

FÍSICA EXPERIMENTAL III

Trabajo de Laboratorio N° 2: Bobina de Helmholtz

Objetivos: Medir el campo magnético generado por una bobina de Helmholtz.

Introducción:

En muchos experimentos es necesario generar un campo magnético uniforme dentro de una región determinada del espacio. Un ejemplo es el experimento de J. J. Thomson para encontrar la relación e/m (carga/masa del electrón), en el cual se requiere un campo uniforme para desviar el haz de electrones. Una forma de lograrlo es utilizando el dispositivo mostrado en la Figura 1, que consiste de dos bobinas, circulares, idénticas, separadas por una cierta distancia, por las que circula la misma corriente y en el mismo sentido. Este dispositivo es conocido como bobina de Helmholtz.



Figura 1: Bobina de Helmholtz.

La región de campo uniforme ($B_z \approx \text{cte}$) se encuentra en el centro geométrico del par de bobinas y la uniformidad depende de la separación entre ellas. Es decir, existe una separación óptima para la cual se alcanza la máxima uniformidad de campo magnético.

Por otro lado, hay situaciones experimentales en las que es necesario generar un gradiente uniforme de campo magnético ($G_z = \partial B_z / \partial z \approx \text{cte}$), dentro de una cierta región del espacio. La diferencia experimental con el caso anterior reside en que las corrientes circulan en sentido opuesto en ambas bobinas (configuración anti-Helmholtz). En este caso, se puede obtener un gradiente uniforme de campo magnético, por lo que B_z será prácticamente lineal, en una región limitada entre las bobinas, que se puede maximizar para una separación particular de las bobinas.

Para una bobina formada por n espiras idénticas, de radio a , por las que circula una corriente eléctrica de intensidad i , el campo magnético \mathbf{B} sobre el eje perpendicular al plano de las espiras y que pasa por su centro (eje z), en un punto ubicado a una distancia z del plano de la bobina, está dado por la siguiente expresión

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 n i a^2}{2(a^2 + z^2)^{3/2}} \mathbf{k} \quad , \quad (2)$$

siendo \mathbf{k} es un versor en la dirección del eje z .

A partir del principio de superposición, se puede calcular el campo magnético generado por un par de bobinas idénticas, separadas una distancia d , por las que circula una corriente i y que se encuentran ubicadas en las coordenadas $z = -d/2$ y $z = d/2$ (ver Figura 2).

Asumiendo que el sentido de circulación de la corriente i es opuesto en ambas espiras (configuración anti-Helmholtz), se obtiene la siguiente expresión para el campo magnético sobre el eje z

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 n i a^2}{2} \left\{ \frac{1}{\left[a^2 + \left(z - \frac{d}{2} \right)^2 \right]^{3/2}} - \frac{1}{\left[a^2 + \left(z + \frac{d}{2} \right)^2 \right]^{3/2}} \right\} \mathbf{k} \quad (3)$$

En la expresión anterior se ha considerado que el origen del sistema de coordenadas está en el punto medio entre ambas espiras (ver Figura 2) y que el sentido positivo de circulación de la corriente corresponde a un campo sobre el eje z que apunta en el sentido de \mathbf{k} . Por otro lado, se ha considerado una situación idealizada en la que el ancho y el espesor de cada bobinado son infinitamente delgados.

En esta configuración, existe una separación óptima d_o que maximiza la uniformidad del gradiente de campo magnético ($G_z = \partial B_z / \partial z \approx \text{cte}$) en la región central entre las bobinas.

a) Observe que en $z = 0$ se cumple que $\frac{\partial^m B_z}{\partial z^m} = 0$ si m es par.

b) Encuentre el valor de d_o que anula la derivada tercera de B_z en $z = 0$. En este caso, después del término lineal, el término siguiente dependiente de z en el desarrollo de Taylor de B_z en torno a $z = 0$, es el correspondiente al de quinto orden, por lo que G_z es aproximadamente uniforme en una región alrededor de $z = 0$.

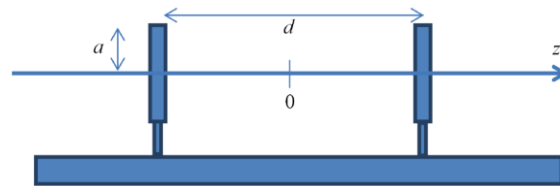


Figura 2: Sistema de coordenadas en una bobina de Helmholtz

Actividades:

Caracterice el campo magnético (dirección y magnitud) en la región donde colocará las bobinas de Helmholtz. Este campo magnético, al que llamaremos “residual”, es debido al campo magnético terrestre y, posiblemente, a otros campos magnéticos existentes en ese lugar (por ejemplo, campos originados por las bases metálicas de las mesas de laboratorio, las que podrían estar levemente magnetizadas, o por la fuente de corriente).

Utilizando un sensor de campo magnético (sonda Hall) mida el campo longitudinal (B_z), generado por cada una de las bobinas, a lo largo del eje que pasa por su centro. Ajuste un modelo funcional apropiado a los datos experimentales. A partir de los parámetros ajustados, determine parámetros característicos de cada una de las bobinas utilizadas (número de espiras, radio).

Conecte ambas bobinas en la configuración anti-Helmholtz. Mida el campo magnético longitudinal, a lo largo del eje que pasa por el centro de ambas, en la configuración óptima que permita conseguir el mayor rango de gradiente de campo uniforme. Ajuste un modelo funcional apropiado a los datos experimentales.

Analice la calidad de la uniformidad del gradiente de campo magnético logrado, a lo largo del eje que pasa por el centro de las bobinas.

PRECAUCIONES:

Configure la fuente de corriente de modo que la intensidad de corriente que circule por cada bobina no supere 1A.