

-25-

MEDIDA DE LA CARGA ESPECÍFICA DEL ELECTRÓN

OBJETIVO

- Medir la relación carga-masa del electrón midiendo el radio de la trayectoria que sigue un haz de electrones en un campo magnético.

MATERIAL

- Tubo de rayos catódicos que contiene Ne
- Fuente de alimentación de filamento de 7.5 voltios
- Fuente de alimentación de ánodo 0 a +300 V c.c.
- Fuente de alimentación del cilindro de Wehnelt (-50 a 0 V) c.c
- Amperímetro
- Voltímetro
- Bobinas de Helmholtz
- Fuente de alimentación de las bobinas

NOTA 1: las conexiones eléctricas de este experimento ya están hechas, pero no deben encender las fuentes de alimentación del equipo sin la supervisión del tutor responsable de la práctica, utilizan voltajes muy altos.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Cuando una carga puntual, en nuestro caso un electrón e , se mueve con velocidad \vec{v} en dirección perpendicular a un campo magnético uniforme \vec{B} , ésta experimenta una fuerza (fuerza de Lorentz) perpendicular al plano que contiene a \vec{v} y a \vec{B} , según la expresión:

$$\vec{F} = e \vec{v} \times \vec{B} \quad (1)$$

que tiene por módulo $F = e v B \sin \varphi$, donde φ es el ángulo formado por los vectores \vec{v} y \vec{B} . Esta interacción proporciona una fuerza centrípeta que hace que la trayectoria del electrón describa una circunferencia de radio r .

$$F = \frac{m_e v^2}{r} \quad (2)$$

donde m_e es la masa del electrón. Como en nuestro caso, $\sin \varphi = 1$, se verifica que:

$$\frac{m_e v^2}{r} = e v B \quad (3)$$

de donde se deduce

$$\frac{e}{m_e} = \frac{v}{r B} \quad (4)$$

Esta última expresión permite hallar el cociente carga/masa del electrón midiendo el radio de la trayectoria descrita por éste cuando entra en un campo magnético \vec{B} , con velocidad \vec{v} perpendicular al mismo. La primera medida de esta magnitud la realizó J.J. Thomson en 1897.

En general, para cualquier carga puntual q de masa m_q que se mueva con velocidad \vec{v} perpendicularmente a un campo magnético \vec{B} , se tiene:

$$\frac{q}{m_q} = \frac{v}{r B} \quad (5)$$

MÉTODO EXPERIMENTAL

El dispositivo experimental está compuesto por un tubo de rayos catódicos que consta de un cañón de electrones dentro de una ampolla transparente, en la que se ha hecho el vacío y que tiene un determinado gas residual (ver lista de material). El cañón de electrones está formado por un cátodo de óxido de caldeo indirecto, un cilindro de Wehnelt y un ánodo con orificio central. El cañón de electrones consta de un filamento que calienta un material que actúa de cátodo emitiendo electrones por efecto termiónico y una placa metálica, a la que se aplica un potencial positivo, que es el ánodo. Entre ambos electrodos, y cerca del cátodo, se coloca un tercer electrodo (cilindro de Wehnelt) que sirve para controlar el paso de electrones hacia el ánodo. El ánodo tiene un pequeño orificio que permite al haz de electrones entrar en la ampolla de cristal. Los electrones interactúan con los átomos del gas formando iones que, al recombinarse, emiten luz haciendo visible la trayectoria dentro de la ampolla. En el interior de la ampolla hay unas marcas de medida que permiten la medición del radio o diámetro de la circunferencia formada por el rayo de electrones en el campo magnético.

Todo el conjunto se coloca en el centro de dos bobinas de Helmholtz que proporcionan un campo magnético que es aproximadamente uniforme en la región en la que se realizarán las medidas (Figura 1) y perpendicular a la dirección de los electrones. Si llamamos V_a a la diferencia de potencial que establecemos entre cátodo y ánodo, también llamada tensión de aceleración, el principio de conservación de la energía nos permite conocer la velocidad v con la que entra el electrón en el campo magnético a partir de la expresión:

$$\frac{m_e v^2}{2} = e V_a \quad (6)$$

Por otra parte, el campo creado por una espira circular de radio R en su eje (ver práctica 20) es:

$$B = \frac{\mu_0 I R^2}{2\sqrt{(x^2 + R^2)^3}} \quad (7)$$

donde x es la distancia al centro y $\mu_0 = 1.257 \cdot 10^{-6} (Tm)/A$.

Según la expresión (7), una bobina de N espiras de radio R creará un campo a una distancia $x = R/2$ de:

$$B = \frac{\mu_0 N I}{2R} \left(\frac{4}{5} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (8)$$

Las bobinas de Helmholtz tienen radio R , constan de N espiras cada una, y están separadas entre sí una distancia igual a su radio, R . Teniendo en cuenta la expresión (8), el campo resultante en el centro del eje será la suma del creado por cada una de ellas. Si se conectan en serie, la misma intensidad I circulará por cada una, por lo que el campo será el doble de (8), es decir:

$$B = \frac{\mu_0 N I}{R} \left(\frac{4}{5} \right)^{\frac{3}{2}} = 0.716 \frac{\mu_0 N I}{R} \quad (9)$$

teniendo en cuenta que $N=124$ espiras y $R=0.1475$ m.

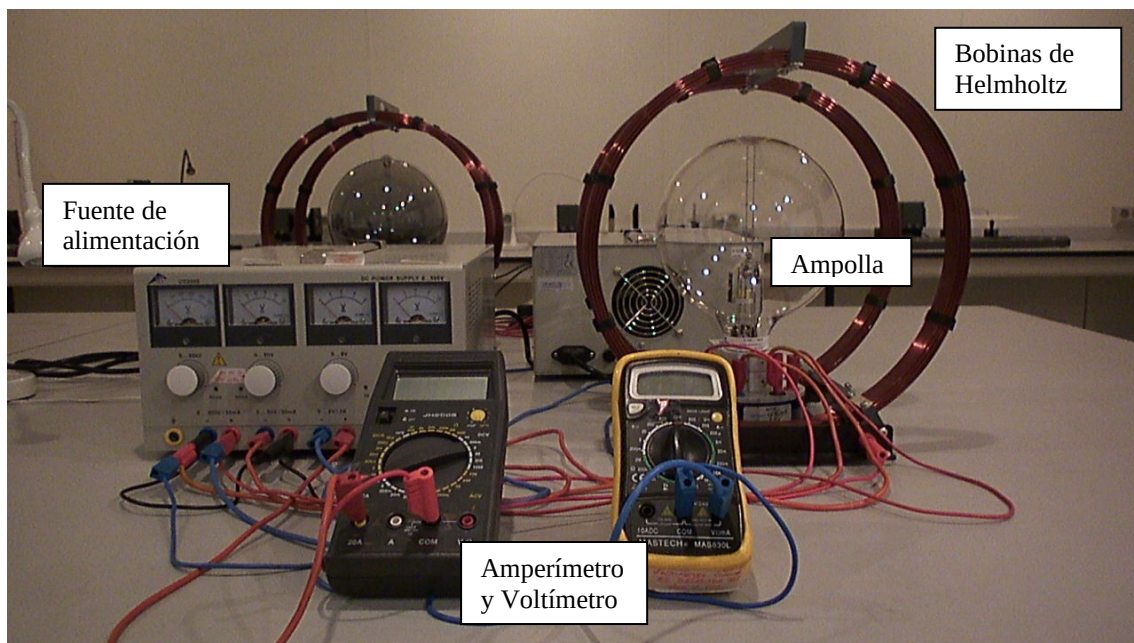


Figura 1. Montaje experimental

MODO DE OPERAR

Se caldea el cátodo durante unos minutos conectando la fuente de alimentación del filamento. Se ajusta la tensión de la fuente del cilindro de Wehnelt a -50 V y la del ánodo (0 a $+250$ V). Se hace circular corriente por los carretes cuidando de que no exceda de 3 A, de forma que la circunferencia descrita por los electrones alcance un radio de 3 , 4 ó 5 cm. En estos puntos, el haz de electrones se hace coincidir con las marcas de medida, evitando el error de paralaje.

Despejando la velocidad del electrón de la expresión (6) y sustituyendo en (4) se tiene:

$$\frac{e}{m_e} = \frac{2V_a}{r^2 B^2} \quad (10)$$

Midiendo I con el amperímetro, la expresión (9) nos dará el campo magnético. La lectura del voltímetro corresponderá al potencial de ánodo. Sabiendo r , la ecuación (10) nos dará el cociente e/m_e buscado.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

1. Para cada uno de los potenciales siguientes aplicados al ánodo (220, 260 y 300 V), varíe la intensidad que circula por las bobinas hasta que el haz describa radios de 3, 4 y 5 cm. Mida la intensidad I en cada caso.
2. Rellene la hoja de datos correspondiente calculando los valores del campo magnético B y de la relación carga-masa e/m_e junto con sus incertidumbres correctamente redondeados.
3. Indique las expresiones de las incertidumbres de B y de e/m_e . Justifique el valor asignado a la incertidumbre del radio.

NOTA 2: e/m_e es una medida indirecta, puesto que se determina a partir de una expresión matemática que relaciona otras magnitudes ya medidas (ecuación 10). Su incertidumbre, por lo tanto, se calcula a partir de la de B , r y V_a siguiendo la propagación de incertidumbres dada en clase (consideren el número N de espiras de las bobinas, su radio R y μ_0 con incertidumbre despreciable).

4. Teniendo en cuenta los resultados experimentales de las tablas del apartado anterior, responda a las siguientes cuestiones:
 - a) Si, para un potencial de ánodo fijo, aumentamos la corriente que circula por los carretes ¿aumenta o disminuye el radio de la circunferencia descrita?
 - b) Si, para una intensidad en los carretes fija, aumenta el potencial de ánodo, ¿qué sucede con el radio de la circunferencia?
 - c) ¿Cuál es la explicación (física, no sólo “matemática”) de estos hechos?
5. Sabiendo que la carga del electrón es de 1.602×10^{-19} C y su masa 9.108×10^{-31} kg, compare su cociente con los resultados anteriores. Indique para qué valores se obtiene el resultado más exacto y el más preciso, tras reflejar en % todos los valores de precisión y exactitud $\left(\frac{|X_{\text{exp}} - X_{\text{conocido}}|}{X_{\text{conocido}}}\right)$ de los 9 resultados experimentales.
6. Analice brevemente los resultados. Indique las limitaciones del experimento.