

UNIVERSIDAD ICESI
CURSO DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO 2024 -1

**CONFINAMIENTO DE PLASMA EN UN CAMPO MAGNÉTICO NO UNIFORME Y SU
APLICABILIDAD EN LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA**

AUTORES:

KEVIN BANGUERO - A00369589
ISABELA LÓPEZ - A00398729
VALERIA RUIZ LÓPEZ - A00400230
SANTIAGO URREA - A00399725
JACOBO VARGAS - A00381095

INTRODUCCIÓN

El confinamiento preciso y controlado de partículas cargadas eléctricamente juega un papel crucial en numerosas aplicaciones, desde la fusión nuclear hasta la manipulación de materiales a escala nanométrica. Este confinamiento se logra a través de campos magnéticos no uniformes. Cuando una partícula con velocidad v y carga q entra en un campo magnético B , se somete a una fuerza magnética F dada por:

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

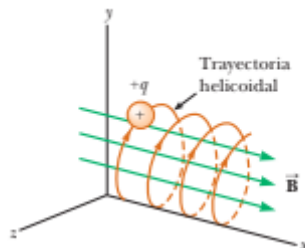


Figura 1. Trayectoria de una partícula en un campo magnético

Tomado de: [2] Serway, Raymond A., y John W. Jewett. "Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics." 7th ed., vol. 2, Brooks/Cole Cengage Learning, 2007.

y la dirección de dicha fuerza se determina por la regla de la mano derecha. La palma apunta en la dirección del campo magnético B , los dedos se orientan en de la velocidad v de la partícula, y la fuerza magnética F sobre una carga positiva se percibe en la dirección del dedo pulgar, como si estuviera empujando la partícula en esa dirección.

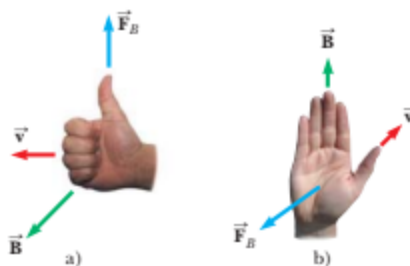


Figura 2. Regla de la mano derecha

Tomado de: [2] Serway, Raymond A., y John W. Jewett. "Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics." 7th ed., vol. 2, Brooks/Cole Cengage Learning, 2007.

A continuación se mostrará cómo mediante esta relación se puede modelar, diseñar e implementar el confinamiento magnético de plasma.

Desarrollo del problema

Para entender de forma correcta el concepto de botella magnética, debemos entender cómo es el comportamiento de un campo magnético no uniforme. El concepto de campo magnético no uniforme, como su nombre lo dice, es una deformación del espacio generada por un imán, al igual que los campos magnéticos uniformes. Ahora, la no uniformidad de estos campos está dada debido a que la intensidad dentro de este no es igual en todas sus partes, por esto mismo, el comportamiento de una partícula cargada que entra al campo no uniforme pueden oscilar de dos maneras distintas. Este comportamiento genera que la partícula cargada termine confinada dentro del campo. Un tipo de campo magnético no uniforme muy conocido es aquel llamado botella magnética. Este campo tiene una mayor intensidad en sus extremos y una mucho menor en la mitad del mismo lo que genera que al trazar las líneas de campo magnético tenga una forma de botella (Ver figura 3).

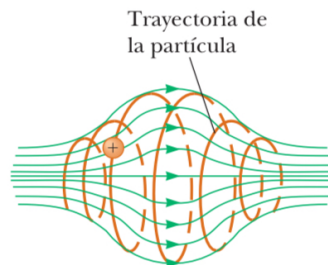


Figura 3. Líneas de campo magnético no uniforme (botella magnética)

Tomado de: [2] Serway, Raymond A., y John W. Jewett. "Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics." 7th ed., vol. 2, Brooks/Cole Cengage Learning, 2007.

Este comportamiento en la partícula genera el movimiento circular debido a la fuerza magnética que experimenta mientras atraviesa el campo (Ver figura 1). Sin embargo, como antes se mencionó, la partícula puede oscilar de dos maneras diferentes dentro del campo, esto está dado debido a la diferencia de la intensidad. Los sectores del campo con menor intensidad actuarán como paredes para la partícula, ocasionando que tenga un efecto parecido al rebote de una pelota cuando choca con una pared. De esta manera, la partícula termina oscilando en ambas direcciones tomando una forma esférica (Ver figura 4).

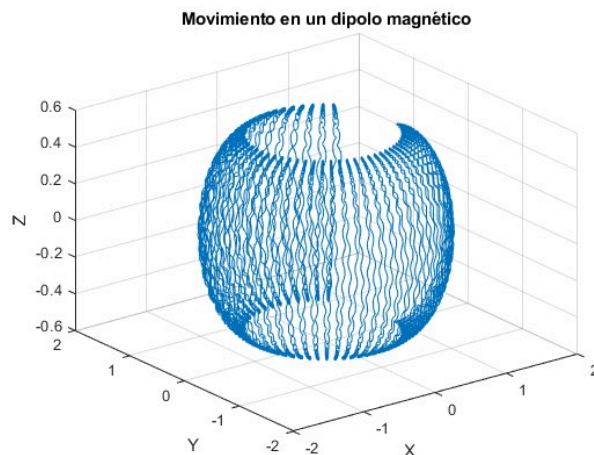


Figura 4. Movimiento de una partícula en un dipolo magnético.

La pregunta ahora es ¿cómo se puede evidenciar matemáticamente la figura de una botella magnética? Se desarrollará a continuación:

Problema: Una partícula con carga $q = 1,6 \times 10^{-19} \text{ c}$, ingresa con una velocidad $v = 10^6 \text{ m/s}$ en una región de campo magnético no uniforme. El ángulo de ingreso respecto al campo es $\theta = 45^\circ$. Se va a calcular el radio r y el paso p de la hélice que describe la partícula en la región de campo para tres lugares distintos del campo

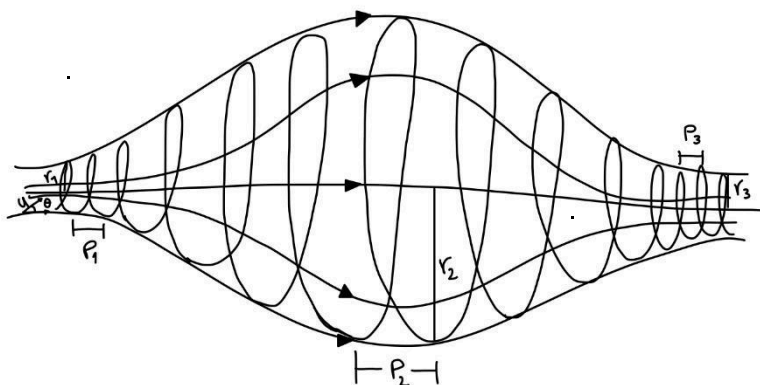


Figura 5: campo magnético no uniforme

Para calcular el radio de la hélice, usamos la siguiente fórmula:

$$qBr = mv \sin \alpha$$

$$r = \frac{mv \sin \alpha}{qB}$$

$$r = \frac{mv \sin \alpha}{q} \times \frac{1}{B}$$

Ya conocemos los valores de q , v , θ entonces los reemplazamos:

$$r = \frac{(9,1 \times 10^{-28} \text{ c})(10^6 \text{ m/s})(\text{Sen}(45))}{1,6 \times 10^{-19} \text{ c}} \times \frac{1}{B}$$

$$r = \frac{4,02 \times 10^{-3}}{B}$$

Con esto nos damos cuenta de que el radio aumenta conforme B disminuye y a su vez, el radio disminuye conforme B aumenta.

Ahora para hacer calcular el paso p debemos hacer los siguientes pasos:

Sabemos que p es:

$$p = v_y \cdot T$$

Primero necesitamos conocer la frecuencia angular ω .

Tenemos que:

$$v = rw$$

$$w = \frac{v}{r}$$

$$w = \frac{\frac{10^6}{1}}{\frac{4,02 \times 10^{-3}}{B}} = \frac{10^6 B}{4,02 \times 10^{-3}}$$

$$w = 248756218,9B$$

La frecuencia angular aumenta si B aumenta y disminuye si B disminuye.

Ahora, podemos hallar el periodo para así posteriormente poder encontrar el paso de la hélice.

Conocemos que:

$$T = \frac{2\pi}{w}$$

$$T = \frac{2\pi}{248756218,9} \cdot \frac{1}{B}$$

$$T = \frac{2,52 \times 10^{-8}}{B}$$

El periodo aumenta conforme el campo disminuye, por lo que el periodo disminuye conforme el campo aumenta.

Ahora si podemos calcular el paso p .

La fórmula para hallar el paso es:

$$P = v_y \cdot T$$

Conocemos que:

$$v_y = v \cos \alpha$$

Entonces, en la fórmula para el periodo reemplazamos de la siguiente manera.

$$p = 10^6 \cos(45) \cdot 2,52 \times 10^{-8} \cdot \frac{1}{B}$$

$$p = \frac{0,018}{B}$$

El paso de la hélice aumenta si el campo magnético disminuye y viceversa.

Podemos comprobar el análisis asignándole 3 valores al campo magnético en 3 momentos distintos del recorrido de la partícula.

Una de las características de las botellas magnéticas, es que la partícula queda atrapada debido a que entra en una zona de menor intensidad de campo magnético, mientras que, en sus otros dos lados (las tapas), es de mayor intensidad, lo que impide que la partícula pueda atravesar ese aumento de intensidad en ambos lados.

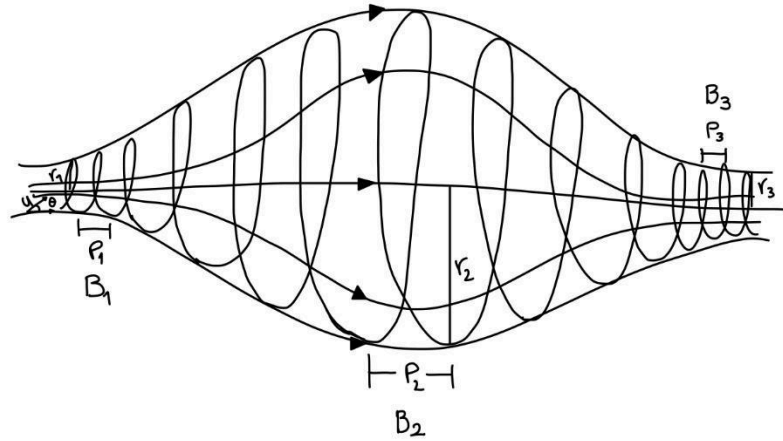


Figura 6: campo magnético no uniforme con 3 momentos definidos

Como vemos en el dibujo, vamos a tomar 3 momentos de B .

$$B_1 = 2T$$

$$B_2 = 1T$$

$$B_3 = 1.5T$$

Seleccionamos estos valores siendo el momento 1 y 3 de mayor intensidad que el momento 2 y así poder tener la representación de una botella magnética.

Para calcular el radio en el momento 1:

$$r = \frac{4,02 \times 10^{-28}}{2T}$$

$$r = 2,01 \times 10^{-28}$$

Calcular el paso en el momento 1:

$$p = \frac{0,018}{2T}$$

$$p = 9 \times 10^{-3}$$

Ahora vamos a calcular el radio y el paso de la hélice para el momento 2 y comprobar lo que nos dice nuestro análisis.

$$r = \frac{4,02 \times 10^{-3}}{1T}$$

$$r = 4,02 \times 10^{-3}$$

En este caso si tenemos un radio mayor al del momento 1 con un campo B menor.

$$p = \frac{0,018}{1T}$$

$$p = 0,018$$

Aquí tenemos un paso de la hélice mayor al del momento 1, lo que nos indica de igual manera que junto el radio con el paso de la hélice de la partícula, ambos aumentan cuando el campo tiene una intensidad menor.

Finalmente, calculamos ambos para el momento 3:

$$r = \frac{4,02 \times 10^{-3}}{1.5T}$$

$$r = 2,68 \times 10^{-3}$$

$$p = \frac{0,018}{1.5T}$$

$$p = 0,012$$

Con esto podemos comprobar que nuestro análisis para el calculo del paso y radio de la hélice de una partícula que ingresa a un campo magnético que queda confinada, es correcto

Conclusiones

El plasma es uno de los estados de la materia más abundantes del universo, está formado por gases que se le aumentó su temperatura hasta que esa energía supera la fuerza que mantiene los electrones en órbita, se produce la ionización del gas. Cuando se habla de temperaturas altas, se refiere a mediciones de energía donde en cualquier material sólido supera su punto de ebullición. En consecuencia, no es posible almacenar plasma de manera convencional. Por consiguiente, para poder estudiar este estado de la materia se desarrolló el confinamiento magnético, donde a las partículas de plasma se les acelera hasta llegar a la velocidad necesaria para aprovechar la fuerza magnética y confinar estas partículas en una botella magnética utilizando la diferencia de intensidad de los campos magnéticos. Una de las aplicaciones más prometedoras de la fuerza magnética es la producción de energía a partir de dispositivos de fusión termonuclear, que en esencia consiste en que la energía necesaria para mantener el sistema funcionando es menor a la energía producida.

Bibliografía

[1] *Movimiento de una partícula cargada en el campo de un dipolo magnético.* (s. f.). <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/magnetico/nouniforme/nouniforme.html>

[2] Serway, Raymond A., y John W. Jewett. "Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics." 7th ed., vol. 2, Brooks/Cole Cengage Learning, 2007.

[3] Restrepo, M. C. L. (2021, February 7). *Plasma: qué es y cómo se forma* |. GEEK; ICESI. https://www.icesi.edu.co/blogs_estudiantes/geek/2021/02/07/plasma-que-es-y-como-se-forma/