

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El trabajo práctico tiene por objetivo determinar experimentalmente la relación carga masa del electrón utilizando un tubo de rayos filiformes y bobinas de Helmholtz. Se realizarán gráficas correspondientes a proyecciones de rayos de 5 cm, 4 cm y 3 cm de radio, así como conclusiones respecto del procedimiento realizado.

MARCO TEÓRICO

Tubo de rayos filiformes



Tubo de rayos filiformes y bobinas en configuración Helmholtz

El tubo de rayos filiformes se emplea para el estudio de la desviación de rayos de electrones en un campo magnético homogéneo utilizando un par de bobinas conectadas en la configuración de Helmholtz, así como también se aplica para la determinación de la carga específica del electrón. Se trata de una ampolla de vidrio, con atmósfera de neón y a una presión determinada, dentro de la cual se encuentra el cañón de electrones, compuesto de un cátodo de caldeo indirecto, un cilindro de Wehnelt y un ánodo con un orificio central. Los átomos del gas son ionizados por choques con los electrones a lo largo de su trayectoria, y así se origina un trazo luminoso bien definido. Unas marcas de medida incorporadas en la ampolla permiten la medición del diámetro de la circunferencia formada por el rayo de electrones dentro del campo magnético.

El tubo se halla montado en un zócalo con terminales de conexión de diferentes colores. Las bobinas permiten generar un campo magnético homogéneo perpendicular al rayo de electrones del tubo filiforme, y dicho campo provoca que el haz describa una trayectoria circular.

Bobinas de Helmholtz

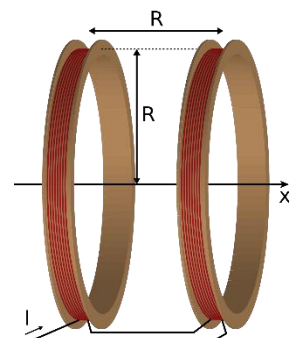
Una bobina es el componente pasivo de un circuito eléctrico que almacena energía como campo magnético a través del fenómeno conocido como inducción. Generalmente, suele ser un cilindro en torno al cual se enrosca el alambre o hilo de cobre a modo de sujetos inductores.

El arreglo de Helmholtz consiste en dos bobinas iguales que comparten el eje de revolución y cuyos centros están a una distancia igual al radio de las mismas. El punto medio del segmento determinado por los radios de las bobinas se encuentra ubicado a una distancia $x = \frac{R}{2}$ de cada una de éstas.

La intensidad del campo en el punto medio queda definida por la siguiente ecuación:

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{N \cdot \mu_0 \cdot i_H}{R}$$

Donde: N = número de espiras de las bobinas



Arreglo de Helmholtz

R = radio de las bobinas

μ_0 = permeabilidad magnética del vacío $4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Tm}{A}$

i_H = corriente que circula por las bobinas

Teniendo en cuenta los datos del equipo utilizado para la experiencia y reemplazando en la ecuación previa, obtenemos el valor del campo magnético para este caso:

$$B = 7,433 \cdot 10^{-4} \frac{T}{A} i_H$$

Desarrollo de la expresión de relación carga – masa del electrón

Sobre un electrón que se mueve con cierta velocidad v perpendicular al campo magnético uniforme B actúa la llamada fuerza de Lorentz en dirección perpendicular a la velocidad y al campo. El módulo de dicha fuerza es:

$$F = e \cdot v \cdot B, \text{ donde } e = \text{carga elemental}$$

Aplicando la segunda ley de Newton y teniendo en cuenta que la partícula recorre una trayectoria circular con aceleración centrípeta, queda:

$$F = m \frac{v^2}{r}, \text{ donde } m = \text{masa del electrón}$$

Iguando ambas expresiones y elevando al cuadrado:

$$e \cdot v \cdot B = m \frac{v^2}{r} \rightarrow e \cdot B = m \frac{v}{r} \rightarrow \left(\frac{e}{m}\right)^2 = \frac{v^2}{(rB)^2}$$

NOTA

Si despejamos el radio en la ecuación marcada, podemos realizar las siguientes deducciones:

$$r = \frac{mv}{eB} \quad \begin{array}{l} \longrightarrow \text{Al aumentar la velocidad, el radio de la circunferencia proyectada es mayor.} \\ \longrightarrow \text{Al aumentar el campo magnético, el radio de la circunferencia proyectada es menor.} \end{array}$$

Los electrones son acelerados por el potencial (U) del ánodo. Por dicha razón, la energía cinética resultante es:

$$Ue = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow v^2 = 2U \frac{e}{m}$$

Finalmente:

$$\left(\frac{e}{m}\right)^2 = \frac{2U \frac{e}{m}}{(rB)^2} \rightarrow \frac{e}{m} = \frac{2U}{(rB)^2} \quad \text{Relación carga – masa del electrón}$$

DESARROLLO

01. Materiales empleados

- Tubo de rayos filiformes y bobinas en configuración Helmholtz.
- Fuente de corriente continua
- Amperímetro
- Voltímetro
- Imán y brújula (solo para analizar cómo varía la proyección del haz y la orientación indicada por el instrumento al imantar el sistema)

02. Procedimiento

Cada grupo trabajará con un radio determinado de los tres pautados por el trabajo práctico. Para obtener los valores de las mediciones, se realizarán ajustes en la corriente hasta que el radio de la órbita del haz de electrones quede, en este caso, en la marca de 5 cm. Se relevarán los datos del potencial y la corriente obtenidos, y se procederá a la conformación de otras configuraciones posibles para el mismo radio.

A partir de la información relevada, se calculará $B_2 R_2$ para cada medición.

Por último, se llevarán los valores a un diagrama $2U = f[(r \cdot B)^2]$. La pendiente de la recta que pasa por el origen de coordenadas representa la relación carga-masa del electrón buscada. Cabe destacar que se trata de una regresión lineal, desarrollada en base a el conjunto de valores medidos en la práctica. La recta no pasará por todos los puntos de la gráfica, sino que se constituirá como la mejor aproximación a los mismos.

03. Datos relevados

r = 0,03 m		
$2U$	i_h	$B^2 r^2$
481,6	2,38	$2,817 \cdot 10^{-9}$
419,8	2,28	$2,585 \cdot 10^{-9}$
359,6	2,04	$2,069 \cdot 10^{-9}$
300,4	1,85	$1,702 \cdot 10^{-9}$

$$B = \frac{7,433 \cdot 10^{-4}}{A} \cdot 2,38A = 1,769054 \cdot 10^{-3}T$$

$$B^2 \cdot r^2 = (1,769054 \cdot 10^{-3}T)^2 \cdot (0,03m)^2 = 2,81659 \cdot 10^{-9}T^2 \cdot m^2$$

$$B = \frac{7,433 \cdot 10^{-4}}{A} \cdot 2,28A = 1,694724 \cdot 10^{-3}T$$

$$B^2 \cdot r^2 = (1,694724 \cdot 10^{-3} T)^2 \cdot (0,03m)^2 = 2,58488 \cdot 10^{-9} T^2 \cdot m^2$$

$$B = \frac{7,433 \cdot 10^{-4}}{A} \cdot 2,04A = 1,516332 \cdot 10^{-3} T$$

$$B^2 \cdot r^2 = (1,516332 \cdot 10^{-3} T)^2 \cdot (0,03m)^2 = 2,06934 \cdot 10^{-9} T^2 \cdot m^2$$

$$B = \frac{7,433 \cdot 10^{-4}}{A} \cdot 1,85A = 1,375105 \cdot 10^{-3} T$$

$$B^2 \cdot r^2 = (1,375105 \cdot 10^{-3} T)^2 \cdot (0,03m)^2 = 1,70182 \cdot 10^{-9} T^2 \cdot m^2$$

r = 0.04 m		
2U	i_h	B²r²
498	1,79	2,832.10 ⁻⁹
395	1,62	2,319.10 ⁻⁹
359	1,55	2,124.10 ⁻⁹
300,4	1,4	1,733.10 ⁻⁹

$$B = \frac{7,433 \cdot 10^{-4}}{A} \cdot 1,79A = 1,330507 \cdot 10^{-3} T$$

$$B^2 \cdot r^2 = (1,330507 \cdot 10^{-3} T)^2 \cdot (0,04m)^2 = 2,83239 \cdot 10^{-9} T^2 \cdot m^2$$

$$B = \frac{7,433 \cdot 10^{-4}}{A} \cdot 1,62A = 1,204146 \cdot 10^{-3} T$$

$$B^2 \cdot r^2 = (1,204146 \cdot 10^{-3} T)^2 \cdot (0,04m)^2 = 2,31995 \cdot 10^{-9} T^2 \cdot m^2$$

$$B = \frac{7,433 \cdot 10^{-4}}{A} \cdot 1,55A = 1,152115 \cdot 10^{-3} T$$

$$B^2 \cdot r^2 = (1,152115 \cdot 10^{-3} T)^2 \cdot (0,04m)^2 = 2,12379 \cdot 10^{-9} T^2 \cdot m^2$$

$$B = \frac{7,433 \cdot 10^{-4}}{A} \cdot 1,4A = 1,04062 \cdot 10^{-3} T$$

$$B^2 \cdot r^2 = (1,04062 \cdot 10^{-3} T)^2 \cdot (0,04m)^2 = 1,73262 \cdot 10^{-9} T^2 \cdot m^2$$

r = 0.05 m		
$2U$	i_h	$B^2 r^2$
478,8	1,41	$2,746 \cdot 10^{-9}$
364,8	1,24	$2,124 \cdot 10^{-9}$
281,4	1,09	$1,641 \cdot 10^{-9}$
402,8	1,30	$2,334 \cdot 10^{-9}$

$$B = \frac{7,433 \cdot 10^{-4}}{A} \cdot 1,41A = 1,048053 \cdot 10^{-3} T$$

$$B^2 \cdot r^2 = (1,048053 \cdot 10^{-3} T)^2 \cdot (0,05m)^2 = 2,74604 \cdot 10^{-9} T^2 \cdot m^2$$

$$B = \frac{7,433 \cdot 10^{-4}}{A} \cdot 1,24A = 9,21692 \cdot 10^{-4} T$$

$$B^2 \cdot r^2 = (9,21692 \cdot 10^{-4} T)^2 \cdot (0,05m)^2 = 2,12379 \cdot 10^{-9} T^2 \cdot m^2$$

$$B = \frac{7,433 \cdot 10^{-4}}{A} \cdot 1,09A = 8,10197 \cdot 10^{-4} T$$

$$B^2 \cdot r^2 = (8,10197 \cdot 10^{-4} T)^2 \cdot (0,05m)^2 = 1,64105 \cdot 10^{-9} T^2 \cdot m^2$$

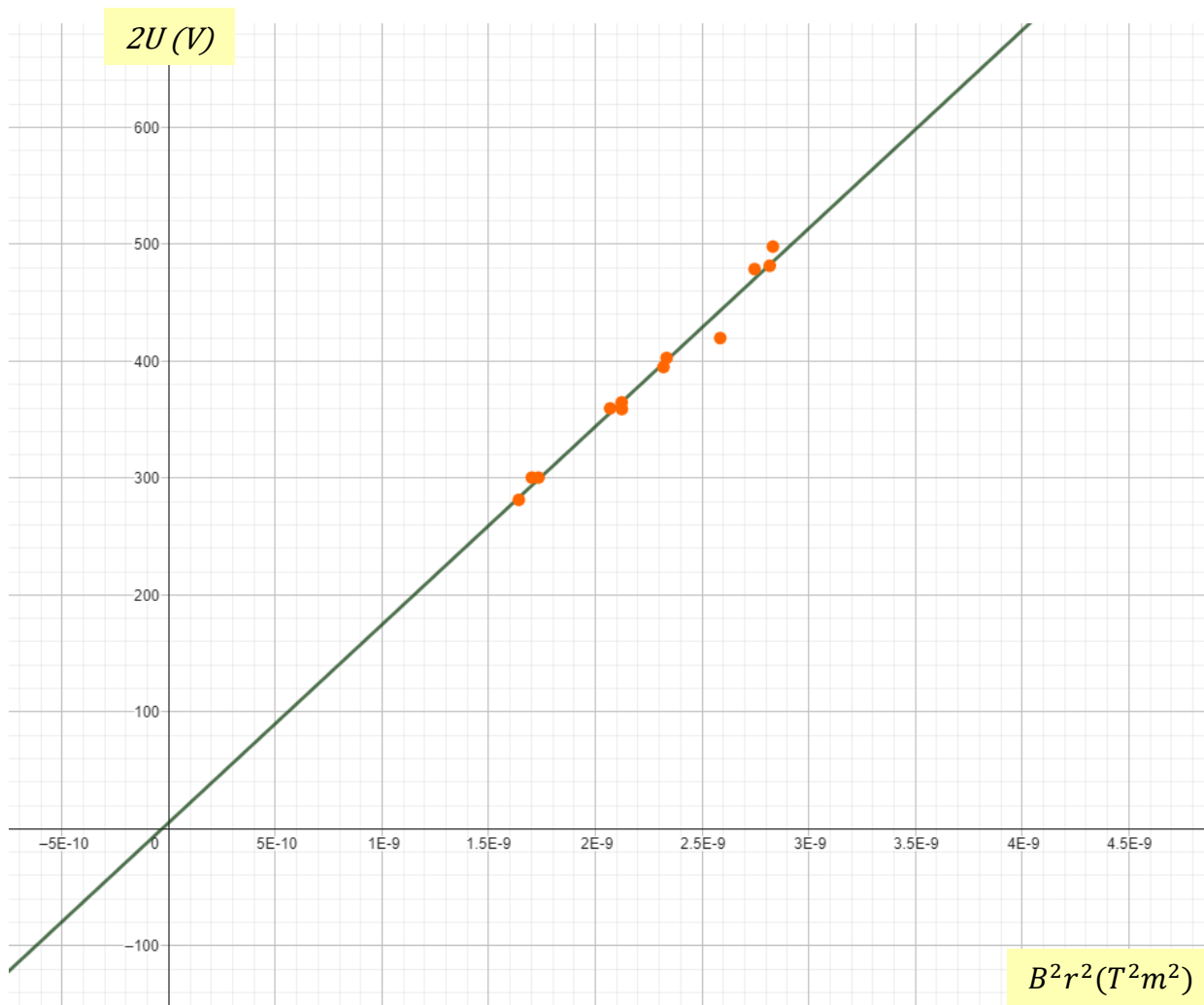
$$B = \frac{7,433 \cdot 10^{-4}}{A} \cdot 1,30A = 9,6629 \cdot 10^{-4} T$$

$$B^2 \cdot r^2 = (9,6629 \cdot 10^{-4} T)^2 \cdot (0,05m)^2 = 2,33429 \cdot 10^{-9} T^2 \cdot m^2$$

04. Gráfico

Ecuación de la recta

$y = 1,695 \cdot 10^{11} x + 5,2711016$, donde la pendiente de la recta representa el valor de e/m.



NOTA

La recta de regresión lineal no pasa exactamente por el origen de coordenadas. Esto puede deberse a algún error de cálculo o bien errores en la toma de mediciones.

05. Conclusión

Con el presente trabajo pudimos ver el funcionamiento de un tubo de rayos filiformes y apreciar visualmente cómo un campo magnético afecta a una partícula cargada que se mueve con una cierta velocidad formando un ángulo, en nuestro caso de 90° , con respecto al campo, en nuestro caso uniforme. Observamos la manera en que el haz de electrones se curva por efecto del campo, el cual variamos para conseguir que los electrones se desviarán creando una circunferencia de cierto radio deseado.

Tomamos tres radios diferentes y en cada caso utilizamos combinaciones de velocidad, variadas por la tensión que entregábamos al cañón de electrones, y de campo magnético, variado por la tensión que entregábamos a las bobinas de Helmholtz.

Con dichos datos realizamos un gráfico de regresión lineal, donde la pendiente da como resultado la relación entre la carga y la masa de un electrón.