

Relación carga/masa del electrón

Objetivos

Determinar experimentalmente la relación e/m del electrón.

Introducción

En 1880 J. J. Thomson ganó una posición en el Trinity College de la Universidad de Cambridge para trabajar en el laboratorio Cavendish. En 1884 fue designado director del laboratorio ocupando el mismo lugar que había tenido antes James Clark Maxwell y John William Strutt. Durante su estancia en el laboratorio, Thomson se dedicó a estudiar la naturaleza de los rayos catódicos.

En 1887, J. J. Thomson demostró que los rayos catódicos eran en realidad partículas cargadas negativamente, descubriendo así el electrón. En el mismo año obtuvo experimentalmente la carga específica (e/m) de las partículas de los rayos catódicos, $e/m = 1.7 \times 10^{11} \text{ C/kg}$.

Thomson descubrió que el valor de la relación e/m no dependía del gas utilizado y de la naturaleza de los electrodos. Por lo que, si se conoce experimentalmente el valor de la carga eléctrica del electrón, se puede conocer la masa del electrón, y viceversa.

Principio del experimento

En el tubo e/m los electrones se mueven sobre una trayectoria circular que se encuentra en un campo magnético constante como se muestra en la figura 1. En el interior del tubo se encuentra confinado gas Helio a cierta presión, debido a que la colisión de los electrones puede ionizar a los átomos de gas, logrando así que se emitan fotones y pueda ser visible la trayectoria del haz de electrones.

Dado que se puede medir el radio de la trayectoria circular, el voltaje aplicado al cañón de electrones, la corriente y el campo magnético producido por las bobinas de Helmholtz, es posible calcular la carga específica e/m de un electrón.

Un electrón que se mueve circularmente con una velocidad tangencial v a través de un campo magnético perpendicular B , experimenta una fuerza de magnética

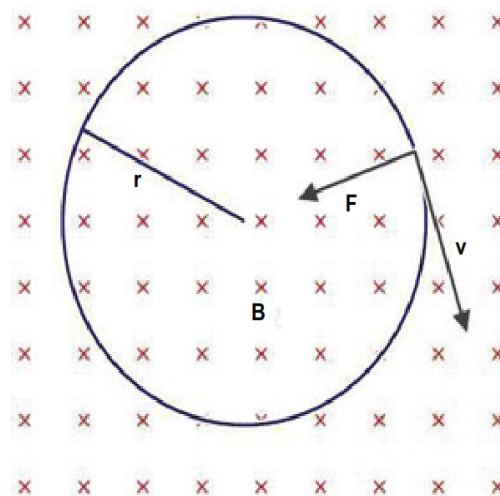


Figura 1. Trayectoria que sigue el electrón, debido a la dirección del campo magnético, la fuerza de Lorentz y la dirección de la velocidad.

perpendicular al campo magnético y al vector de la velocidad tangencial. De forma escalar, la fuerza magnética que siente el electrón se expresa como:

$$F_M = evB \quad (1)$$

donde e es la carga del electrón.

Dado que el movimiento del electrón es circular, también se experimenta una fuerza centrípeta dada por:

$$F_C = \frac{mv^2}{r} \quad (2)$$

donde m es la masa del electrón, r es el radio del movimiento circular y v es la velocidad tangencial del electrón. Debido a que ambas fuerzas actúan sobre el electrón y se encuentran en equilibrio, se puede igualar la ecuación (1) y (2):

$$evB = \frac{mv^2}{r} \quad (3)$$

despejando para la carga específica del electrón se obtiene:

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{Br} \quad (4)$$

Por otro lado, debido a que los electrones son acelerados por un potencial V , estos adquieren energía cinética, la cual se expresa como:

$$eV = \frac{mv^2}{2} \quad (5)$$

donde e es la carga del electrón, V es el potencial aplicado para acelerar los electrones, m es la masa del electrón y v es la velocidad tangencial del electrón. Si se despeja v de la ecuación (5), se obtiene:

$$v = \left(\frac{2eV}{m} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Sustituyendo la ecuación (6) en la ecuación (4), se obtiene:

$$\frac{e}{m} = \frac{1}{Br} \left(\frac{2eV}{m} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

Dado que ambos lados de la ecuación (7), se tiene la razón e/m , se realiza una serie de pasos algebraicos para llegar a la siguiente ecuación:

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

Además, el campo magnético generado por las dos bobinas de Helmholtz está dado por:

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

Sustituyendo la ecuación (9) en la ecuación (8), se obtiene:

$$\frac{e}{m} = \left(\frac{5}{4} \right)^3 \frac{2Va^2}{(N\mu_0 ir)^2} \quad (10)$$

donde

V : es el potencial eléctrico. [Volt]

a : es el radio de las bobinas de Helmholtz. ($a = 0.158\text{m}$)

N : Número de vueltas de cada bobina de Helmholtz. ($N = 130$)

μ_0 : Permeabilidad magnética del vacío. ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A}$)

i : Corriente eléctrica que pasa por el conductor de las bobinas. [A]

r : Radio de la trayectoria del haz de electrones. [m]

Descripción de las partes del aparato e/m

Tubo e/m .

La base del tubo e/m se puede girar permitiendo orientar el haz de electrones en un ángulo de 0 a 90 grados, con respecto al campo magnético de las bobinas de Helmholtz. Por tanto, el tubo también permite examinar la relación entre la fuerza magnética y las partículas

cargadas en movimiento. El tubo e/m está lleno de gas helio a una presión de 10^{-2} mm Hg, para que los electrones al colisionar con los átomos de gas, estos se exciten y emitan fotones.

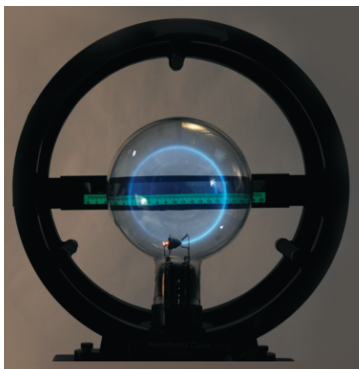


Figura 2. Ejemplo de haz de electrones que se observa en el tubo e/m .

Dentro del tubo e/m se encuentra un arreglo de partes metálicas denominado cañón de electrones, como se observa en la figura 3. El filamento tiene la función de calentar el cátodo para emitir electrones (proceso conocido como efecto termoiónico), los cuales a su vez son acelerados por la aplicación de un potencial eléctrico entre el cátodo y el ánodo. Con el fin de poder enfocar al haz de electrones se coloca una pequeña rejilla, la cual se mantiene positiva con respecto al cátodo y negativa con respecto al ánodo.

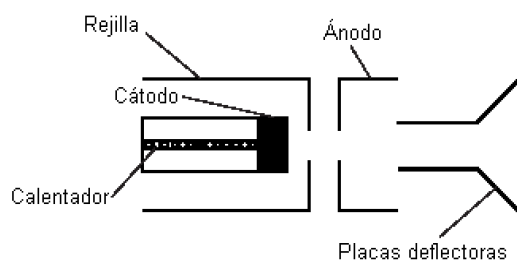


Figura 3. Partes que conforman al cañón de electrones.

PRECAUCIÓN: El voltaje del calentador del cañón de electrones nunca debe exceder 6.3 voltios. Voltajes mayores quemarán el filamento y destruirán el tubo e/m .

Bobinas de Helmholtz.

Las dos bobinas de Helmholtz tienen la función de proporcionar el campo magnético que, debido a su geometría, suministran un campo magnético uniforme en la región central del tubo e/m . El radio de las bobinas es igual a la separación entre ellas, que es de 15.8 cm. Cada bobina tiene 130 vueltas. El campo magnético B producido por una bobina es proporcional a la corriente a través de la bobina.



Figura 4. Se muestra el arreglo de la bobina de Helmholtz.

Material

- 1 Aparato e/m .
- 1 Fuente de potencia eléctrica de alto voltaje 0-500V, 0-50 mA (SF-9585A).
- 1 Fuente de potencia eléctrica de bajo voltaje 0-24 VCD, 0-10 A (SF-9585A).
- 1 Fuente de potencia eléctrica 6.3 VCA, 2A (SF-9586).
- 2 multímetros.
- 10 Cables banana-banana.

Procedimiento

1. Con ayuda del profesor o del técnico del laboratorio, realice las conexiones en el panel de control tal y como se muestra en la figura 5, aún no encienda los equipos ya que se pueden dañar. Luego asegúrese que las perillas de los equipos estén en cero.

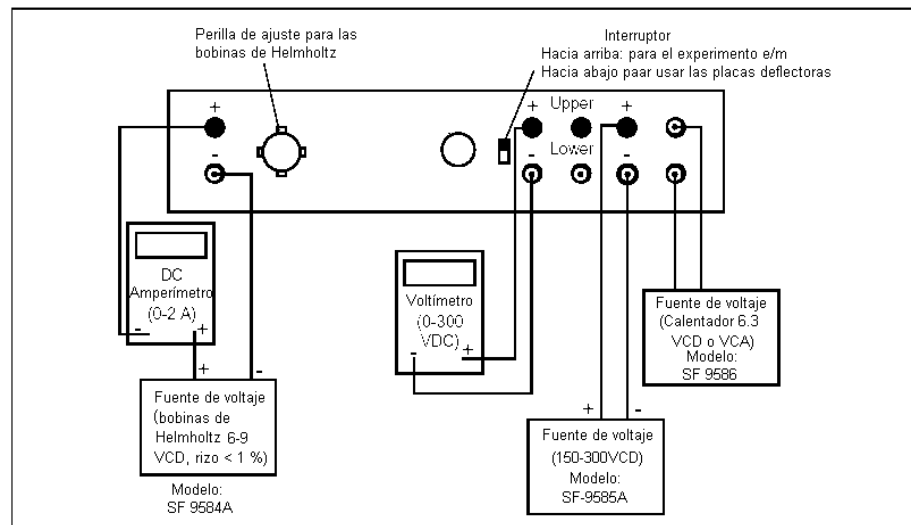


Figura 5. Se muestran las conexiones para el aparato e/m .

2. Coloque el interruptor en la posición “Measurement e/m ”.
3. Gire la perilla de ajuste de corriente (para las bobinas de Helmholtz) a la posición “OFF”.
4. Verifique nuevamente que las conexiones que realizó en las fuentes de voltaje y en los multímetros sean las correctas, no olvide que las perillas de las fuentes de voltaje deben estar en cero.
5. Encienda la fuente de potencia eléctrica de 6.3 VAC (SF-9586) y no mueva ninguna de las perillas de voltaje. No olvide que los cables banana-banana se conectan a la entrada de 6.3 VAC (conectores de color amarillo). Al cabo de unos segundos el filamento estará al rojo vivo.
6. Encienda la fuente de alto voltaje 0-500 VCD (SF-9585A) y gradualmente con la perilla aumente el voltaje hasta alcanzar los 250 V. Conforme aumente dicho potencial eléctrico empezará a observarse la trayectoria horizontal del haz de electrones dentro del tubo e/m .
7. Gire la perilla de ajuste de la corriente de las bobinas de Helmholtz, hasta que la marca blanca de la perilla llegue a la mitad de la escala total que tiene la perilla, como se observa en la figura 6.
8. Encienda la fuente de bajo voltaje 0-24 VCD (SF-9584A), recuerde que las perillas de la fuente deben estar inicialmente en cero antes de encender la fuente. Con la perilla de la fuente, aumente el voltaje alrededor de 6 V.
9. Para poder desviar el haz de electrones gire lentamente la perilla de ajuste de corriente de la fuente de bajo voltaje y con el multímetro verifique que la corriente no exceda los 2 Amperes. Usted verá cómo se desvía el haz de electrones gradualmente.
10. En caso de que la trayectoria del haz no forme un círculo completo, se puede variar el voltaje de la fuente de alto voltaje (sin exceder los 350 V) y la corriente eléctrica de la fuente de bajo voltaje (sin exceder los 2 A). En caso de que sea necesario, tome el tubo por la base de plástico y gírelo lentamente hasta que el círculo se forme en un solo plano.
11. Con la regla reflejante mida el radio de la trayectoria circular del haz de electrones. Para medir el radio ubique la mejor posición de observación moviendo su cabeza, así se minimizarán los errores de paralelismo. Mida el radio en ambos extremos de la regla y promedie. Se puede ajustar el diámetro de la circunferencia, ajustando la corriente y el voltaje. Una vez que haya medido el radio, registre la corriente y el voltaje que indican los multímetros. Determine la relación e/m haciendo uso de la ecuación 10.
12. Obtenga la relación e/m para diferentes radios del haz de electrones.



Figura 6. Posición en la que debe ser colocada la perilla.