TUBO DE RAYOS FILIFORMES

OBJETIVO DEL TRABAJO PRÁCTICO

Determinar experimentalmente la relación carga masa (e/m)del electrón utilizando un tubo de rayos filiformes y bobinas de Heltmotz

DESCRIPCIÓN DEL TUBO DE RAYOS FILIFORMES

El tubo de rayos filiformes sirve 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 para la determinación de la carga específica del electrón.
En una ampolla de vidrio, con atmósfera de Ne a una presión ajustada con precisión ($1{,}3.10^{-5}$ bar), se encuentra el cañón de electrones, que se compone de un cátodo de caldeo indirecto (estos cátodos consisten en un pequeño vaso de metal delgado revestido en su superficie exterior con una capa delgada que contiene óxido de Torio, Estroncio, Cesio, Potasio o Litio que son buenos emisores de electrones cuando el filamento los calienta al rojo oscuro), un cilindro de Wehnelt y un ánodo con un orificio central. El cilindro de Wehnelt es un cilindro metálico hueco que tiene la base que se enfrenta al cátodo y sobre ella tiene un orificio por el que salen enfocados los electrones, que son acelerados debido a la diferencia de potencial que existe entre el ánodo y el cátodo. Al salir del cañón, los electrones colisionan con los átomos del gas y los ionizan, originando un trazo luminoso rectilíneo y bien definido

1: Tubo de haz fino (rayos filiformes)

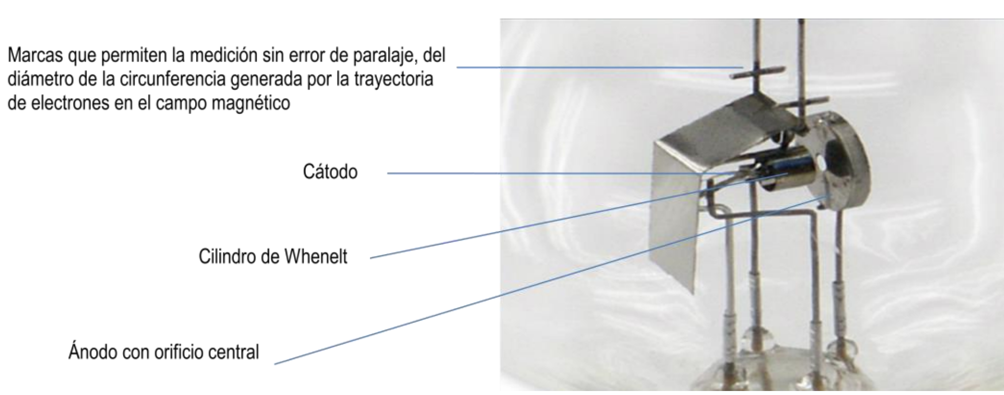
2: Zócalo de conexión

3: Contacto para ánodo

4: Contacto para cátodo

5: Contacto para cilindro de Wehnelt

6: Contacto para caldeo



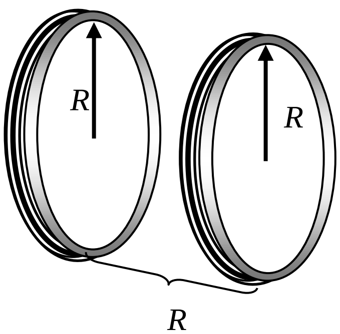
Debido al campo magnético generado por las bobinas de Helmholtz, la trayectoria de los electrones se convierte en circular. Unas marcas de medida incorporadas en la ampolla de vidrio permiten la medición sin paralaje del diámetro de la circunferencia formada por la trayectoria de electrones dentro del campo magnético.

BOBINAS DE HELMHOLTZ

Las bobinas de Helmholtz son las encargadas de generar el campo magnético homogéneo perpendicular al rayo de electrones del tubo filiforme, dicho campo magnético provoca que el haz describa una trayectoria circular. 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 centros de las bobinas está ubicado a una distancia $x = \frac{R}{2}$ de cada bobina

La intensidad del campo en dicho punto es:



$$B = \cancel{2} N \frac{\mu_0}{\cancel{2}} \frac{i_H . R^2}{\left(R^2 + \frac{R^2}{4} \right)^{\frac{3}{2}}}$$

$$B = N \mu_0 \frac{i . \cancel{R^2}}{\left(\frac{5}{4} \right)^{\frac{3}{2}} \left(R^{\cancel{2}} \right)^{\frac{3}{\cancel{2}}}}$$

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

Agrupando los factores y divisores constantes de la expresión anterior obtenemos:

$$k = \left(\frac{4}{5} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{N . \mu_0}{R}$$

Con los datos de nuestro equipo:
N: Número de espiras = 124
R: Radio de las bobinas = 150.10^{-3} m

$$k = \left(\frac{4}{5} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{124.4.\pi.10^{-7} \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{A}^2}}{150.10^{-3}\mathrm{m}} = 7,433.10^{-4} \frac{\mathrm{T}}{\mathrm{A}}$$

Finalmente:

$$\boxed{B = 7,433.10^{-4} \frac{\mathrm{T}}{\mathrm{A}} i_H}$$

i_H es la corriente que circula por las bobinas

FUNDAMENTOS BÁSICOS

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

$$F = e.v.B \quad (1)$$

(*e: carga elemental*)

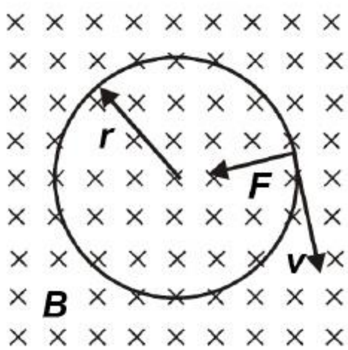


Fig 1. Desviación de electrones dentro de un campo magnético B debida a la fuerza de Lorentz F en una órbita circular de un radio específico r.

Al ser esta fuerza la única con un efecto relevante sobre el electrón, lo obliga a recorrer una trayectoria circular de radio r con aceleración centrípeta $a = \frac{v^2}{r}$.

Por aplicación de la segunda ley de Newton obtenemos:

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

(*m: masa del electrón*)

Igualando las expresiones (1) y (2)

$$e.\cancel{v}.B = m\frac{v^{\cancel{2}}}{r} \Rightarrow e.B = \frac{m.v}{r} \Rightarrow \left(\frac{e}{m}\right)^2 = \frac{v^2}{(r.B)^2} \quad (3)$$

Los electrones son acelerados por el potencial (U) del ánodo. Por lo tanto la energía cinética resultante es

$$U.e = \frac{1}{2}m.v^2 \Rightarrow v^2 = 2U\frac{e}{m} \quad (4)$$

Reemplazando (4) en la (3):

$$\left(\frac{e}{m}\right)^{\cancel{2}} = \frac{2U\cancel{\frac{e}{m}}}{(r.B)^2}$$

$$\boxed{\frac{e}{m} = \frac{2U}{(r.B)^2}} \qquad (5)$$

ESQUEMA DE CONEXIONES

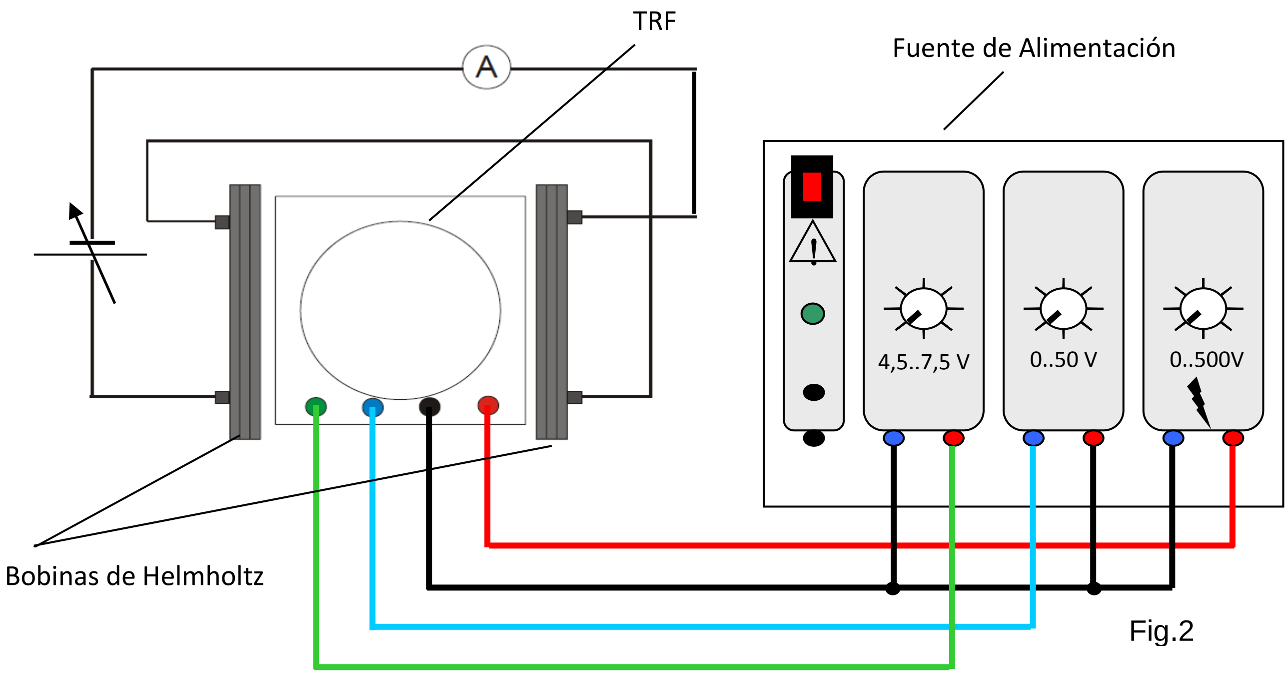


Fig.2

OTROS MATERIALES UTILIZADOS

Batería	Linterna
Reóstato	Voltímetro

DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA

- Aplicar una tensión de calefacción de, por ejemplo, 7,5 V. (La tensión de calefacción debe de estar por debajo de 10,6 V).
- Se aumenta lentamente la tensión de ánodo hasta un máximo de aproximadamente 210 V (el haz de electrones es inicialmente horizontal y se hace visible en forma de una luz naranja tenue).
- Elija la tensión de Wehnelt (salida de 0 a 50 V) de manera que, en lo posible, se vea un trazo luminoso delgado y bien definido.
- Ajuste la corriente de las bobinas (i_H) hasta que el radio de la órbita quede en p.ej. 5 cm. Anote los valores de ajuste.
- Realice dos mediciones más, disminuyendo la tensión anódica, en pasos de aproximadamente 25 V, en cada caso, seleccione la corriente de la bobina de manera que el radio se mantenga constante en el valor elegido y anote estos valores.
- Realice más series de mediciones para los radios de órbita circular de 4 cm y 3 cm. (ver cuadros de valores)
- De la expresión (5), obtenemos que: $2U = \frac{e}{m} \cdot (B^2 \cdot r^2)$, por lo tanto, si llevamos los valores de los tres cuadros, a un gráfico de $2U = f\,[(B^2 . r^2)]$ y buscamos trazar la recta que contenga a la mayor cantidad de puntos, la pendiente de esa recta nos dará la relación $\frac{e}{m}$ buscada. (ver Fig. 3)

.

r = 0,05 m

2 U	i_H	B^2 r^2
Volt	A	T^2 m^2

r = 0,04 m

2 U	i_H	B^2 r^2
Volt	A	T^2 m^2

r = 0,03 m

2 U	i_H	B^2 r^2
Volt	A	T^2 m^2

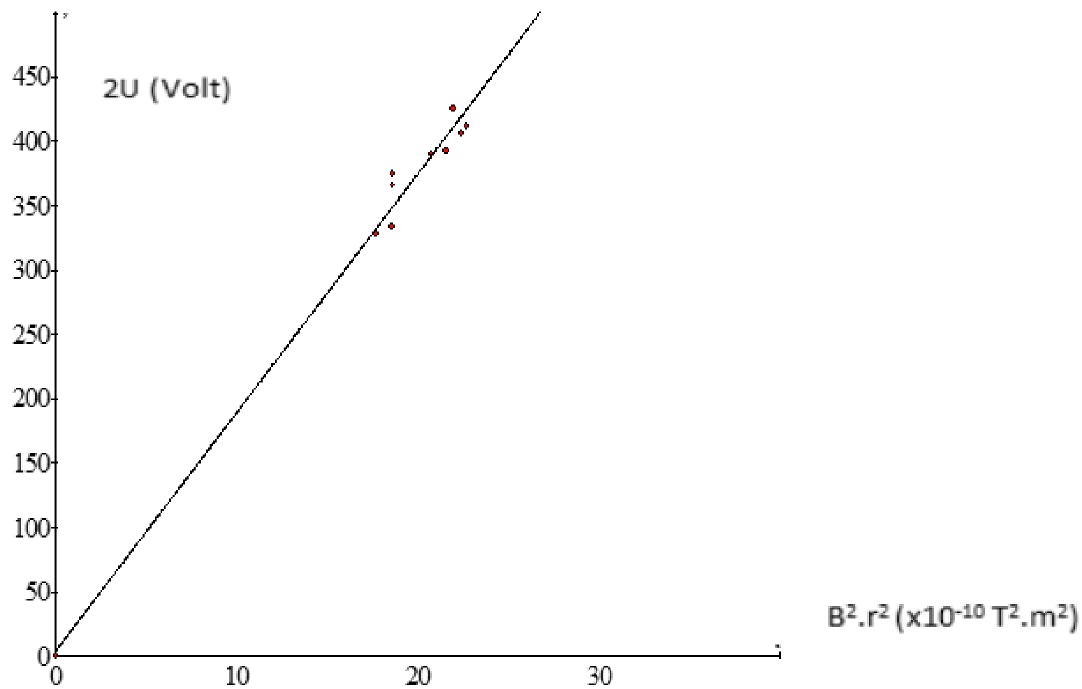


Fig. 3

UNIDADES

La pendiente hallada será el cociente $\frac{2U}{B^2.r^2}$, por lo tanto su unidad será $\frac{V}{T^2.m^2}$. Pero nosotros esperamos que la unidad de la relación $\left[\frac{e}{m}\right]$, sea $\frac{C}{kg}$, veamos entonces como se llega a la equivalencia entre ambas unidades.

$$\left[\frac{e}{m}\right] = \frac{V}{T^2.m^2} = \frac{\frac{J}{C}}{\frac{kg^2.m^2}{C^2.s^2}} = \frac{\frac{kg.m^2}{s^2.C}}{\frac{kg^2.m^2}{C^2.s^2}}. = \frac{\cancel{kg}.\cancel{m^2}}{\cancel{s^2}.\cancel{C}} \cdot \frac{C^{\cancel{2}}.\cancel{s^2}}{kg^{\cancel{2}}.\cancel{m^2}} = \frac{C}{kg}$$