

El experimento de J.J Thomson

En esta práctica, se reproduce las características esenciales y los datos del experimento realizado por Thomson a finales del siglo XIX. El propósito del experimento fue describir la naturaleza corpuscular de los denominados rayos catódicos. El experimento se realizó de dos fases: La determinación de la velocidad del haz de electrones mediante un campo eléctrico y otro magnético perpendiculares entre sí y a la dirección del haz. Se ajusta la magnitud de los campos hasta conseguir que el haz no se desvíe. Una vez conocida la energía cinética de los electrones, se procede a la determinación de la relación carga/masa, midiendo el radio de la trayectoria de los electrones bajo la acción del campo magnético existente en las bobinas de Helmhotz.
carga, masa ,carga específica, bobinas de Helmhotz

1. introducción

El descubrimiento del carácter corpuscular de la carga eléctrica se le asigna al físico J.J. Thomson. Dicho descubrimiento lo realizó en 1897 experimentando con un tubo de vacío. Dentro del tubo, conteniendo una pequeña cantidad de gas, colocó dos láminas metálicas situadas una frente a la otra (cátodo y ánodo) y aplicó una tensión eléctrica entre ellas. Thomson comprobó que del cátodo salían unos rayos a gran velocidad (rayos catódicos), que atravesaban el ánodo (si en éste se practicaba un agujero) y que producían un pequeño destello al llegar a una pantalla fluorescente. Sometiendo los rayos a campos eléctricos y magnéticos comprobó que se comportaban de la misma manera independientemente del gas que se colocase en el tubo, y demostró que estaban formados por partículas cargadas, a las que bautizó con el nombre de electrones, pudiendo determinar su relación carga-masa. El valor actualmente aceptado para el módulo de la carga (negativa) del electrón es $|e| = 1,602 \cdot 10^{-19} C$.

La medida de la carga específica del electrón, esto es, la relación entre su carga y su masa, se realizó por vez primera en los años ochenta del siglo XIX y constituye un acontecimiento importante en el desarrollo de la Física. Este experimento se puede realizar hoy día en los centros escolares que dispongan de un equipo comercial diseñado específicamente para esta medida. El fundamento del experimento consiste esencialmente en estudiar la interacción que sufren los electrones cuando penetran en un campo magnético.

2. Trabajos previos

Cuando una carga eléctrica se mueve en el seno de un campo magnético experimenta una fuerza perpendicular al campo B y al vector velocidad v . Esta fuerza cumple la relación vectorial, si la partícula cargada entra en dirección perpendicular al campo magnético, entonces la fuerza magnética obliga a la carga a describir una circunferencia, pues actúa como una fuerza centrípeta, cumpliéndose:

$$eBv = \frac{mv^2}{r} \quad (1)$$

Si se escribe la velocidad de la partícula en función de la velocidad ,la intensidad del campo magnético y el radio de la trayectoria que describe se tiene la siguiente expresión:

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{Br}$$

se donde se puede determinar la relación $\frac{e}{m}$ la carga específica para la partícula, si se conocen el valor del campo magnético B , la velocidad de la partícula v , y se mide el radio r de la trayectoria que describe el electrón en el campo magnético. El dispositivo experimental donde se producen los electrones está representado en la la figura 1

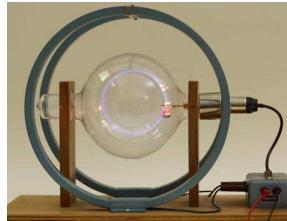


Figura 1: Tubo de rayos catódicos para medir la carga específica del electrón

El tubo al vacío de vidrio contiene un gas noble que puede ser helio a baja presión. Los electrones, se originan por efecto termoiónico, el cual consiste en calentar un filamento a alta temperatura, lo que da lugar a la emisión de los mismos, una vez producidos se aceleran mediante la acción de un campo eléctrico. Estos electrones chocan contra las moléculas de hidrógeno, produciendo un estado excitado de las mismas. Cuando una molécula vuelve al estado normal, el exceso de energía aparece en forma de luz visible. El campo magnético se obtiene mediante un dispositivo que se conoce con el nombre de bobinas de Helmholtz. Estas bobinas son recorridas por una corriente intensa, del orden del amperio, y dan lugar a un campo magnético que en la zona interior de las bobinas es prácticamente constante.

La ecuación que describe el incremento de energía mediante el voltaje acelerador aplicado al ánodo se describe mediante la ecuación 2.

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

$$v^2 = \frac{e2V}{m} \quad (3)$$

$$v = \sqrt{\frac{e}{m}} \sqrt{2V_a} \quad (4)$$

$$\frac{e}{m} = \frac{\sqrt{\frac{e}{m}} \sqrt{2V_a}}{Br} \quad (5)$$

donde V_a es el potencial acelerador aplicado entre el cátodo y el ánodo del tubo de rayos catódicos. Como el valor del módulo del campo magnético B , creado por las bobinas de Helmholtz

es proporcional a la intensidad de la corriente $B = k \cdot I$, resulta:

$$B = \frac{\mu_0 N I}{a \left(\frac{5}{4}\right)^{3/2} a} \quad (6)$$

$$\frac{e}{m} = \frac{\sqrt{\frac{e}{m}} \sqrt{2V_a}}{\frac{\mu_0 N I}{a \left(\frac{5}{4}\right)^{3/2} r}}$$

$$\sqrt{\frac{e}{m}} = \frac{\sqrt{2V_a}}{\frac{\mu_0 N I}{a \left(\frac{5}{4}\right)^{3/2} r}}$$

Elevando al cuadrado la expresión anterior para obtener la relación carga específica del electrón se obtiene finalmente la siguiente ecuación:

$$\frac{e}{m} = \frac{2V_a a^2 \left(\frac{5}{4}\right)^3}{(\mu_0 N I r)^2} \quad (7)$$

De esa pendiente se puede calcular la carga específica del electrón, siempre que se conozca el valor K , el cual es característico de las bobinas empleadas; depende del radio a de las bobinas, del número N de espiras y de la distancia de separación entre ellas. La relación de K . Al relacionar K con el campo magnético de las bobinas de Helmholtz se obtiene la siguiente expresión;

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

con esas magnitudes se puede encontrar en los libros de Electromagnetismo y es un valor que depende de cada fabricante. En este experimento $N = 130$ y $a = 0,145\text{cm}$ La forma de operar en es la siguiente: a) Despues de realizar las conexiones, se actúa sobre el interruptor de la fuente de alimentación que proporciona el caldeo al filamento. b) Se conecta el potencial acelerador de los electrones VA c) Se introduce corriente en las bobinas de Helmholtz Se obtienen pares de valores de V_a e I manteniendo radio de la trayectoria descrita por los electrones en $r = 5\text{cm}$.

2.1. Las bobinas de Helmholtz

La figura 2 muestra la dirección del campo magnético creado por una espira que conduce corriente, si se superponen los flujos magnéticos de cada una de las espiras el campo puede ser modelarse como si fuera constante en magnitud y dirección; esto significa que esta distribución de corriente produce en el centro de la bobina un campo magnético uniforme

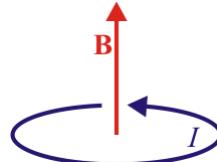


Figura 2: Regla de la mano derecha

Un método para obtener una región en la que exista un campo magnético uniforme es emplear un par de bobinas circulares idénticas que transportan corrientes iguales en el mismo sentido. Cada bobina tiene N espiras y radio a . Tienen un eje común y están separadas una distancia $2a$. Si esta distancia se elige adecuadamente, el campo será casi uniforme en una cierta región alrededor del punto medio O . El módulo del campo B en el punto P , a distancia x de O , viene dado por la expresión

$$B = \frac{\mu_0 N I a^2}{2} \left[\frac{1}{(a^2 + (b+x)^2)^{3/2}} + \frac{1}{(a^2 + (b-x)^2)^{3/2}} \right] \quad (9)$$

$$B = \frac{\mu_0 N I a^2}{2(a^2 + b^2)^{3/2}} \left[\frac{1}{\left(1 + \frac{1+2bx+x^2}{a^2+b^2}\right)^{3/2}} + \frac{1}{\left(1 - \frac{1+2bx+x^2}{a^2+b^2}\right)^{3/2}} \right] \quad (10)$$

Utilizando el teorema del binomio se tiene que:

$$(1+x)^{-n} = 1 - nx + \frac{n(n+1)}{2!}x^2 - \frac{n(n+1)(n+2)}{3!}x^3 + \dots$$

y desarrollando hasta el segundo orden las fracciones que aparecen en la ecuación 7, puede observarse que la expresión entre paréntesis rectangular no depende de la primera potencia de x . Si determina la relación entre b y a de manera que el coeficiente de x^2 sea cero, entonces, el campo magnético B es independiente de x para potencias de x hasta la segunda. Esa relación entre a y b es: $a = 2b$ y, cuando se cumple, el campo uniforme vale:

$$B = \frac{8\mu_0 I N}{2a 5^{3/2}} \quad (11)$$

La ecuación 8 describe el campo creado por una corriente eléctrica, en la figura de abajo se representa de perfil como se crea un campo magnético en una geometría de Helmholtz.

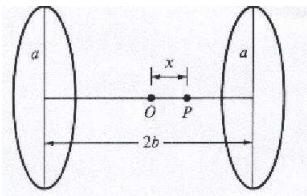


Figura 3: Bobinas de Helmholtz

Un sistema de cargas que efectúa un movimiento estacionario, es decir un flujo continuo de corriente eléctrica, genera un campo magnético cuyo valor medio en un punto de observación depende de las coordenadas de dicho punto pero no del tiempo. Introduciendo el potencial magnético vectorial \vec{A} tal que :

$$\vec{B} = \nabla \times \vec{A}$$

y promediando temporalmente la ecuación de Maxwell del campo magnético se obtiene el potencial vector promedio

$$\vec{A} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{J dV}{r}$$

donde \vec{j} es la densidad de corriente por unidad de área. El campo magnético es entonces:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{\hat{u}_T \times \hat{u}_r dl}{r^2} \quad (12)$$

En esta última expresión se ha introducido , el elemento diferencial de longitud dl de corriente, e I , la intensidad de corriente, que se relaciona con la densidad de corriente mediante la siguiente ecuación:

$$J = \frac{I}{A}$$

Campo creado por una bobina de Hemholtz. Sea una bobina con N espiras tal que por cada una de ellas circula una corriente I . El campo magnético creado por un elemento de longitud de corriente de una espira en un punto de observación viene dado por: se dice que verifican la “geometría Helmholtz

$$B = \frac{\mu_0 I N}{2a \left(\frac{5}{4}\right)^{3/2}} \quad (13)$$

3. Metodología

El procedimiento experimental que se utiliza, es=

1. Variar el voltaje acelerador V_a y la corriente I . que circula por la bobinas de Helmholtz logrando para cada par de valores de estas magnitudes, que el radio r de la circunferencia descrita por los electrones sea siempre el mismo, De este modo se toman datos correspondiente a la corriente elevada al cuadrado I^2 y el voltaje acelerador V_a y se gráfica colocando I^2 en las abscisas y V_a en las ordenadas esto permite obtener una linea recta cuya pendiente debe ser calculada mediante una regresión lineal de mínimos cuadrados.

2. Variar la corriente de las bobinas y medir el correspondiente radio de la trayectoria de los electrones para un voltaje acelerador constante
3. Elaborar las correspondientes regresiones y determinar sus parámetros

4. Resultados

Cuadro 1: Intensidad al cuadrado contra voltaje acelerador

r (cm)	I^2	V_a	r	I	v_a
constante					constante

4.1. Gráficas

4. Represente en el eje de ordenadas V_a y en el eje de abscisas I^2 . A partir de la pendiente de la recta determine el valor de la carga específica del electrón. La bibliografía proporciona como valor de la carga específica del electrón $1,73 \cdot 10^{-11}$ kg C. Calcule el error cometido en el experimento. Ahora se intenta determinar la incertidumbre que acompaña el resultado experimental y para ello debemos estimar las incertidumbres con que aparecen los valores experimentales del voltaje, intensidad y radio de la trayectoria.
5. Represente en el eje de ordenadas I y en el eje de abscisas r

5. Conclusiones

De los datos obtenidos de la gráfica de voltaje versus la corriente al cuadrado se observa que la línea que mejor se ajusta es un recta, por consiguiente se obtiene la relación de abajo empleando el método de los mínimos cuadrados:

$$V_A = AI^2 + V_0 \quad (14)$$

comparando la ecuación anterior con la siguiente ecuación que fue obtenida de la ecuación número 8

$$\frac{I^2}{2m_e a^2} \frac{(\mu_0 N r)^2 e}{\left(\frac{5}{4}\right)^3} = AI^2 \quad (15)$$

$$A = \frac{(4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 130 \cdot 0,07)^2}{2(0,0145)^2} \left(\frac{e}{m_e}\right) \quad (16)$$

la pendiente de la regresión lineal se obtiene de la calculadora y de ahí se obtiene experimentalmente la relación carga masa para el electrón. NOTA recuerde que en la calculadora la pendiente puede ser representada por una letra diferente a A en la mayoría de estas es B

- [1] Notas de clase gmm
- [2] http://laplace.us.es/wiki/index.php/Campo_magn%C3%A9tico_debido_a_una_corriente
- [3] Física para ingeniería y ciencias con física moderna. Wolfgang Bauer, Gary D Westfall. volumen II
- [4] Manual del fabricante (equipo universidad de la Salle)