
FÍSICA

2º Bachillerato

Interacción Electromagnética II
Campo Magnético

Prof. Jorge Rojo Carrascosa

Índice general

1. INTERACCIÓN ELECTROMAGNÉTICA II.	
CAMPO MAGNÉTICO	2
1.1. CAMPO MAGNÉTICO	3
1.1.1. FUERZA MAGNÉTICA SOBRE UNA CARGA EN MOVIMIENTO	3
1.2. EFECTOS DEL CAMPO MAGNÉTICO	5
1.2.1. LEY DE LORENTZ	5
1.2.2. FUERZA MAGNÉTICA SOBRE UN CONDUCTOR ELÉCTRICO	6
1.2.2.1. CONDUCTOR RECTILÍNEO	6
1.2.2.2. MOMENTO SOBRE UNA ESPIRA	6
1.3. GENERACIÓN DE CAMPOS MAGNÉTICOS	7
1.3.1. CAMPO MAGNÉTICO CREADO POR UNA CARGA EN MOVIMIENTO	7
1.3.2. CAMPO MAGNÉTICO CREADO POR UN CONDUCTOR RECTILÍNEO	8
1.3.3. CAMPO MAGNÉTICO CREADO POR UNA CORRIENTE CIRCULAR	8
1.4. LEY DE AMPÈRE	9
1.5. FUERZA MAGNÉTICA ENTRE DOS CONDUCTORES RECTILÍNEOS	10
1.5.1. DEFINICIÓN DE AMPERIO	10
1.6. CARACTER NO CONSERVATIVO DEL CAMPO MAGNÉTICO	11
1.7. APLICACIONES	11
1.7.1. ELECTROIMÁN	11
1.7.2. ESPECTRÓMETRO DE MASAS	11
1.7.3. CICLOTRÓN	12
1.8. TIPOS DE SUSTANCIAS	13
1.9. PROBLEMAS RESUELTOS	15

Capítulo 1

INTERACCIÓN ELECTROMAGNÉTICA II. CAMPO MAGNÉTICO

La interacción magnética aparece como un tercer tipo de interacción a distancia diferente a la gravitatoria y a la electrostática. En un principio se pensó que era una propiedad fundamental de la materia pero la imposibilidad de obtener polos magnéticos aislados hizo surgir la idea de que tal vez tuviera una conexión con la electricidad.

La primera prueba de tal conexión la obtuvo **Oersted** en 1819 cuando observó la desviación de la aguja de la brújula al colocarla cerca de un hilo conductor. En 1820, **Ampère** interpreto el magnetismo como pequeñas corrientes eléctricas en los átomos, pero hasta la llegada de los **modelos atómicos de Bohr y Sommerfeld** no se obtuvo una explicación cualitativa de estas corrientes amperianas.

Los materiales que presentan la propiedad del magnetismo se denominan imanes. Un imán está compuesto por dos polos magnéticos que coinciden con los extremos de éste, el polo norte (N) y un polo sur (S), llamados así por la orientación que adquiere una brújula según los polos geográficos.

Como propiedades de los imanes podemos decir que los polos del mismo signo se repelen y los de diferente signo se atraen, además, los polos de un imán no pueden separarse, cada vez que se subdivide en varios fragmentos, la estructura interna de la materia da lugar a que cada uno de ellos genere un nuevo imán con su polo norte y polo sur.

1.1. CAMPO MAGNÉTICO

Como hemos visto, la relación del magnetismo con la electricidad es la clave para entender este fenómeno. Esto es así por que cuando tenemos una carga en movimiento, o una corriente eléctrica, ésta crea a su alrededor un campo magnético. De hecho, la existencia de cargas eléctricas en la materia provoca este efecto cuando éstas se encuentran en movimiento.

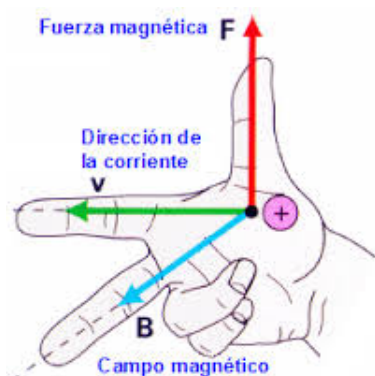
1.1.1. FUERZA MAGNÉTICA SOBRE UNA CARGA EN MOVIMIENTO

Cuando consideramos una carga en reposo inmersa en un campo magnético no se observa ninguna interacción especial, sin embargo si esta carga eléctrica se mueve, se observa una nueva fuerza sobre la carga además de la gravitatoria y la eléctrica.

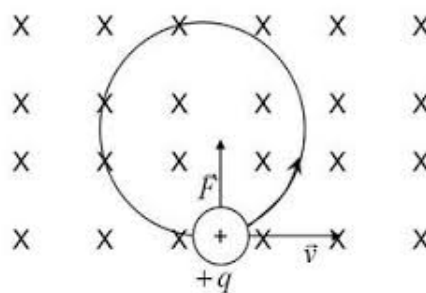
Los estudios empíricos mostraron que los efectos de la fuerza sobre una carga en movimiento venían dados por la expresión:

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

- Es proporcional a la carga eléctrica y a su velocidad.
- La dirección de la fuerza es perpendicular a la velocidad de la carga.
- El **módulo de la fuerza** viene dado por $F = qvB \sin \alpha$, siendo α el ángulo que forma la velocidad con el con el campo magnético.
 - Si $\alpha = 90$ la Fuerza magnética es máxima $F = qvB$.
 - Si $\alpha = 0$ la Fuerza magnética es mínima $F = 0$.
- Las unidades de la fuerza en el SI son **Newtons**.
- \vec{B} es el vector inducción magnética denominado **campo magnético**.
- Para hallar el sentido de la fuerza magnética se recurre a la regla de la mano derecha o regla de los dedos de la mano derecha.
- Si la velocidad es **perpendicular** al \vec{B} , la **fuerza es centrípeta** y la partícula describe un movimiento circular.
- Si la velocidad es **paralela** al \vec{B} , la partícula describe un movimiento rectilíneo uniforme.

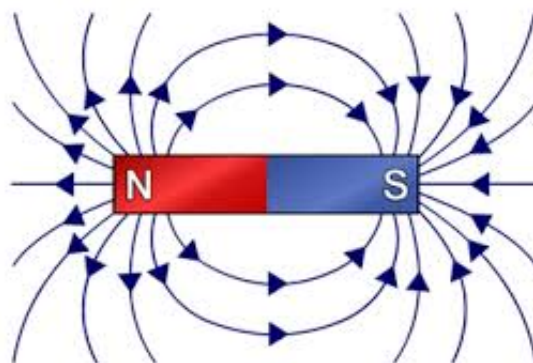


Regla de los dedos de la mano derecha.

Trayectoria de partícula positiva en un \vec{B} uniforme hacia dentro del papel.

Al igual que el campo gravitatorio o el campo eléctrico, las interacciones magnéticas crean a su alrededor un campo de fuerzas denominado campo magnético, \vec{B} . Sus propiedades son:

- Su unidad en el SI es el **Tesla (T)**. Es la inducción magnética de un campo que ejerce una fuerza de 1 N sobre una carga eléctrica de 1 C que viaja 1 ms^{-1} perpendicularmente al campo.
- Es un **campo vectorial**. Si su valor es igual en todos los puntos del campo se dice que es uniforme. Si es hacia dentro se escribe con cruces y si es hacia fuera con círculos.
- Se describe mediante **líneas de fuerzas**. Por convenio, salen del polo norte y entran por el polo sur. Representa la trayectoria que seguiría un polo norte libre en el campo magnético. **Las líneas son cerradas**.
- El campo magnético es en cada punto tangente a las líneas de fuerza.



Un Tesla es una unidad muy grande, por eso muchas veces se utiliza como unidad el **gauss (G)**, siendo $1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$.

1.2. EFECTOS DEL CAMPO MAGNÉTICO

Los efectos del campo magnético vamos a resumirlos en los efectos que produce la fuerza magnética en distintas situaciones o distintos elementos.

Ya hemos estudiado el movimiento de una carga eléctrica inmerso en un campo magnético. Profundizando en el efecto que produce la fuerza magnética sobre la partícula que entra perpendicular a la dirección del campo, resultan las siguientes características:

- El movimiento es circular y por tanto, la fuerza es centrípeta. El radio de la órbita es:

$$F_m = ma_c \Rightarrow qvB = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow R = \frac{mv}{qB}$$

- Teniendo en cuenta la relación entre la velocidad lineal y la angular, $v = \omega R$, la velocidad angular es,

$$R = \frac{m\omega R}{qB} \Rightarrow \omega = \frac{qB}{m}$$

- El periodo del movimiento circular es,

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{qB}$$

Si la partícula tiene la misma dirección que el campo sabemos que el movimiento de ésta es rectilíneo y uniforme. Sin embargo, si la velocidad de la partícula forma un ángulo α con el campo magnético, el movimiento será helicoidal, donde la componente de la velocidad perpendicular al campo magnético provocará un movimiento circular y la componente de la velocidad paralela al plano será el responsable del avance de la partícula.

1.2.1. LEY DE LORENTZ

Si sobre la carga en movimiento, además de existir un campo magnético, coexiste también un campo eléctrico, la fuerza total que actúa sobre la carga será la suma de ambas y se llama **fuerza de Lorentz**:

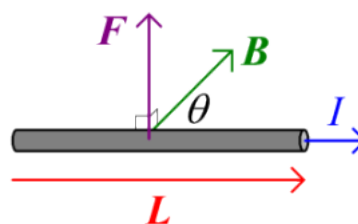
$$\vec{F} = q\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B})$$

1.2.2. FUERZA MAGNÉTICA SOBRE UN CONDUCTOR ELÉCTRICO

Puesto que el \vec{B} ejerce una fuerza sobre las cargas en movimiento y la corriente eléctrica es un movimiento ordenado de cargas, se puede concluir que sobre un conductor inmerso en el interior de un campo magnético actuará también una fuerza magnética, por tanto, los campos magnéticos ejercen fuerzas sobre las corrientes eléctricas.

1.2.2.1. CONDUCTOR RECTILÍNEO

Si tenemos un conductor rectilíneo de longitud l por el que circula una corriente de intensidad I inmerso en un campo magnético \vec{B} uniforme y con dirección perpendicular al conductor, éste se verá afectado por una fuerza magnética en dirección perpendicular al conductor.



Teniendo en cuenta la intensidad de corriente, $I = \frac{dq}{dt}$, y que la longitud del conductor puede venir dado por el producto de la velocidad de la corriente y el tiempo que tarda en recorrerlo, $dL = vdt$, podemos, a partir de la fuerza magnética sobre una carga en movimiento, hallar la expresión que rige la fuerza que se ejerce sobre un conductor rectilíneo:

$$F = qvB \sin \alpha \Rightarrow F = I(vdt)B \sin \alpha \Rightarrow \boxed{F = ILB \sin \alpha}$$

De forma vectorial, la fuerza magnética sobre un conductor rectilíneo de longitud L por el que circula una corriente I situado en un campo magnético \vec{B} es,

$$\boxed{\vec{F} = I(\vec{L} \times \vec{B})}$$

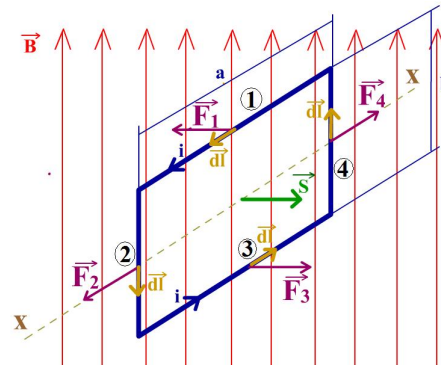
El vector \vec{L} tiene como sentido el del movimiento de la corriente.

1.2.2.2. MOMENTO SOBRE UNA ESPIRA

Cuando una espira rectangular (bobina unitaria) está dentro de un campo magnético, sobre cada uno de los lados de la espira se ejerce una fuerza magnética y puesto que la corriente (I) que circula sobre ella tiene sentidos distintos, aparecen fuerzas con distinto sentido que provocan un par de fuerzas que producirá un giro a la espira.

Este efecto es el que se produce en instrumentos como el galvanómetro o en un motor eléctrico, en ellos hay que tener en cuenta que la bobina se encuentra formada por muchas espiras y aumenta la capacidad de rotación de ésta.

Según vemos en la ilustración, la $F_2 = -F_4$ al estar en la misma recta y por tanto, el efecto de estas fuerzas se anula mutuamente. Sin embargo, la F_1 y la F_3 no se anulan y forman un par de fuerzas que hace girar a la espira. Teniendo en cuenta el valor de la fuerza sobre una corriente rectilínea, $F = IaB \sin \alpha$, el momento del par es,



$$M = Fd \Rightarrow M = ISB \sin \alpha$$

Donde $d = b \sin \alpha$, el brazo del par de fuerzas y S el área de la espira. Escrita en forma vectorial,

$$\vec{M} = I(\vec{S} \times \vec{B}) = \vec{m} \times \vec{B}$$

Siendo \vec{m} el **momento magnético** de la espira e igual a $\vec{m} = I\vec{S}$.

1.3. GENERACIÓN DE CAMPOS MAGNÉTICOS

Hasta ahora hemos visto el efecto de la fuerza magnética en distintas situaciones, en esta sección vamos a ver como se genera y de que factores depende el campo magnético produce por distintos elementos de corriente.

1.3.1. CAMPO MAGNÉTICO CREADO POR UNA CARGA EN MOVIMIENTO

Los estudios del campo magnético creado sobre una carga en movimiento mostraron que éste era proporcional a la carga q , y a su velocidad, v , e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, r . Según la experiencia se llevara a cabo en un medio u otro la constante de proporcionalidad variaba, así entonces, el campo queda de la forma,

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qv}{r^2} \sin \alpha$$

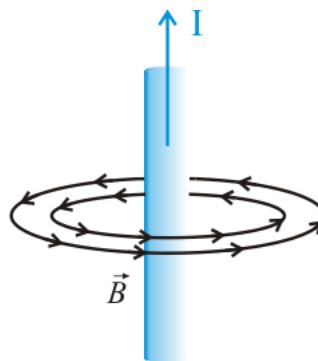
Siendo μ_0 la permeabilidad magnética del vacío y α el ángulo que forma la velocidad con el vector posición al punto P que queremos hallar el \vec{B} .

Sobre el punto P aparece el efecto de dos intensidad de campo, el magnético y el eléctrico. Mientras que la interacción del campo magnético solo se pone de manifiesto

cuando la carga se mueve, el campo eléctrico está siempre presente cuando la carga está en reposo.

1.3.2. CAMPO MAGNÉTICO CREADO POR UN CONDUCTOR RECTILÍNEO

Los científicos *Biot* y *Savart* estudiaron el fenómeno de la inducción magnética debida a un conductor rectilíneo y observaron que ésta, era directamente proporcional a la intensidad de la corriente e inversamente proporcional a la distancia R . A su vez, demostraron que la constante de proporcionalidad dependía del medio en el que se encontrará el conductor.



La inducción magnética crea líneas de inducción de circunferencias concéntricas con centro en un punto del conductor, la dirección del \vec{B} es siempre tangente a la línea de inducción y su sentido depende del sentido de la corriente I (regla de la mano derecha).

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$

Siendo μ_0 la permeabilidad magnética del vacío, cuyo valor es $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ NA}^{-2}$, I la intensidad de la corriente que circula por el conductor y R la distancia al conductor. Vectorialmente se define la Ley de Biot y Savart como,

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{\Delta \vec{L} \times \vec{r}}{r^3}$$

1.3.3. CAMPO MAGNÉTICO CREADO POR UNA CORRIENTE CIRCULAR

La aplicación de la Ley de Biot y Savart conduce al cálculo de la inducción magnética en una corriente circular.

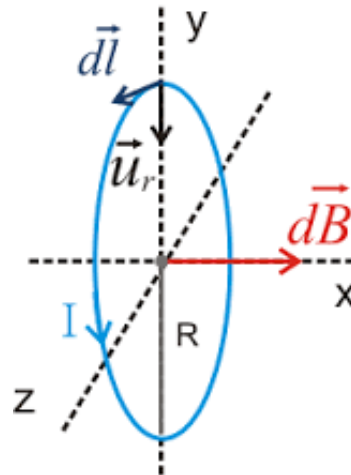
Así, puesto que el vector campo magnético, \vec{B} , es perpendicular a todos los elementos de corriente en que puede descomponerse la espira, es, por tanto, perpendicular al plano que contiene la espira.

$$\alpha = 90^\circ \Rightarrow B = \sum (\Delta B)$$

$$B = \sum \left(\frac{\mu_0 I \Delta L}{4\pi R^2} \right) = \sum \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} (\Delta L)$$

Como $\Delta L = 2\pi R$,

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}$$



El sentido del campo magnético está marcado por el avance de un sacacorchos que gira en el mismo sentido que la corriente (regla de la mano derecha).

1.4. LEY DE AMPÈRE

De la misma forma que el teorema de Gauss expresa con mayor claridad y generalidad una propiedad del campo eléctrico que la Ley de Coulomb, en la interacción magnética, el teorema de Ampère sustituye a la Ley de Biot y Savart. El enunciado es el siguiente: *La integral curvilínea del vector campo magnético, \vec{B} , a lo largo de cualquier curva cerrada es igual al producto de μ_0 por la intensidad neta de corriente que atraviesa el área limitada por dicha curva.*

$$\oint \vec{B} \cdot \vec{L} = \mu_0 \sum I$$

Así, el campo magnético de un **solenoid** (conjunto de espiras circulares paralelas que puede ser recorridas por la misma corriente) nos queda:

$$B = \mu_0 \frac{N}{L} I = \mu_0 n I$$

Siendo n el número de espiras por unidad de longitud del solenoid.

De igual forma, en un **toroid** (conjunto de espiras circulares arrolladas en torno a un núcleo de hierro en forma de anillo), las líneas de fuerza son circulares y el valor del \vec{B} en su interior es idéntico en todos sus puntos.

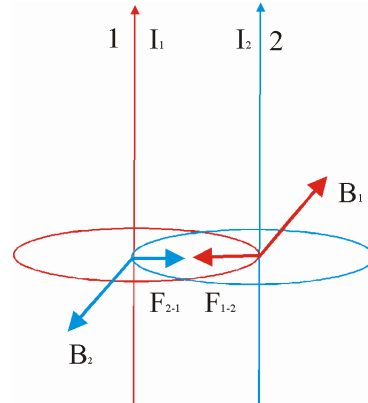
$$B = \mu_0 \frac{N}{2\pi R} I = \mu_0 n I$$

En los puntos exteriores el campo magnético es prácticamente nulo.

1.5. FUERZA MAGNÉTICA ENTRE DOS CONDUCTORES RECTILÍNEOS

Considerando dos conductores rectilíneos paralelos por los que circulan dos corrientes, I_1 e I_2 , en el mismo sentido y separados por una distancia R , el primer conductor genera en el espacio un campo magnético B_1 perpendicular al segundo conductor y al plano formado con el primero,

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi R}$$



Entonces, la fuerza que experimenta el segundo conductor rectilíneo vendrá dada por,

$$F_{12} = I_2 L B_1 \sin \alpha \quad \xrightarrow{\alpha=90^\circ} \quad \boxed{F_{12} = \frac{\mu_0 I_1 I_2 L}{2\pi R}}$$

Podemos observar que se cumple la Ley de acción y reacción, puesto que $F_{21} = -F_{12}$. Si los dos conductores tienen corrientes en el mismo sentido, las fuerzas son atractivas, si las corrientes tienen sentidos contrarios, entonces las fuerzas son repulsivas.

En ocasiones, nos interesa conocer la fuerza por unidad de longitud del conductor, esto es,

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi R} \Rightarrow \left[\frac{F}{L} \right] = \frac{N}{m}$$

1.5.1. DEFINICIÓN DE AMPERIO

La definición anterior nos permite realizar la definición de la unidad en el SI de la magnitud **intensidad de corriente**, el Amperio (A).

Dos conductores rectilíneos paralelos situados en el vacío a un metro de distancia están recorridos en el mismo sentido por corrientes de un amperio si se atraen con una fuerza de $2 \cdot 10^{-7}$ N por metro de longitud.

1.6. CARACTER NO CONSERVATIVO DEL CAMPO MAGNÉTICO

Las fuerzas tales que el trabajo que realizan entre dos puntos cualesquiera dependen exclusivamente de esos puntos y no de la trayectoria seguida al pasar de uno a otro se dice que son conservativas, es decir, el trabajo es independiente de la trayectoria. Para este tipo de fuerzas se puede definir una función potencial escalar que dependa exclusivamente de la posición de los cuerpos tal que,

$$F = -\frac{dE_p}{dr}$$

De esta manera, la energía potencia depende de la naturaleza de la fuerza y no todos satisfacen la condición. La energía cinética es independiente de la fuerza que sea puesto que su valor siempre viene dado por la misma expresión. Siempre que la fuerza sea conservativa la Energía de la partícula se conserva, es decir, la Energía total permanece constante.

Para la fuerza magnética no se puede definir un potencial magnético en cada punto del campo y el trabajo necesario para desplazar una carga entre dos puntos del campo sí depende de la trayectoria seguida.

Si tenemos un hilo conductor muy largo, que crea un campo magnético alrededor suyo, y consideramos dos puntos diametralmente opuestos sobre una circunferencia, al calcular la circulación del campo entre estos dos puntos en un sentido y en otro, nos encontramos que su valor es el mismo pero de sentido contrario, lo que demuestra que el campo magnético no es conservativo.

1.7. APLICACIONES

1.7.1. ELECTROIMÁN

Es un imán artificial que produce un campos magnético cuando circula por él una corriente eléctrica. Suele estar construidos por un solenoide en cuyo interior se ha introducido un nucleo de hierro dulce para incrementar el campo magnético. Se utiliza en timbre, altavoces,...

1.7.2. ESPECTRÓMETRO DE MASAS

Es el sistema más exacto para medir el peso atómico de los elementos, con él se investiga la presencia de isótopos.

En una cámara donde se hace el vacío, se ioniza el elemento en estado de vapor para producir un ión, posteriormente, el ión penetra en otra cámara donde coexisten un campo eléctrico y un campo magnético (\vec{B}_1) perpendiculares y compensados para que la partícula no sufra desviación y adquiera una velocidad definida.

$$F_e = F_m \Rightarrow qE = qvB_1 \Rightarrow v = \frac{E}{B_1}$$

Finalmente los iones pasan a una cavidad semicircular donde existe un campo magnético \vec{B}_2 , paralelo al primero y donde la partícula describe una trayectoria circular:

$$F_m = ma_c \Rightarrow qvB_2 = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow m = \frac{qB_1B_2}{E} R$$

La masa del ión (practicamente igual a la del átomo) es proporcional al radio de la trayectoria.

En otro tipo de espectrómetros simplemente se aceleran los iones mediante una ddp para adquirir una velocidad,

$$v = \sqrt{\frac{2qV}{m}}$$

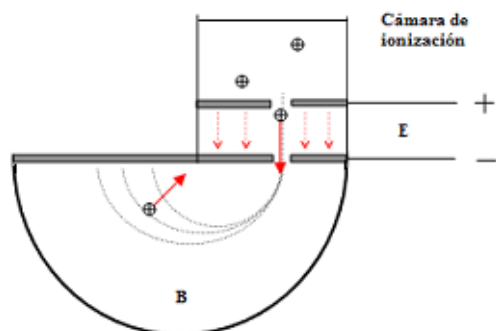
1.7.3. CICLOTRÓN

Consiste en una cavidad cilíndrica dividida en dos mitades denominadas D_s , D_1 y D_2 , aisladas eléctricamente entre sí. Ésta se coloca en un campo magnético uniforme paralelo a su eje, en el centro de las D_s se coloca una fuente de iones y se aplica entre las mismas una ddp alterna cuya polaridad cambia cada $T/2$.

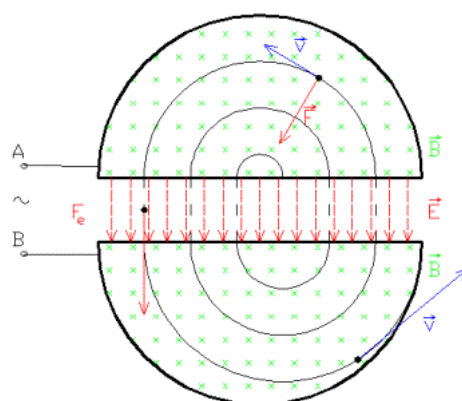
El ión penetra en una D y realiza una órbita circular de radio $R = \frac{mv}{qB}$ en un tiempo $T_1 = T/2 = \frac{\pi m}{qB}$ independientemente de la velocidad, por tanto, tardan el mismo tiempo en recorrer cada cavidad. Cuando sale de la mitad D_1 , el ión es acelerado de nuevo por la ddp para entrar en D_2 y describir una semicircunferencia mayor. Este proceso se realiza continuamente hasta que el ión adquiere una velocidad máxima dada por,

$$R = \frac{mv_{max}}{qB} \Rightarrow v_{max} = \frac{q}{m} BR$$

Se suelen utilizar para acelerar protones y deuterones para obtener materiales radiactivos con aplicaciones médicas.



Espectrómetro de masas.



Diseño esquemático de un ciclotrón.

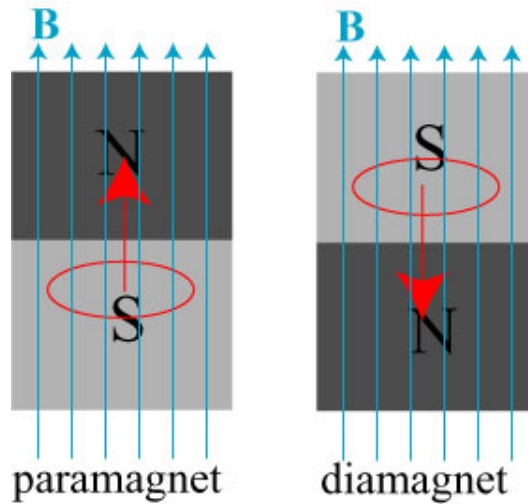
1.8. TIPOS DE SUSTANCIAS

Las cargas eléctricas en reposo crean campos eléctricos pero en movimiento, crean además campos magnéticos. El magnetismo reside en el propio giro del electrón sobre sí mismo, ya que estos giros crean campos magnéticos de spin. Los electrones normalmente se encuentran apareados con spines antiparalelos y los campos magnéticos se anulan entre sí, por ello, la materia no presenta propiedades magnéticas apreciables (excepto Fe, Co,...).

La materia según sus propiedades magnéticas se divide en:

- **SUSTANCIAS DIAMAGNÉTICAS:** Los efectos magnéticos de los electrones se anulan entre sí y no presentan propiedades magnéticas. El H_2O , NaCl o el Pb tienen una permitividad magnética menor que la permitividad magnética del vacío.
- **SUSTANCIAS PARAMAGNÉTICAS:** En este caso, las sustancias presentan campos magnéticos a escala atómica. Presentan un momento dipolar no nulo debido al movimiento orbital de los electrones. En presencia de campos magnéticos externos se alinean con él. El paramagnetismo aumenta al disminuir la temperatura (disminuye la agitación térmica) y su permitividad magnética es superior a la del vacío. Sustancias como el Sn, el O_2 o el Al pertenecen a este grupo.
- **SUSTANCIAS FERROMAGNÉTICAS:** Son sustancias atraídas fuertemente por campos magnéticos externos (Fe, Co, Ni). Sus efectos desaparecen por encima de una temperatura característica de cada sustancia denominada **punto de Curie**. Tienen una permitividad magnética muy superior a la del vacío.

Los átomos se agrupan por dominios donde sus momentos magnéticos tienen igual orientación, en presencia de campos magnéticos el conjunto de todos ellos se alinea con él generando un campo magnético muy intenso que causa la fuerza atracción.



1.9. PROBLEMAS RESUELTOS

1. En un ciclotrón, un protón de masa y carga conocida, penetra con una velocidad de $2,5 \cdot 10^6 \text{ ms}^{-1}$ en dirección perpendicular a un campo magnético uniforme de 6 T. Calcula:

- La fuerza magnética sobre él.
 - El radio de la circunferencia que describe.
 - Las vueltas que da en un segundo.
- a) La única fuerza que actúa sobre el protón es la fuerza magnética, si éste penetra perpendicularmente al campo su ángulo es de 90° y por tanto,

$$F = qvB \sin \alpha = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2,5 \cdot 10^6 \cdot 6 = 2,4 \cdot 10^{-12} \text{ N}$$

- b) Aplicando la segunda Ley de Newton, el radio de la circunferencia que describe nos queda,

$$\sum F = ma_c \Rightarrow qvB \sin \alpha = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow R = \frac{mv}{qB} = 4,4 \cdot 10^{-3}$$

- c) Las vueltas que da en un segundo es la frecuencia (inversa del periodo), con $v = \omega R$, siendo ω la velocidad angular,

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{qB} = 1,1 \cdot 10^{-8} \text{ s}$$

$$\nu = \frac{1}{T} = 9,1 \cdot 10^7 \text{ Hz}$$

2. Un hilo conductor rectilíneo de 4 m de longitud y 5 kg de masa, por el que circula una intensidad de corriente de 20 A, levita paralelamente al suelo debido al efecto de un campo magnético paralelo al suelo y perpendicular al hilo. Determine el valor del campo magnético.

Aplicando la segunda ley de Newton y teniendo en cuenta que no existe aceleración del hilo, podemos expresar la igualdad de las dos fuerzas existentes en el sistema, la magnética y la del peso del hilo,

$$F_m = P \Rightarrow IlB \sin \alpha = mg \Rightarrow B = \frac{mg}{Il \sin \alpha} = 0,61 \text{ T}$$

Siendo el ángulo formado por el hilo y el campo magnético de 90° .

3. Calcula la fuerza por unidad de longitud con la que se repelen dos conductores rectilíneos paralelos por los que circulan corrientes eléctricas de 2 y 3 A en sentidos contrarios si están separados por una distancia de 3 cm.

A partir de la fuerza magnética que se ejercen dos conductores rectilíneos y teniendo en cuenta que nos piden fuerza por unidad de longitud,

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ Nm}^{-1}$$

4. Se tiene un conductor rectilíneo, indefinido y de 1 cm de diametro, por cuyo interior circula una corriente eléctrica de 4 A distribuida uniformemente. Calcula el valor de la inducción magnética en un punto situado del eje del conductor:

- Un punto interior del conductor.
 - En la superficie del conductor.
 - Un punto exterior.
- a) Para un punto interior, puesto que el radio del conductor es de 5 mm, podemos elegir un punto situado a 3 mm del eje del conductor. Después de aplicar el teorema de Ampère, la inducción magnética en él será:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R^2} r = \frac{4\pi 10^{-7} \cdot 4}{2\pi (5 \cdot 10^{-3})^2} 3 \cdot 10^{-3} = 9,6 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

- b) En la superficie, $r = 5\text{mm}$,

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R^2} r = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ T}$$

- c) Un punto interior, por ejemplo $r = 1\text{cm}$, la inducción magnética será:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R^2} r = 8 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$