donde las fuentes del campo eléctrico son las cargas). Demostrar que:

(a) Si el sistema tiene simetría ante traslaciones en cierto vector  $\mathbf{a}$ , entonces  $\mathbf{B}(\mathbf{r} + \mathbf{a}) = \mathbf{B}(\mathbf{r})$ .

(b) Si el sistema tiene simetría ante una rotación dada por cierta matriz ortogonal  $R$ , entonces  $\mathbf{B}(R\mathbf{r}) = R\mathbf{B}(\mathbf{r})$

- (c) Si el sistema tiene simetría ante una reflexión dada por cierta matriz ortogonal  $R$ , entonces  $\mathbf{B}(R\mathbf{r}) = -R\mathbf{B}(\mathbf{r})$

8 Considerar las siguientes distribuciones de corriente:

- (a) un hilo infinito por el que circula una corriente  $I$ ,
- (b) un cilindro circular infinito con corriente uniforme en su interior paralela a su eje,
- (c) un cilindro circular infinito con corriente superficial uniforme paralela a su eje,
- (d) un plano infinito con densidad de corriente superficial uniforme,
- (e) un solenoide circular infinito con  $n$  vueltas por unidad de longitud y corriente  $I$  (suponer que el devanado es suficientemente denso como para desprejir la componente longitudinal de los elementos de corriente),
- (f) un toroide de sección circular total de  $N$  vueltas y corriente  $I$  (suponer que el devanado es suficientemente denso como para desprejir la componente longitudinal de los elementos de corriente).

En cada caso:

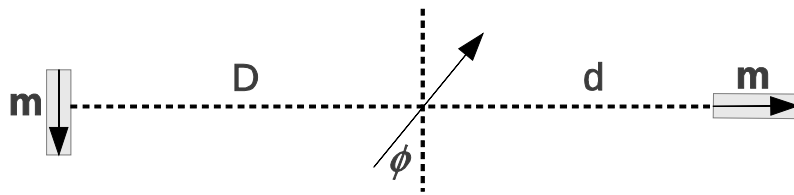
- i. utilizando transformaciones de simetría, determinar la dirección del campo magnético y su dependencia funcional;
- ii. calcular el campo magnético utilizando la ley de Ampère y graficar cualitativamente su módulo en función de una coordenada relevante;
- iii. hallar el potencial vector  $\mathbf{A}(\mathbf{r})$ .

9 Calcule el campo magnético sobre el eje de un solenoide de longitud  $L$ , con  $N$  vueltas devanadas densamente, por el que circula una corriente  $I$ .

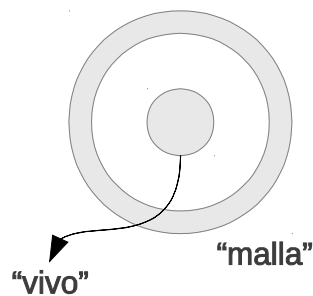
- (a) Estudie el comportamiento a grandes distancias y encuentre el valor del momento magnético del solenoide.
- (b) Suponga que el solenoide tiene 40 cm de largo, 10 cm de diámetro y el campo en el centro es de 3 T (este es un campo muy intenso). Si el solenoide se encuentra en el subsuelo del pabellón I, ¿influirá en la medición del campo magnético terrestre que realizan los alumnos en el segundo piso?
- (c) Obtenga el límite de solenoide infinito.

10 Calcule la fuerza sobre una aguja pequeña magnetizada con momento magnético  $m$ , colocada sobre el eje del solenoide finito del problema anterior. Exprese la fuerza en función de la distancia al centro del solenoide. Discuta el sentido de la fuerza en relación a los sentidos de  $m$  y  $B$ .

11 Dos imanes permanentes de momento magnético  $m$ , están situados como muestra la figura. La distancia que los separa es grande comparada con sus dimensiones. Cuando se coloca entre ambos una brújula, la posición de equilibrio de la aguja forma un ángulo  $\phi$  con la dirección que une los imanes. Hallar  $d/D$  en función del ángulo  $\phi$ .



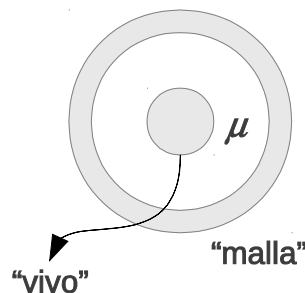
- 12 Un cable coaxil está formado por dos conductores cilíndricos coaxiales (ver figura). Por ambos conductores circulan corrientes  $I$  iguales y opuestas. Suponiendo densidad de corriente uniforme, encuentre  $\mathbf{B}$  en todo el espacio.



- 13 Si se elige el gauge  $\nabla \cdot \mathbf{A} = 0$ , dada una distribución de corrientes es posible calcular  $\mathbf{A}$  resolviendo tres problemas electrostáticos (¿porqué?). Utilice este hecho para calcular el potencial vector y el campo magnético de las siguientes distribuciones:

- Corriente  $I$  circulando por un alambre recto muy largo.
- Espira rectangular de lados  $a$  y  $b$  (en este caso calcule el potencial y el campo lejos de la espira).

- 14 Un cable coaxil está formado por dos conductores cilíndricos coaxiales, separados por un medio de permeabilidad  $\mu$  (ver figura). Por ambos conductores circulan corrientes  $I$  iguales y opuestas. Suponiendo densidad de corriente uniforme, encuentre  $\mathbf{B}$  en todo el espacio.



- Calcular el campo magnético dentro de un solenoide infinito que se llena con un material de permeabilidad magnética  $\chi_m$ .
- Considere un imán recto magnetizado uniformemente. Encuentre las fuentes de  $\mathbf{B}$  y  $\mathbf{H}$  que aparecen en este caso. ¿Con cuál tipo de fuente está asociado el concepto de polo magnético?
- Hallar el campo magnético generado por una esfera uniformemente magnetizada.
- Considere un toroide de material magnético, con magnetización  $\mathbf{M}$  en la dirección  $\hat{\phi}$ . Teniendo en cuenta cuáles son las fuentes de  $\mathbf{B}$  y  $\mathbf{H}$  en este caso, muestre que  $\mathbf{H} = 0$  y  $\mathbf{B} \neq 0$ .