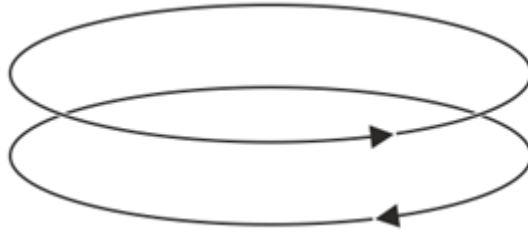


## BOLETÍN DE TEORÍA CAMPO MAGNÉTICO (trabajo)

### Teoría 1

Dos espiras circulares se sitúan de la manera indicada en la figura con las intensidades de corriente en los sentidos que se indican. ¿Cómo es la interacción de la inferior sobre la superior, esto es, se repelen, se atraen, o no se ejerce interacción?



### Teoría 2

Dos cargas eléctricas iguales se mueven por el eje Z. En un instante dado una se encuentra en el origen moviéndose con velocidad  $v_0$  siguiendo el eje Z en sentido positivo y la otra en la posición  $(0,0,a)$ , moviéndose con velocidad  $v_0$  siguiendo el eje Z en sentido negativo. ¿Cómo es la fuerza magnética entre las cargas?

### Teoría 3

Se tiene una espira circular en el plano XY, centrada en el origen, por la cual circula una corriente  $I_0$  en sentido antihorario. Por el centro de la espira pasa una carga positiva  $q$ , moviéndose con velocidad  $v_0$  en el sentido positivo del eje X. ¿Qué efecto produce la espira sobre la carga?

### Teoría 4

¿Cuál de las siguientes bobinas produce un campo magnético más intenso en su interior cuando por ellas circula una corriente de 1 A?

- A. Una de 300 vueltas, 15 cm de longitud y 2 cm de diámetro.
- B. Una de 200 vueltas, 8 cm de longitud y 1 cm de diámetro.
- C. Una de 500 vueltas, 30 cm de longitud y 2 cm de diámetro.
- D. Una de 400 vueltas, 20 cm de longitud y 1 cm de diámetro.

### Teoría 5

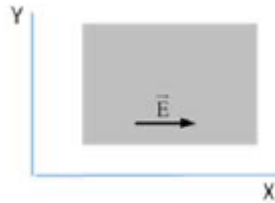
Se aumenta el radio de una espira circular por 4. ¿Por cuánto hay que multiplicar la corriente que circula por ella para que produzca el mismo campo magnético en su centro?

### Teoría 6

¿En qué casos un campo magnético no ejerce fuerza sobre una partícula cargada? ¿Y sobre un conductor rectilíneo indefinido por el que circula una corriente eléctrica? Razone las respuestas.

### Teoría 7

En la figura se muestra en color gris una región del espacio en la que hay un campo electrostático uniforme  $E$ . Un electrón, un protón y un neutrón penetran en la región del campo con velocidad constante  $v = v \hat{i}$  desde la izquierda. Explique razonadamente cómo es el movimiento de cada partícula si se desprecian los efectos de la gravedad.



### Teoría 8

Un haz de electrones atraviesa una región del espacio siguiendo una trayectoria rectilínea. En dicha región hay aplicado un campo electrostático uniforme. ¿Es posible deducir algo acerca de la orientación del campo? Repita el razonamiento para un campo magnético uniforme.

### Teoría 9

Dos partículas cargadas se mueven con la misma velocidad  $y$ , al aplicarles un campo magnético perpendicular a dicha velocidad, se desvían en sentidos contrarios y describen trayectorias circulares de distintos radios. ¿Qué puede decirse de las características de esas partículas? Si en vez de aplicarles un campo magnético se le aplica un campo eléctrico paralelo a su trayectoria, indique razonadamente, cómo se mueven las partículas.

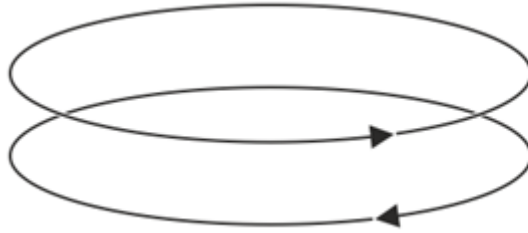
### Teoría 10

Dos iones, uno con carga doble que el otro, penetran con la misma velocidad en un campo magnético uniforme. El diámetro de la circunferencia que describe uno de los iones es cinco veces mayor que el de la descrita por el otro ion. Razone cuál es la relación entre las masas de los iones.

## BOLETÍN DE TEORÍA CAMPO MAGNÉTICO (trabajo)

### Teoría 1

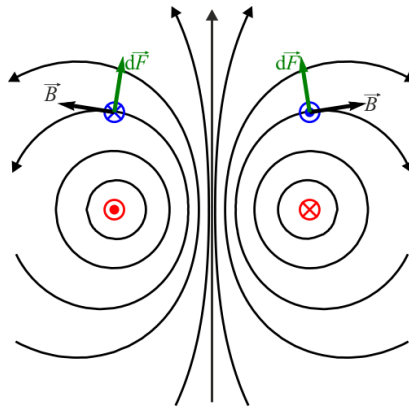
Dos espiras circulares se sitúan de la manera indicada en la figura con las intensidades de corriente en los sentidos que se indican. ¿Cómo es la interacción de la inferior sobre la superior, esto es, se repelen, se atraen, o no se ejerce interacción?



Solución: La repele.

Es una consecuencia inmediata de que corrientes antiparalelas ( $\uparrow \downarrow$ ) se repelen.

Más en detalle, debemos considerar el campo magnético debido a una de las espiras, la de abajo por ejemplo. El campo debido a esta espira describe curvas cerradas (no circulares) alrededor de la espira, siendo el sentido de recorrido el dado por la regla de la mano derecha.



La segunda espira se encuentra inmersa en el campo de ésta. Sobre cada elemento de corriente se produce una fuerza.

$$\vec{F} = I \cdot (\vec{l} \times \vec{B})$$

Esta fuerza es perpendicular a la corriente y al campo. Por la regla de la mano derecha para el producto vectorial resulta una fuerza que va principalmente hacia arriba (aunque tiene una cierta inclinación). Cuando sumamos todos los diferenciales de fuerza para obtener la fuerza neta, las componentes horizontales se cancelan y resulta una fuerza vertical repulsiva.

## Teoría 2

Dos cargas eléctricas iguales se mueven por el eje Z. En un instante dado una se encuentra en el origen moviéndose con velocidad  $v_0$  siguiendo el eje Z en sentido positivo y la otra en la posición  $(0,0,a)$ , moviéndose con velocidad  $v_0$  siguiendo el eje Z en sentido negativo. ¿Cómo es la fuerza magnética entre las cargas?

Solución: Es nula.

El campo magnético creado por una carga en movimiento (con carga  $q_0$  y velocidad  $v_0$ ), en un punto a una distancia  $r$  de ella es:

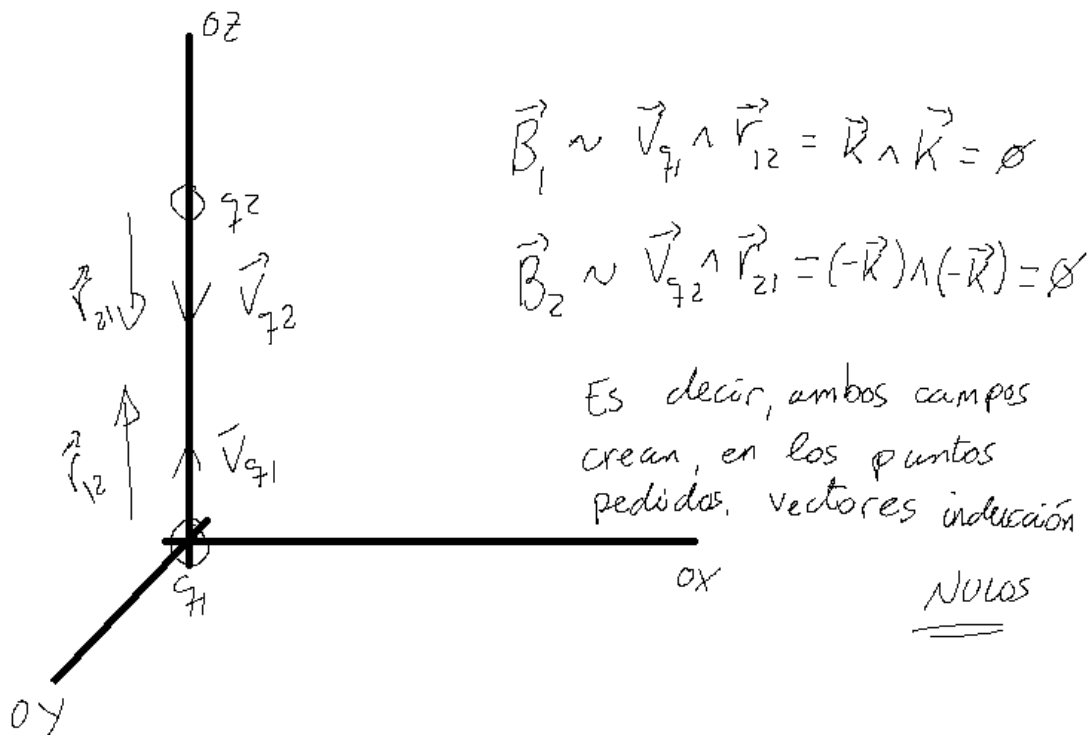
$$\vec{B} = K_m \frac{q_0 \cdot (\vec{v}_0 \times \vec{r})}{r^3}$$

Como vemos, el campo que se crea es perpendicular a la dirección de la velocidad y al vector que une la carga con el punto.

Finalmente, la fórmula de la fuerza magnética (Ley de Lorentz) nos da la fuerza sobre una carga móvil (con carga  $q$  y velocidad  $v_q$ ) que se encuentra inmersa en un campo magnético:

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

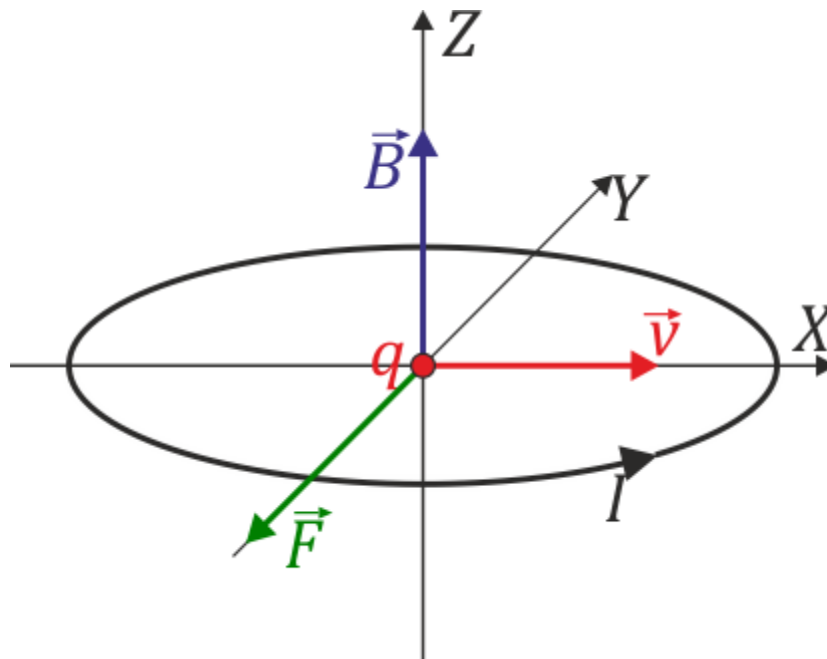
Atendiendo a estas ecuaciones, y mirando solamente las direcciones que tomarán los distintos vectores, podemos ver claramente la interacción entre ambas cargas. Llamaremos  $q_1$  a la que se encuentra en el origen y  $q_2$  a la que se encuentra en el punto  $(0,0,a)$ .



### Teoría 3

Se tiene una espira circular en el plano XY, centrada en el origen, por la cual circula una corriente  $I_0$  en sentido antihorario. Por el centro de la espira pasa una carga positiva  $q$ , moviéndose con velocidad  $v_0$  en el sentido positivo del eje X. ¿Qué efecto produce la espira sobre la carga?

Solución: Una fuerza en el sentido  $-j$



Fuerza sobre una carga en movimiento (Ley de Lorentz):

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

Basta con observar las distintas direcciones obtenidas en los productos vectoriales.

#### Teoría 4

¿Cuál de las siguientes bobinas produce un campo magnético más intenso en su interior cuando por ellas circula una corriente de 1 A?

- A. Una de 300 vueltas, 15 cm de longitud y 2 cm de diámetro.
- B. Una de 200 vueltas, 8 cm de longitud y 1 cm de diámetro.
- C. Una de 500 vueltas, 30 cm de longitud y 2 cm de diámetro.
- D. Una de 400 vueltas, 20 cm de longitud y 1 cm de diámetro.

Solución: La B, una de 200 vueltas, 8 cm de longitud y 1 cm de diámetro.

El campo magnético en el interior de una bobina es:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l}$$

Basta con evaluar esta ecuación en cada uno de los casos.

Más interesante sería observar las relaciones de proporcionalidad entre el campo magnético producido por una bobina/solenoides/conjunto de espiras y sus distintos componentes. Es decir:

Relación directa con el número de espiras: a más/menos número de espiras, más/menos inducción magnética.

Y el resto... se deja al alumno interesado.

## Teoría 5

Se aumenta el radio de una espira circular por 4. ¿Por cuánto hay que multiplicar la corriente que circula por ella para que produzca el mismo campo magnético en su centro?

Solución: Por 4.

La fórmula del campo magnético que se produce en el centro de una espira es:

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

Si ponemos un nuevo radio, igual a  $4R$ , siendo  $R$  el radio original, parece claro que habrá que multiplicar por 4 la corriente para conseguir dejarlo todo igual.

## Teoría 6

¿En qué casos un campo magnético no ejerce fuerza sobre una partícula cargada? ¿Y sobre un conductor rectilíneo indefinido por el que circula una corriente eléctrica? Razone las respuestas.

### Solución:

La fuerza que ejerce un campo magnético sobre una partícula cargada, con velocidad  $v_q$  viene dada por la fórmula:

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

Y la fuerza que ejerce un campo magnético sobre un conductor rectilíneo indefinido por el que circula una corriente eléctrica viene dada por la fórmula:

$$\vec{F} = I \cdot (\vec{l} \times \vec{B})$$

Basta leer un poco las fórmulas para entender que...

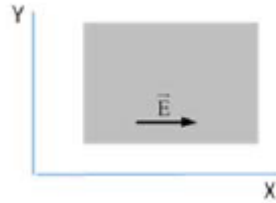
Caso de la partícula cargada: ¡CUIDADO! En el enunciado NO se dice que vaya a velocidad ninguna, luego podemos decir que cabe la posibilidad que la partícula esté estática. Luego un campo magnético no ejerce fuerza sobre una partícula cargada si la velocidad de la partícula es cero o si la velocidad es paralela al campo magnético existente, pues en tal caso, su producto vectorial será igual a cero.

Caso del conductor rectilíneo indefinido por el que circula una corriente rectilínea: aquí si hay movimiento de cargas, pues sabemos que por el conductor pasa una cierta intensidad, por tanto, la única posibilidad es que el vector longitud del cable y el vector inducción magnética existente sean paralelos, o lo que es lo mismo, que el conductor vaya paralelo a las líneas de inducción magnética.



## Teoría 7

En la figura se muestra en color gris una región del espacio en la que hay un campo electrostático uniforme  $E$ . Un electrón, un protón y un neutrón penetran en la región del campo con velocidad constante  $v = v \hat{i}$  desde la izquierda. Explique razonadamente cómo es el movimiento de cada partícula si se desprecian los efectos de la gravedad.



### Solución:

A pesar de estar en un boletín de campo magnético, esta pregunta teórica del campo eléctrico, se hace una interesante reflexión que debe ser importante remarcar: el peso de las cargas y su signo en todo el cálculo de las fuerzas producidas por los campos.

Si atendemos a la Ley de Lorentz completa (incluyendo campo eléctrico y magnético):

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

Por lo tanto, vemos que para una carga positiva (protón), se ejercerá una fuerza en la dirección del campo eléctrico, que es la misma que la dirección de la velocidad inicial con la que entran a él. Por tanto, la partícula sufrirá una aceleración, manteniendo su trayectoria igual.

Sin embargo, el electrón (carga negativa) sufrirá una fuerza en la dirección contraria al campo, pues el signo negativo de su carga invertirá la fuerza de dirección, y por tanto, a su trayectoria, la cual hará que la partícula se vaya ralentizando poco a poco, hasta cambiar de trayectoria, moviéndose ahora en el sentido negativo del eje X.

Finalmente, el neutrón no sufrirá efecto ninguno al ser su carga igual a cero, por lo que se moverá en las mismas condiciones que estaba, sin notar la existencia del campo.

Estos resultados deberían contrastarse con los estudiados en clase sobre las trayectorias de las partículas cargadas en el seno de campos magnéticos, incidiendo sobre todo en el ángulo de entrada de la partícula a los campos, tanto eléctricos como magnéticos y su carga eléctrica.

## Teoría 8

Un haz de electrones atraviesa una región del espacio siguiendo una trayectoria rectilínea. En dicha región hay aplicado un campo electrostático uniforme. ¿Es posible deducir algo acerca de la orientación del campo? Repita el razonamiento para un campo magnético uniforme.

### Solución:

Un haz, en nuestro caso, no es más que un conjunto de partículas moviéndose todas de la misma forma. Por lo tanto un haz de electrones será un conjunto de electrones moviéndose de la misma forma.

Podemos estudiar, por tanto, el haz, fijándonos en una de las partículas que lo conforman, en este caso un electrón. De forma que lo aplicable a la trayectoria del electrón individualmente será extrapolable al haz completo.

Volviendo a la Ley de Lorentz en su forma completa:

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

Para el campo eléctrico nos quedamos con la parte:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

Tenemos que, para que el haz de electrones no sufra variación en su trayectoria solo puede ser porque el campo y la trayectoria vayan en la misma dirección, de forma que el haz de electrones se verá acelerado por acción de la fuerza eléctrica, pero seguirá manteniendo su misma trayectoria.

Para el campo magnético, nos quedamos con la parte:

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

Aquí vemos que el haz puede mantener su misma trayectoria solo si el producto vectorial de su velocidad, dirigida en la dirección de la trayectoria, y el campo magnético es cero. Dicho de otra forma, que el haz de electrones se mueve paralelamente al campo magnético.

## Teoría 9

Dos partículas cargadas se mueven con la misma velocidad y, al aplicarles un campo magnético perpendicular a dicha velocidad, se desvían en sentidos contrarios y describen trayectorias circulares de distintos radios. ¿Qué puede decirse de las características de esas partículas? Si en vez de aplicarles un campo magnético se le aplica un campo eléctrico paralelo a su trayectoria, indique razonadamente, cómo se mueven las partículas.

### Solución:

Nuevamente, nos referimos a la Ley de Lorentz, esta vez solo para la fuerza magnética:

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

Ambas partículas tienen sus trayectorias perpendiculares al campo magnético, por lo que

Vemos que si la velocidad es igual en ambas partículas (suponemos que las trayectorias también lo son), si al aplicarles campo magnético describen trayectorias iguales y de sentido contrario, podemos decir que sus cargas son de distinto signo, pues dicho signo hace que la fuerza resultante de la ley de Lorentz cambie de sentido.

Por otra parte, si dice que los radios son distintos, si vamos a la teoría, tenemos que el radio de la trayectoria circular que describe una partícula cargada al entrar perpendicularmente en un campo magnético viene dado por la fórmula:

$$r = \frac{mv}{Bq}$$

Donde  $m$  es la masa de la partícula,  $B$  es el campo magnético,  $v$  es la velocidad de la partícula y  $q$  es su carga. Como las velocidades son iguales y, lógicamente, el campo magnético es el mismo para ambas partículas, lo único que puede variar es el cociente  $m/q$

Por lo tanto, si describen radios distintos es porque el cociente  $m/q$  para ambas cargas tiene distinto valor. Esto puede ser debido o bien porque las cargas no solo tienen distinto signo, sino también distinto valor, o porque las partículas tienen distinta masa.

Ahora bien, si se aplicara un campo eléctrico paralelo a su trayectoria, la fuerza eléctrica que sufrirían las partículas sería la misma en módulo pero de distinto signo para cada una, por lo cual una de las cargas se iría deteniendo hasta cambiar el sentido de su trayectoria y la otra seguiría con la misma trayectoria, aunque lógicamente aumentaría su velocidad.

## Teoría 10

Dos iones, uno con carga doble que el otro, penetran con la misma velocidad en un campo magnético uniforme. El diámetro de la circunferencia que describe uno de los iones es cinco veces mayor que el de la descrita por el otro ion. Razone cuál es la relación entre las masas de los iones.

### Solución:

Nuevamente, nos vamos a la teoría para obtener, de forma general, el radio de la trayectoria que efectuaría una partícula cargada al entrar en un campo magnético.

$$r = \frac{mv}{Bq} \operatorname{sen}\theta$$

Cabe indicar que este es el caso general pues tiene un término que cuenta el ángulo con el que la partícula penetra en el campo magnético ( $\operatorname{sen}\theta$ ). Si la partícula entrara perpendicularmente en el campo, entonces ( $\operatorname{sen}\theta = 1$ ) y tendríamos el mismo caso de la pregunta anterior. Al no especificar nada el problema, debemos considerar el caso general.

Entendemos por el enunciado que ambas partículas entran con la misma trayectoria también en el campo magnético, y además entendemos que 'uno' se refiere a uno de los iones en ambas disposiciones del problema (doble carga y radio cinco veces mayor) y que 'otro' se refiere al otro ión. Si no fuera así, habría que establecer distintos casos y explicarlos.

Por lo tanto estableciendo las ecuaciones tenemos que:

$$5r = \frac{m'v}{B2q} \operatorname{sen}\theta$$

$$r = \frac{mv}{Bq} \operatorname{sen}\theta$$

Si dividimos ambas ecuaciones queda que:

$$m' = 10m$$

Es decir, la masa del ión 'uno' es 10 veces la del ión 'otro'.