Universidad Nacional Autónoma de Honduras
Facultad de Ciencias
Escuela de Física

FS-415 Electricidad y Magnetismo II

Guia #2: "Carga del Electrón y Mapeo de Campo B"

Adaptada por: Eros Daniel Rivera

1. Introducción

En el estudio de la electricidad y el magnetismo, nos encontramos con materiales que poseen un comportamiento beneficioso para estas áreas de conocimiento, a estos materiales los conocemos como **materiales conductores** y físicamente sabemos que la característica que los define como tales, es la existencia de electrones libres en su composición, dichos electrones suelen llamarlos también "portadores de carga" en diversas bibliografías, y son básicamente electrones que no están ligados a las capas atomicas y pueden moverse libremente por el material, lo que ocurre cuando existe una diferencia de potencial en los extremos del conductor, el movimiento de estos electrones al circular el conductor es el fenómeno que denominamos **corriente**.

Cuando se tiene un embobinado, por el cual fluye una corriente I, sin importar el tipo de configuración de dicho embobinado, se formará un campo de inducción magnética, cuyo comportamiento varía respecto a varios parámetros a considerar sobre el embobinado y la corriente circulando, a este proceso de identificar el comportamiento del campo de inducción magnético con su expresión matemática, es lo que llamamos mapeo de $\vec{\mathbf{B}}$.

El experimento consiste en medir este campo para un par de bobinas que se encuentran en configuración Helmholtz, de la cual, se conoce teóricamente como es el comportamiento de su campo, por lo que vamos a comprobar dicho comportamiento apoyandonos con una sonda de Hall axial que estara conectada a un dispositivo llamado teslámetro, el cual mide el campo de inducción magnética producido por las bobinas, veremos cómo varía $\vec{\mathbf{B}}$ a medida nos alejamos o acercamos a un punto de referencia en nuestros experimentos.

Siguiendo el análisis teórico del comportamiento de una bobina Helmholtz, podemos aprovechar la estabilidad de su campo y apoyarnos con un tubo de haz para que podamos generar un haz de fotones producto de una diferencia de potencial significativa, de forma que el comportamiento estable del campo en una bobina Helmholtz nos permite polarizar el haz producido por electrones cargados dentro de un tubo de haz y formar un arco a un valor deseado de radio, haciendo esto para diferentes configuraciones de voltaje y corriente, podemos trabajar con la relación teórica de la energía cinética de un electrón y la fuerza de Lorentz para conocer la relación de la carga y la masa de un electrón.

2. Objetivos

- Mapear el campo de inducción magnético producido en el interior de una bobina Helmholtz en función de la posición a lo largo de su eje axial para sus dos configuraciones.
- Calcular la relación entre la carga y la masa del electrón.
- Visualizar el fenómeno de polarización.

3. Marco Teórico

3.1. Relación de carga-masa de un electrón

Si un electrón de masa m_0 y carga e es acelerado por una diferencia de potencial ΔV, su energía cinética estará dado por:

$$e\Delta V = \frac{m_o v^2}{2} \tag{1}$$

En un campo de inducción $\vec{\mathbf{B}}$, la fuerza de Lorentz sobre el electrón con velocidad $\vec{\mathbf{v}}$ sera:

$$\vec{\mathbf{F}} = e\vec{\mathbf{v}} \times \vec{\mathbf{B}} \tag{2}$$

Como el campo de inducción en la bobina de Helmhotz es uniforme, el electrón sigue una trayectoria espiral alrededor la las lineas magnéticas, de manera que la trayectoria tendrá un radio r si $\vec{\mathbf{v}}$ es perpendicular a $\vec{\mathbf{B}}$, de manera que:

$$m_0 \frac{v^2}{r} = e\vec{\mathbf{v}} \times \vec{\mathbf{B}} \tag{3}$$

Uniendo la ecuación (1) y (3):

$$\frac{e}{m_0} = \frac{2\Delta V}{(Br)^2} \tag{4}$$

En una bobina de Helmholtz, en el centro de las bobinas, el campo $\vec{\mathbf{B}}$ tiene la siguiente forma:

$$\vec{\mathbf{B}} = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{\mu_0 * N * I}{R} \tag{5}$$

Finalmente obtenemos una ecuacion para la relacion en funcion de la corriente y voltaje:

$$\frac{e}{m_0} = \frac{250}{64} \frac{\Delta V R^2}{(\mu_0 N I r)^2} \tag{6}$$

En donde:

- R = Radio de las bobinas
- N = numero de vueltas de las bobinas
- r = Radio de la trayectoria del electron
- ΔV = Diferencia de Voltaje
- I = Corriente

3.2. Campo de Inducción Magnética

Un campo de inducción magnético es una descripción matemática de la influencia magnética de las corrientes eléctricas y de los materiales magnéticos. El campo de inducción en cualquier punto está especificado por dos valores, la dirección y la magnitud; de tal forma que es un campo vectorial. Específicamente, el campo de inducción es un vector axial, como lo son los momentos mecánicos y los campos rotacionales. El campo magnético es más comúnmente definido en términos de la fuerza de Lorentz ejercida en cargas eléctricas.

El término se usa para dos campos distintos pero estrechamente relacionados, simbolizados por $\vec{\mathbf{B}}$ y $\vec{\mathbf{H}}$ respectivamente, donde, en el Sistema Internacional de Unidades, $\vec{\mathbf{H}}$ se mide en unidades de amperios por metro y $\vec{\mathbf{B}}$ se mide en teslas o newtons por metro por amperio. En un vacío, $\vec{\mathbf{H}}$ y $\vec{\mathbf{B}}$ son lo mismo aparte de las unidades; pero en un material con magnetización (denotado por el símbolo $\vec{\mathbf{M}}$), $\vec{\mathbf{B}}$ es solenoidal (no tiene divergencia en su dependencia espacial) mientras que $\vec{\mathbf{H}}$ es no rotacional (libre de ondulaciones).

$$B = \mu \frac{N}{L} I \tag{7}$$

$$B = \frac{\mu N I}{2L}\left(\frac{L-z}{\sqrt{a^2+(L-z)^2}} + \frac{z}{\sqrt{a^2+z^2}}\right) \tag{8}$$

$$B = \frac{\mu N I}{2a} \tag{9}$$

$$B = \frac{\mu N I}{2a}\left(\frac{1}{\left[\left(\frac{z}{a}+\frac{d}{a}\right)^2+1\right]^{3/2}} + \frac{1}{\left[\left(\frac{z}{a}-\frac{d}{a}\right)^2+1\right]^{3/2}}\right) \tag{10}$$

$$B = \frac{\mu N I}{2a}\left(\frac{1}{\left[\left(\frac{z}{a}+\frac{d}{a}\right)^2+1\right]^{3/2}} - \frac{1}{\left[\left(\frac{z}{a}-\frac{d}{a}\right)^2+1\right]^{3/2}}\right) \tag{11}$$

Donde para (10) y (11) :

- μ = Permeabilidad magnética.
- z = Posición axial.
- d = Distancia de separación entre las bobinas
- a = Radio de la bobina.

3.3. Permeabilidad Magnética

En física se le denomina permeabilidad magnética a la capacidad que tienen los materiales, medios o sustancias de afectar y ser afectados por los campos magnéticos, así como la capacidad de convertirse en fuentes de éstos, es decir, capacidad para crearlos sin la necesidad de corrientes externas.

Esta magnitud está definida por la relación entre la inducción magnética (también llamada densidad de flujo magnético) y la intensidad de campo magnético que estén incidiendo en el interior del material, y es representada por el símbolo μ:

$$\mu = \frac{B}{H} \tag{12}$$

4. Materiales y Equipo

4.1. Mapeo del Campo

- ➢ 1 Set de Bobinas Helmholtz de 154 vueltas Phywe
- ➢ 1 Teslametro con su Sonda de Hall Axial
- ➢ 1 Fuentes de Voltage de Triple Salida PASCO - Extech (SE-8587)
- ➢ 1 Bolsas de Cables Conexión Tipo Banana paquete de 5 cables (SE-9751)
- ➢ 1 Base Redonda con Varilla PASCO no magnética (ME-8270)
- ➢ 1 Pinza de Triple Dedo PASCO (SE-9445)
- ➢ 1 Cinta Métrica

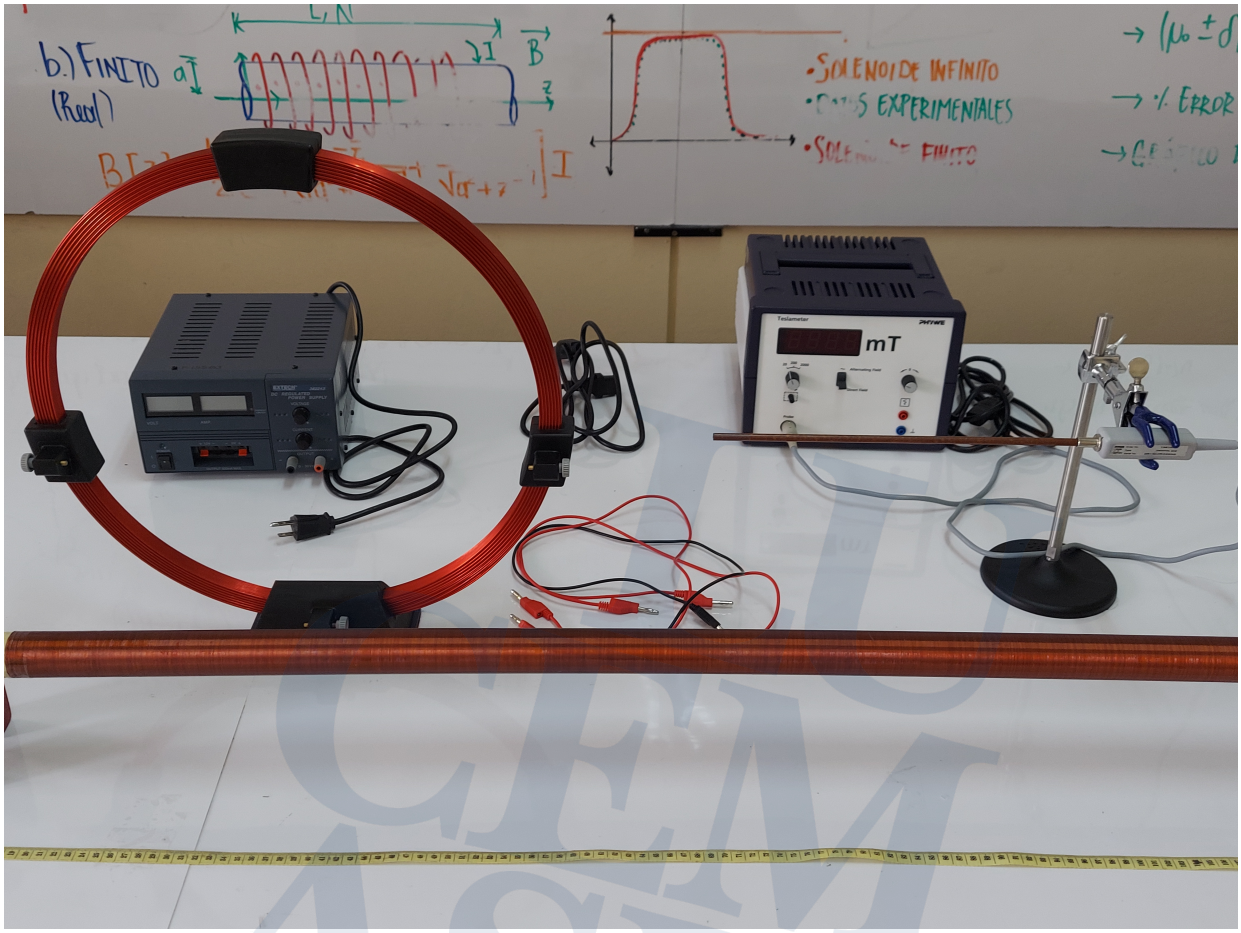

Figura 1: Materiales y Equipo

4.2. Relación carga-masa

- 1 Set de Bobinas Helmholtz de 154 vueltas Phywe
- 1 Tubo Phywe de rayo de electrones (0959-00)
- 1 Fuente de poder regulada 0-12v DC (06959-01)
- 1 Fuente de poder universal 0-18v DC (13504-93)
- 2 Multímetro Digitales Peaktech 3335 o 3340
- Cable de conexión protegido 32A 25cm, Rojo
- 1 Cable de conexión protegido 32A 25cm, Azul
- 3 Cable de conexión 32A 100cm, Rojo
- 3 Cable de conexión 32A 100cm, Azul
- 1 Cable de conexión protegido 32A 100cm, Rojo
- 1 Cable de conexión protegido 32A 100cm, Azul
- 3 Cable de conexión protegido 32A 100cm, Amarillo

5. Procedimiento Experimental

5.1. Mapeo de Configuraciones

5.1.1. Montaje Helmholtz-AntiHelmholtz

- Tomar el set de 2 bobinas Phywe de 154 vueltas y fijarlas utilizando las 3 piezas de unión que vienen con el set (una para la base, 2 para los extremos horizontales de las bobinas).
- Conectar una banana roja de la terminal positiva de la fuente de voltaje de triple salida a la terminal primaria de una de las bobinas de la configuración.
- Utilizar otra banana para conectar en serie la salida de la bobina primaria, con la secundaria.
- Con una banana negra conectar la terminal restante de la configuración a la entrada negativa de la fuente de voltaje.

5.1.2. Toma de Datos Helmholtz-AntiHelmholtz

1. Conectar la fuente de voltaje al toma-corriente y mantener la fuente apagada.
2. Conectar el teslámetro al toma-corriente, y conectar la sonda Axial al teslámetro, mantener la escala en la medición mas baja y encender el teslámetro.
3. Utilizando una base redonda con varilla, colocar en ella una pinza de triple dedo y utilizar la pinza para sostener la sonda axial del extremo del cual sale su conexión al teslámetro.
4. Centrar la sonda axial de manera que el punto blanco en el extremo de su varilla apunte al centro de la bobina que esta mas cerca del borde de la base EM6715, ubicar la base de manera que el origen de las mediciones comience 10cm alejadas del centro de la bobina Helmholtz (considerando este centro como el centro entre las dos bobinas).
5. Calibrar el teslámetro con ayuda de la perilla grande que tiene un 0 centrado y con la perilla pequeña que esta dentro de un recuadro. La perilla pequeña hace cambios grandes para calibrar, y la perilla grande hace cambios pequeños en la calibración. Aproximar la medición que lee el teslámetro a 0.00mT
6. Encender la fuente de voltaje, y utilizando las perillas de voltaje y corriente, limitar el valor de la corriente a que no exceda 1.5 A y trabajar con el voltaje resultante manteniéndolo constante durante toda la medición.
7. Anotar el dato de campo B leído por el teslámetro en la tabla 1 y tomar las mediciones avanzando en pasos de 1cm hasta completar la tabla.
8. Una vez tomados los datos, con la perilla de voltaje de la fuente, reducir el voltaje a 0 V, y revisar que el teslámetro sigue calibrado, de no ser asi, calibrarlo.
9. Con la fuente a 0 V, intercambiar las bananas de una de las bobinas de la configuración Helmholtz para asi tener como resultado una bobina en configuración Anti-Helmholtz.
10. Con la perilla de voltaje, elevar el voltaje entregado por la fuente hasta alcanzar el limite de corriente de 1.5 A.
11. Nuevamente, alejar la base a 10cm del centro de la configuración y colocar el dato de campo B medido en la tabla 2 y luego tomar los datos para llenar la tabla avanzando a pasos de 1cm.

5.2. Cálculo de la Relación Carga-Masa

5.2.1. Montaje

1. Unir las bobinas de Helmholtz con ayuda de las 3 piezas de unión incorporadas en el equipo.
2. Colocar el tubo de haz entre las bobinas, fijándolo con las abrazaderas que unen las dos bobinas.
3. Conectar el circuito de la bobina con cables de punta descubierta a la fuente universal de la siguiente forma:

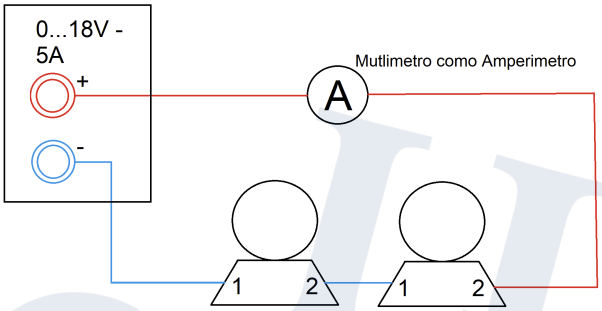

Figura 2: Circuito de bobina

4. Conectar el circuito del tubo con cables protegidos a la fuente regulada de la siguiente forma:

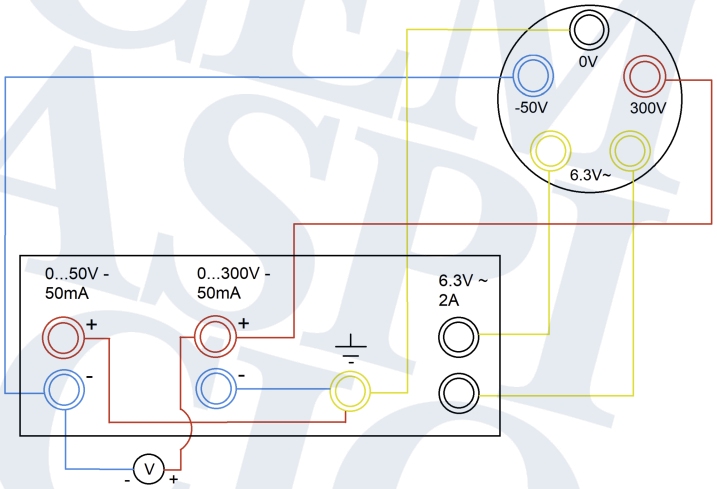

Figura 3: Circuito de Tubo

Los cables azul y rojo cortos se utilizan para unir a tierra y los cables azul y rojo desprotegidos para conectar el multímetro

5. Asegurarse que todas las perillas en las fuentes estén al mínimo y conectar las fuentes a sus respectivos transformadores.
6. Conectar los transformadores al UPS y encenderlos.
7. Encender los multímetros en función **amperímetro** utilizando el fusible de **10A** para medir la corriente circulando en las bobinas Helmholtz, y voltímetro con la perilla en la escala de 600V.
8. Encender ambas fuentes

9. Colocar la perilla de corriente de la fuente universal ligeramente por debajo de 3A, esta perilla funciona como limitador de corriente.
10. Esperar 2-3 minutos para que el tubo de caliente a temperatura nominal
11. Utilizando **ambas** perillas de voltaje de la fuente regulada (5..50V y 0..300v), encender el haz de electrones hasta el valor de voltaje sugerido en su tabla 3.
12. En la fuente universal donde **ya debe encontrarse la corriente limitada**, se procederá a usar **únicamente** la perilla de voltaje, se asignara un voltaje lentamente, y procederán a notar que mientras el voltaje va aumentando, el haz se va curvando.
13. Se entregara un voltaje hasta que el haz forme un circulo y luego este incida en uno de los valores de radio fijos que se encuentran dentro del tubo de haz (usaran el valor de radio sugerido por su instructor).
14. Una vez incida el haz en el valor de radio elegido, anotar en la tabla 3 el valor de corriente que permite que ese arco de haz incida.
15. Devolver lentamente el voltaje de la fuente universal a 0 y luego proceder con la fuente regulada a entregar el siguiente valor de voltaje de la tabla 3.
16. Repetir los pasos del 12 al 15 hasta que llene la tabla 3.

6. Tablas de Datos

z(cm)	B(mT)
-10	
-9	
-8	
-7	
-6	
-5	
-3	
-2	
-1	
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

Tabla 1: Mediciones Bobina Helmholtz

z(cm)	B(mT)
-10	
-9	
-8	
-7	
-6	
-5	
-4	
-3	
-2	
-1	
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

Tabla 2: Mediciones Bobina Anti-Helmholtz

LUCEM ASPICIO

Voltaje (V)	Corriente (A)
260	
240	
220	
200	
180	
160	
140	

Tabla 3: Tabla de Datos Carga-Masa

7. Procesamiento de Datos Experimentales

7.1. Mapeo de Configuraciones

1. Introducir a Mathematica los datos para cada configuración y guardarlos en sus variables respectivas.
2. Introducir las variables correspondientes a los valores constantes de la configuración (Numero de Vueltas, Corriente, Radio de las Bobinas, Distancia de Separación, Permeabilidad).
3. Graficar sus datos experimentales.
4. Graficar la función teórica para cada configuración.
5. Juntar las graficas experimentales con su correspondiente grafica teórica en un mismo plano.

7.2. Cálculo de la Relación Carga-Masa

1. Introducir los datos recopilados en una variable.
2. Realizar un gráfico de sus datos.
3. Realizara el ajuste **apropiado** para estos datos tomando en cuenta que se comportan según la ecuación (6).
4. Juntar el grafico del ajuste con el de sus datos para observar que tan bien fue el comportamiento de sus datos.
5. Del ajuste obtendrá el valor para la relación carga-masa, y de ese resultado puede obtener la carga del electrón y tras propagar el error, presentar sus resultados y realizar un gráfico de discrepancia entre el valor teórico del NIST y su resultado.

8. Cuestionario

1. ¿Por qué utilizamos una fuente DC para mapear nuestras configuraciones en lugar de una AC? ¿Qué cambio haría en nuestro experimento de mapeo el que nuestro voltaje tuviera un comportamiento alterno?
2. ¿Que pasaría si la separación en la bobina helmholtz es el doble de su radio? ¿Ocurriria lo mismo con la anti-helmholtz?
3. ¿Que pasaria con el comportamiento del campo B si conectamos una tercera bobina compacta en serie con la bobina helmholtz a una distancia igual a la mitad del diámetro de la bobina?
4. ¿Que pasaría con el campo B medido si el hilo conductor de la bobina Helmholtz fuese enrollado sobre un cilindro sólido de hierro?
5. Tras observar el fenómeno de Polarización, ¿Cómo resultaría un ParametricPlot3D de la trayectoria del haz si hacemos una rotación del eje?

9. Análisis de Resultados

Hacer un análisis completo (resultados obtenidos, precisión, etc) en forma de párrafos.

10. Conclusiones

Mínimo una conclusión por objetivo

11. Bibliografia

Citar en formato APA de donde proviene su marco teórico para que este tenga validez, Marco Teórico sin bibliografía no sera válido

LUCEM ASPICIO