

Informe Relación Carga-Masa

Javier Alejandro Acevedo Barroso,* Boris Nicolás Saenz Rodríguez,** and David Leonardo Paipa León***
Departamento de Física, Universidad de los Andes

(Dated: 22 de septiembre de 2017)

Usando ecuaciones básicas de electromagnetismo se deduce el campo magnético en la región uniforme de un arreglo de bobinas de Helmholtz. Utilizando ahora rayos catódicos, se aceleran electrones a una velocidad fija mediante un campo eléctrico, la velocidad final de los electrones depende de la diferencia de potencial. Y se hace incidir los rayos en escalones de metal a una distancia fija, con el fin de obtener datos de la corriente y el voltaje para un radio específico del movimiento circular producto del campo magnético. Utilizando las mediciones, se hace una regresión y se obtiene la relación carga-masa del electrón.

El campo magnético generado por el arreglo sí logra ser bastante uniforme en la región del tubo, además, se observó que la intensidad del campo depende linealmente con la corriente, como se esperaba de acuerdo al modelo teórico.

Tras medir la relación carga-masa, se obtuvo $\frac{e}{m_e} = 1,511 \times 10^{11}$ C/kg. Valor con una diferencia del 14.05 % al reportado por CODATA.

I. INTRODUCCIÓN:

Cuando electrones son sujetos a un potencial, se aceleran debido a la fuerza generada por el campo eléctrico:

$$m\vec{a} = \vec{F} = q\vec{E} \quad (1)$$

Eventualmente, la velocidad final de un electrón acelerado por determinado potencial es:

$$v_f = \sqrt{2V \left(\frac{q}{m} \right)} \quad (2)$$

La fuerza de Lorentz [1] un efecto que influencia a las partículas cargadas que se mueven con cierta velocidad perpendicular a un campo magnético, esta fuerza viene de la forma:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} = m\vec{a} = m \frac{v^2}{R} \quad (3)$$

Usando todo lo anterior, y usando la velocidad final resultante de la aceleración como velocidad de interacción con el campo magnético, se obtiene una expresión para la proporción carga-masa:

$$\frac{q}{m} = \frac{2V}{(BR)^2} \quad (4)$$

Siendo B la magnitud del campo magnético perpendicular, V el potencial de aceleración y R el radio de curvatura debido a la fuerza de Lorentz.

En las bobinas de Helmholtz, el campo en el medio es muy estable, incluso ante pequeñas variaciones de posición. Esto se debe a la naturaleza de los campos generados por espiras, que tienden a ser rectos en el centro

de la bobina. Ya que son bobinas con el centro sobre el mismo eje, el campo pasa por el medio de ambas en una dirección y por el exterior va en la otra dirección.

Usando la Ley de Biot-Savart para obtener el campo magnético de las espiras y la simetría de las bobinas se tiene que el campo magnético en el punto P medio del montaje (a la altura del centro de las bobinas y en medio de la distancia entre ambas) es:

$$B = 0,75\mu_0 \frac{nI}{R} \quad (5)$$

Siendo μ_0 la permeabilidad magnética en el vacío R el radio de las bobinas, I la corriente que genera el campo en las bobinas y n el número de espiras en cada bobina

II. OBJETIVOS

Para este experimento uno de nuestros objetivos fue observar y describir la fuerza a la que se somete una partícula cargada en movimiento cuando está en presencia de un campo magnético. No obstante, la meta principal es encontrar la proporción carga-masa basados en los datos obtenidos por la intensidad del campo y la curvatura de los electrones cuando se someten a este.

III. MONTAJE EXPERIMENTAL

A. Actividad 1: Medición de campo magnético sobre las bobinas

Se ubican dos bobinas de Helmholtz con una distancia entre ellas de 18cm como se muestra en la figura 1 y se conectan a una fuente de poder para así armar el circuito que corresponde a la figura 2.

Utilizando un Teslámetro se hacen mediciones del campo magnético para detectar la intensidad de campos mag-

* ja.acevedo12@uniandes.edu.co

** bn.saenz10@uniandes.edu.co

*** dl.paipa10@uniandes.edu.co



Figura 1. Bobinas de Helmholtz [2]

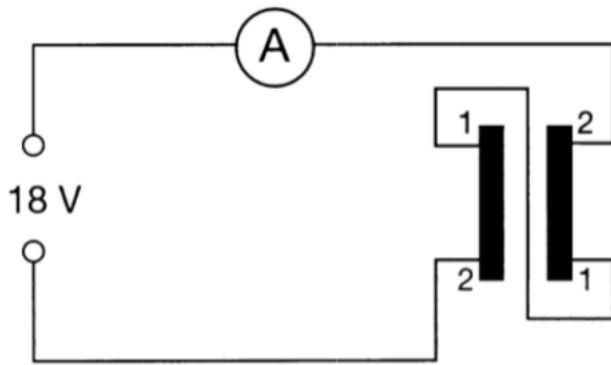


Figura 2. circuito de bobinas de Helmholtz [3]

néticos externos que puedan interferir con el experimento. Después se enciende la fuente y se toman datos de el campo magnético en el centro de la configuración y por último se toman datos del campo magnético en los siguientes ángulos: 0, 90, 180, 270, esto para verificar que el campo magnético tiene simetría azimutal.

B. Actividad 2: Relación carga-masa

Para determinar la relación entre carga masa del electrón se coloca el tubo de rayos catódicos como se muestra en la figura 3.

Para este montaje se sigue el circuito mostrado en la figura 4, el cual, una vez ya implementado el montaje quedara como en la figura 5. Para asegurarse que el voltaje que aparece en la fuente es efectivamente el que esta acelerando los electrones se conecta un multímetro en paralelo. Se requiere que la habitación en la que se esta trabajando sea oscura y que ningun otro montaje que consista de campos magneticos este encendido, sin prender las bobinas de Helmholtz se ajusta el voltaje hasta aproximadamente 60V, en el cual el haz comienza a ser visible. Una vez el haz sea visible se encienden las bobinas y se observara que el haz se curvara. Puesto que se espera medir la relación carga masa se toman datos para diferentes radios (barras de metal) a 2cm, 3cm, 4cm



Figura 3. Bobinas de Helmholtz con tubo catodico [4]

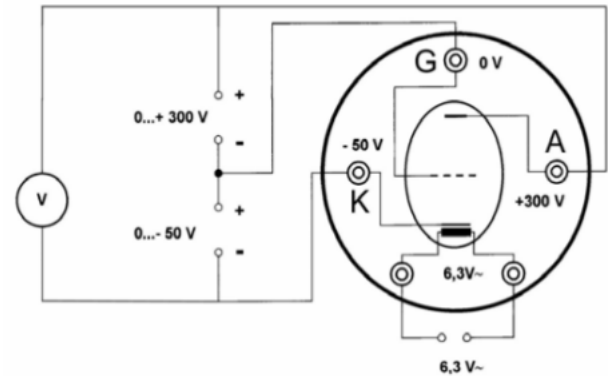


Figura 4. Circuito a seguir para bobinas de Helmholtz con tubo catodico [4]

y 5cm de la fuente en los que el haz incidirá. Para cada uno se variara el voltaje desde 100V hasta 250V de 25V en 25V y se anotara su respectivo valor de corriente, siempre pendiente de que la corriente no pase los 5A

IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A. Campo Magnético

Con ayuda del Teslámetro se midió el campo magnético en la región entre las bobinas. En el centro del arreglo se observó que al aumentar la corriente, el campo magnético aumenta linealmente.

El campo magnético en la región donde estarán los electrones el campo magnético es casi perfectamente uniforme, con solo pequeñas variaciones del orden de 0.1 mT. Realizando una regresión lineal de los datos se obtuvo:

$$B = (0,85mT)I - (0,18mT) \quad (6)$$

Con $R^2 = 0,962$



Figura 5. Montaje a utilizar para medir relación carga-masa [4]

Campo Magnético [mT]	Corriente [A]
0.60	1.00
1.10	1.50
1.60	2.00
1.90	2.50
2.40	3.00
2.90	3.50
3.10	4.00

Utilizando el modelo previamente descrito para el campo magnético en función de la corriente en el centro del arreglo, se obtuvo la siguiente gráfica 6: Se observa que

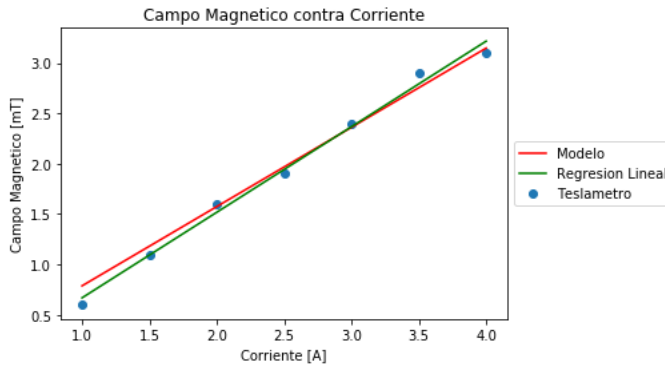


Figura 6. Gráfica del campo magnético contra corriente junto a la regresión lineal y al ajuste del modelo

la regresión lineal es más precisa a la hora de predecir los datos para corrientes bajas, sin embargo, a través de la gráfica se observa que el modelo es un buen ajuste para los datos del teslámetro.

B. Relación carga-masa

Conociendo ya el campo magnético, se procede a calcular la relación carga masa para cada radio, voltaje entre cátodo y ánodo y corriente entre las bobinas (a través

del campo magnético). Se calcula el promedio para cada radio junto con su desviación estándar IV B:[5]

Radio (cm)	e/m Promedio ($\frac{C}{kg}$) 10^{11}
2	$1,6585 \pm 0,1342$
3	$2,1305 \pm 0,3809$
4	$2,0325 \pm 0,1548$
5	$1,9694 \pm 0,0779$

Partiendo de la ecuación:

$$\frac{e}{m} = \frac{2V}{(Br)^2} \quad (7)$$

Se realizó una regresión lineal para cada radio:

$$V = \frac{e}{m} \frac{r^2}{2} B^2 \quad (8)$$

Para radio de 2cm:

$$V = (32242157V/T^2)B^2 + 4V \quad (9)$$

Con $R = 0,962$

Para radio de 3cm:

$$V = (64471249V/T^2)B^2 + 50V \quad (10)$$

Con $R = 0,9771$

Para radio de 4cm:

$$V = (106554233V/T^2)B^2 + 66V \quad (11)$$

Con $R = 0,982$

Para radio de 5cm:

$$V = (208557822V/T^2)B^2 + 31V \quad (12)$$

Con $R = 0,999$ Notando que en todas las regresiones la pendiente es mucho mayor que el corte con el eje, se calcula la relación carga masa para cada radio con la pendiente de la regresión correspondiente. Además de que todas tienen un R bastante cercano a 1.

Radio (cm)	e/m ($\frac{C}{kg}$) 10^{11}
2	1,612
3	1,432
4	1,332
5	1,668
Promedio	1.511

Si bien, se observa que a medida que aumenta el radio, el valor medido para el coeficiente carga-masa se va haciendo más pequeño. Cuando se llega a radio de 5cm, el valor vuelve a acercarse al valor para radio de 2cm. Esto puede deberse al dato que se eliminó con radio de 5cm. Se observa que todos los valores son menores al valor reportado por CODATA que es $1,7588 \times 10^{11}$. La diferencia con el promedio es de 14.05 %.

Para radios mayores se espera menor precisión pues se requiere un campo magnético más fuerte para poder desviar el haz lo suficientemente rápido, o de más alto voltaje

para que los electrones puedan llegar a ese radio.

Para radios mayores, la intensidad del haz cuando golpea el escalón es menor, en algunas ocasiones incluso, el haz queda atrapado en el escalón para un rango de valores de campo magnético y voltaje. Este fenómeno lleva a datos con muy alta incertidumbre en contraposición con los radios menores.

A voltajes bajos la incertidumbre aumenta pues es más difícil encontrar el punto en el que el haz toca el escalón, pues la intensidad del haz es muy baja.

Notando que la diferencia entre el valor para la relación carga-masa medido y el teórico es relativamente baja (menor al 15%), se puede decir que se midió exitosamente la relación carga masa.

Utilizando el teslámetro, se midió el campo magnético en la región del tubo SIN corriente en las bobinas, con el fin de ver la participación del campo magnético de la tierra. Sin embargo, el campo magnético terrestre es tan bajo que no se pudo medir en mT. Se descarta que el campo magnético terrestre tuviera mucha influencia en la diferencia entre resultados.

La no perpendicularidad entre \vec{v} y el campo magnético sí es un problema para el cálculo de la relación carga-masa. Afortunadamente, se puede modificar el montaje hasta que el haz de electrones no sigue una trayectoria helicoidal, sino circular, de modo que \vec{v} y el campo magnético sean perpendiculares.

La no uniformidad del campo magnético generado por las bobinas también afectaría la medición, sin embargo, la variación en la región del tubo es bastante baja y por lo tanto, despreciable.

V. CONCLUSIONES

Campo magnético Se logró obtener un campo magnético bastante uniforme para la región donde estará el tubo. Se observó una dependencia lineal entre la corriente y la intensidad del campo. También se observó un buen ajuste al modelo propuesto en la introducción para el campo magnético en función de la corriente en las bo-

binas. Esto representa un avance considerable retomando los objetivos iniciales.

Relación carga-masa Se midió con éxito la relación carga masa del electrón. El valor obtenido difiere en un 14.05% del valor de CODATA. Esto es un error relativo pequeño y cumple con el objetivo principal del experimento, no obstante se cree que en situaciones más controladas se puede obtener un valor mucho más cercano al registro de CODATA.

Deflexión circular. Se observó que los electrones si tienden a obedecer una trayectoria circular cuando están expuestos a un campo magnético. esto es indicio de que el producto Cruz de la fuerza de Lorentz se cumple y además que esta fuerza está descrita por las unidades dadas.

Carga y descarte. La deflexión que presentaban los electrones al someterse a campo magnético es propia de partículas cargadas. No obstante, habían ocasiones en las que incluso ante el cambio de corriente el haz permanecía en un radio dado. Esto lo explicamos como cierta interacción eléctrica entre el filamento de los radios y el haz, pues parecía atraer los haces de radio corto, es decir, con poca velocidad final.

Simetría polar. Midiendo el campo en diferentes punto de la bobina comprobamos que existe simetría polar del campo respecto el eje que pasa por el centro de las dos bobinas. Además, midiendo el campo afuera del cilindro formado por las dos bobinas comprobamos que el campo magnético va en el otro sentido.

Ambiente. Existe cierto error a la hora de medir el campo magnético, que es causado por diversas fuentes: aparatos eléctricos cercanos, magnetización de algunas herramientas e incluso incertidumbre del mismo Teslámetro. consideramos que este error es pequeño, pero no despreciable.

-
- [1] D. J. Griffiths, "Introduction to electrodynamics," (Prentice-Hall, New Jersey, 1999) Chap. 6,7, 3rd ed.
 - [2] PHYWE, "Helmholtz coils, one pair," (2017).
 - [3] T. Expert, "Magnetic field of paired coils in helmholtz arrangement," (2003).

- [4] PHYWE, "Narrow-beam tube pair of helmholtz coils," .
- [5] Se eliminó el dato de $V = 125V$ con radio de 5cm pues el haz de electrones tocaba el escalón con una corriente, pero al aumentar la corriente seguía tocando el escalón, dando un rango de valores para la corriente con $V=125V$ y $r = 5cm$.