Relación Carga-Masa

Diana Carolina Lozano Molina and Sergio Steven Gutierrez
Universidad de los Andes
(Dated: 23 Marzo 2017)

En este laboratorio se determinó de manera experimental el valor de $e/m = 1.88 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$. Los resultados obtenidos fueron consistentes con lo esperado teóricamente, teniendo en cuenta que la incertidumbre total fue subestimada.

Palabras clave: Campo magnético, bobinas de Helmholtz, relación de carga-masa, fuerza de Lorentz, rayos catódicos.

I. INTRODUCCIÓN

En el experimento se aceleraron electrones por medio de una diferencia de potencial eléctrico (V) controlado. Por lo tanto la velocidad (v) de los electrones será la siguiente [1]:

$$v = \sqrt{\frac{2qV}{m}} \tag{1}$$

dónde q es la carga del electrón y m su masa. Este haz de electrones pasó por un campo magnético (B), el cual ejerció una fuerza modelada por la siguiente ecuación:

$$|F| = \left|q\bar{v} \times \bar{B}\right| = q\,|v|\,|B| \tag{2}$$

Porque la velocidad del electrón es perpendicular al vector del campo magnético. Esta fuerza correspondió a la fuerza centrípeta que hizo mover a los electrones en un movimiento circular. Entonces, la relación carga-masa del electrón tiene la siguiente forma:

$$\frac{q}{m} = \frac{2V}{(Br)^2} \tag{3}$$

Para el cálculo del campo magnético se utilizó la siguiente ecuación [2]:

$$B = \frac{\mu_0 I n R^2}{2}[R^2 + (z - \frac{a}{2})^2)^{-3/2} + (R^2(z + \frac{a}{2})^2)^{-3/2})]$$

la cual, teniendo en cuenta que en el montaje experimental a = R y $z = 0$, toma la siguiente forma:

$$B = (4/5)^{3/2}\mu_0 n \frac{I}{R} \tag{4}$$

donde n es el número de vueltas del cable del inductor, para este caso son 154 [1], I la corriente eléctrica y μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío y R es 20 cm.

II. MONTAJE EXPERIMENTAL

El montaje experimental de este laboratorio tiene como pieza fundamental un tubo de haz de electrones. Este artefacto tiene en su interior una escala de medición (2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm) fabricada con un material capaz de emitir electrones al ser calentado por una corriente eléctrica fija.

Los electrones termo-emitidos son encausados en un haz por medio de un campo eléctrico controlado por una fuente voltáica. Este haz de electrones es visible gracias a la ionización del gas que esta dentro del tubo, y es sometido a un movimiento circular gracias a la acción del campo magnético generado por los bobinas de Helmholtz. El dibujo que ilustra el montaje experimental es el siguiente:

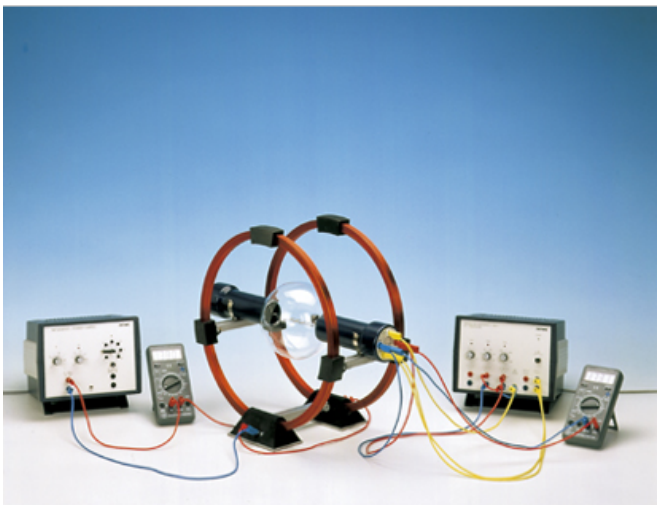


FIG. 1. Imagen del montaje experimental

Para acoplar el montaje experimental se tuvieron en cuenta los diagrama de los circuitos eléctricos que enseñan como conectar correctamente todos los elementos del montaje. Los diagramas utilizados son las figuras 2 y 4.

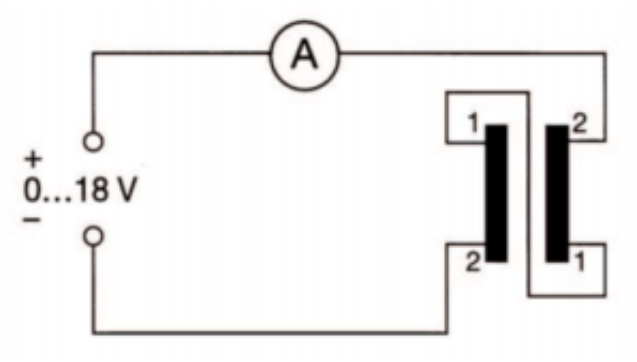


FIG. 2. Circuito eléctrico para las bobinas de Helmholtz

El objetivo del experimento es encontrar el voltaje y la corriente eléctrica adecuados para darle al movimiento circular del haz de electrones un radio determinado. Durante la toma de datos se escogió dejar un radio fijo y encontrar varios valores de voltaje y corriente eléctrica. Así fue posible construir una gráfica lineal que permitiera calcular el valor de la razón carga-masa a partir de la relación entre el voltaje V y el campo magnético $\bar{B}$.

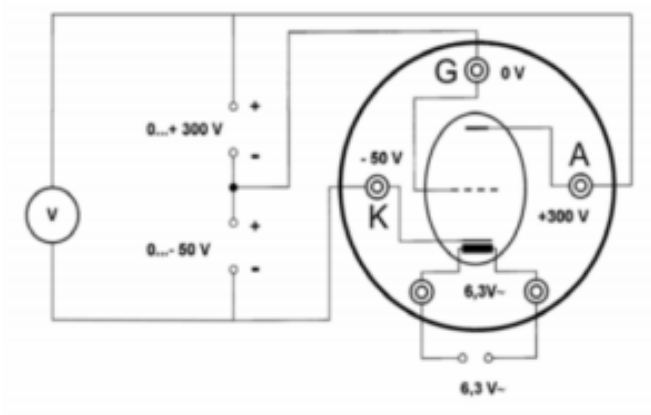


FIG. 3. Circuito eléctrico para el tubo de haz de electrones

La propagación de error de la razón carga-masa ($\delta(q/m) = 0,03 \cdot 1011Ckg$) se calculó con base en las incertidumbres experimentales del voltaje ($\delta(V) = 1V$) y el campo magnético ($\delta(B) = 6,93\mu T$), el cual fue calculado a partir de la incertidumbre de la corriente eléctrica $\delta(I) = 0,01A$ La medición del radio no tuvo incertidumbre experimental porque la medición consistía en observar en que punto de la escala coincida el haz de electrones y luego obtener el valor del radio de la guía del montaje experimental. Se debe tener en cuenta que la guía experimental señala cual es valor que arrojaría normalmente el experimento. Por lo tanto, el valor teórico que se utilizo para comparar los resultados es $e/m = (1,758) \cdot 1011 \frac{C}{kg}$.

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este laboratorio, se determinó el valor de e/m con dos métodos diferentes:

- 1. Se promediaron los valores individuales de e/m para cada punto en la gráfica con la ecuación 3.
- 2. Se determinó el valor de la pendiente de la gráfica del Voltaje con respecto al cuadrado del campo magnético.

Lo anterior para radios diferentes: 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm. Dónde la incertidumbre final es el promedio de las incertidumbres individuales de e/m para cada punto en la gráfica. Esto sucede porque la relación encontrada entre B2 y V resultó ser lineal para cada uno de los grupos de datos estudiados.

Primero se realizaron medidas para ver cómo se comporta el campo magnético en el centro del arreglo a medida que la corriente aumenta y así determinar que tan uniforme es el campo en el centro del arreglo.

TABLE I. Campo magnético en el centro al varia la corriente

I (A)	**B (mT) ± 0.01 mT**
2.57	2.6
0.38	0.07
1.02	1.3
1.51	1.6
2.22	2.3
2.61	2.6
3.02	3.0
3.39	3.4

Ahora vamos a encontrar cuales valores de voltaje y corrientes hacen que mi haz incidad sobre una de las marcar que tiene el tubo.

A. Resultados para 2 cm

Al tomar lo datos parar un radio 2cm sabemos que este va a ser el valor teorico mas aporixmado por la guía.

TABLE II. My caption

Voltaje (V)± 1V	**B(mT)± 0.01 mT**
190	1.52
169	1.41
172	1.44
158	1.36
141	1.27
145	1.29
167	1.40

Con los datos de la tabla II, se gráfico la relación del voltaje contra el cuadrado del campo, se gráfica aparte de las además por el dicho anteriormente.

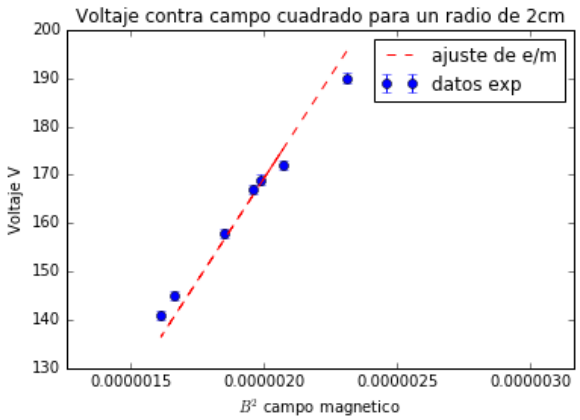


FIG. 4. Grafica para dos centímetros del voltaje contra el cuadrado del campo

El ajuste no cubre por completo todos los datos pero de la tabla IV vemos que tenemos el valor mas cercano al valor conocido experimental mente y tenemos un error del %0.7 el cual es muy cercano.

B. Resultados para 3 - 5 cm

Para valores de radio mas grandes comenzamos a ver que los datos dejan de tener una tendencia lineal tan bien definida y estos se muestra en la figura 5 lo cual se esperaba por la perdida de presicion en la infromacion calculada del campo.

TABLE III. Datos de 3(izquierda) y 4(derecha) cm

I(A)	Voltaje (V) ± 1V
0.98	64
1.02	67
1.66	96
0.86	65
2.29	120
1.86	102

I(A)	Voltaje (V)± 1V
2.29	237
1.72	154
0.89	110
1.65	140
0.98	107

De los datos y gráficamente 5 que la tendencia en estas dos lineas de ajuste todavía es buena pero el error experimental incremente a en promedio el error es %12 lo cual ya es una medición muy poco confiable y para 5 cm ya perdemos toda consistencia lo cual es muy se ve claro en la grafica 5, donde los datos para 5cm no se encuentran muy lejos de su ajuste.

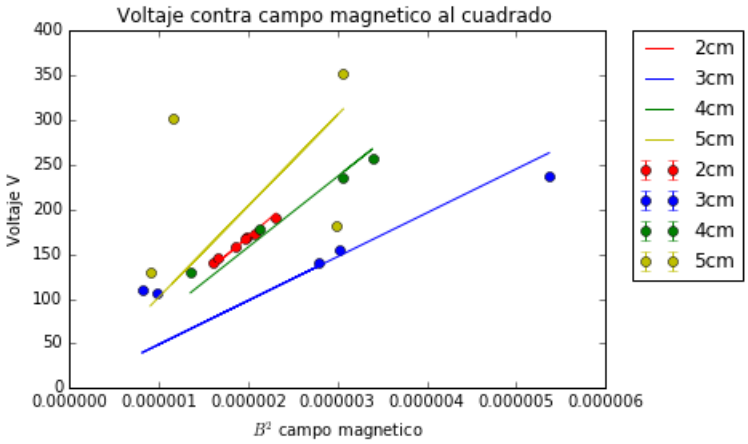


FIG. 5. Grafica para 3,4,5 centímetros del voltaje contra el cuadrado del campo

Los datos para los diferentes métodos explicados al inicio se ven reflejados en la tabla IV

TABLE IV. My caption

Radio (cm)	*Pendiente (C/kg)*	*Promedio*	*Desviacion*
2	$1.88 \cdot 10^{11}$	$1.89 \cdot 10^{11}$	$3.98 \cdot 10^{9}$
3	$1.4 \cdot 10^{11}$	$2.11 \cdot 10^{11}$	$1.2 \cdot 10^{6}$
4	$1.09 \cdot 10^{11}$	$1.43 \cdot 10^{11}$	$1.42 \cdot 10^{11}$
5	$9.86 \cdot 10^{10}$	$1.06 \cdot 10^{11}$	$1.03 \cdot 10^{11}$

IV. CONCLUSIONES

Del experimento pudimos comprobar con un error del %0.7 el valor de la razón entre carga y masa el cual fue $1.88{\cdot}10^{11}\,\frac{C}{kg}$, además miramos como es el comportamiento del campo dependiente de la corriente y la permeabilidad del medió también comprobamos los siguientes ítem.

- Se comprobó la relación lineal entre B^2 y V.
- La dirección de la corriente entre las espiras desvía el haz hacia un lado o el otro.
- El cambio de la corriente, cambia el radio entre mayor sea la corriente, menor es el radio y viceversa.

V. BIBLIOGRAFÍA

[1] Specific charge of the electron. Phywe guide. Found in: https://www.nikhef.nl/ h73/kn1c/ praktikum/phywe/LEP/Experim/5102.pdf

[2] Griffiths D.J. Introduction to electrodynamics (3ed, PH, 1999).