

# Determinación de la carga específica del electrón mediante el estudio de rayos catódicos con trayectoria circular

Luis Nicolas Romano Chili

*Física Experimental IV 2023, Departamento de Física, Fac. de Cs. Exactas,  
Universidad Nacional de La Plata, C.C. 64, 1900, La Plata, Argentina*

14 de septiembre de 2023

## Resumen

El objetivo de la experiencia fue determinar la carga específica del electrón ( $e/m$ ) mediante una adaptación del experimento de Bainbridge. Luego de un ajuste a los datos medidos, se encontró un valor aceptable de  $1.75(25)\text{E}+11\text{ C/kg}$  para la carga específica del electrón, cuyo valor teórico de referencia es  $1.7588(1)\text{E}+11\text{ C/kg}$ .

## 1 Introducción

A fines del siglo XIX se descubrió que si se colocaban un cátodo y un ánodo dentro de un tubo de vacío y se aplicaba una diferencia de potencial entre ellos, el cátodo emitía algún tipo de radiación que viajaba hacia el ánodo en forma de rayos e ilumina la superficie del tubo, a este efecto se le dio el nombre de rayos catódicos.

Por mucho tiempo hubo gran debate acerca de qué era exactamente lo que producía estos haces de luz. Una de las propuestas era que los rayos estaban compuestos por cuerpos con carga negativa que salían disparados del cátodo hacia el ánodo debido a la diferencia de potencial. Esta propuesta tenía cada vez más validez empírica gracias a experimentos como los realizados por el físico inglés Joseph John Thomson, en los cuales se descubrieron varias propiedades de estos rayos, como por ejemplo que se desviaban al aplicarles campos eléctricos o magnéticos, o que tenían velocidades variables dependiendo de la presión del gas dentro del tubo, entre otros resultados experimentales. Estos resultados indicaban entonces un comportamiento proveniente de partículas cargadas negativamente, las cuales más tarde obtendrían el nombre de electrones.

Uno de los resultados más interesantes obtenidos por Thomson fue el valor que calculó de la razón entre la carga  $e$  y la masa  $m$  de los electrones. El objetivo de este informe es obtener este valor pero aplicando un método distinto al físico inglés. Para cumplir esta meta se utilizó un dispositivo que consiste de un tubo de vidrio lleno con helio a una presión de  $10^{-2}\text{ mmHg}$ , además de un cátodo y un ánodo para poder acelerar los electrones, que se extraen por efecto termoiónico de un filamento metálico. En su exterior se le colocaron unas bobinas de Helmholtz con tal de poder aplicar un campo magnético cuyo módulo está dado por la

siguiente ecuación

$$B = \frac{N\mu_0 i}{(5/4)^{3/2}a} \quad (1)$$

Donde  $N$  es la cantidad de vueltas realizadas por el cable,  $\mu_0$  es la permeabilidad del vacío,  $i$  es la corriente que pasa por el cable, y  $a$  es el radio de la bobina. Se diseña el arreglo experimental para que la región en donde se van a mover los electrones se encuentre en la zona donde el campo que genera la bobina es casi constante. Las bobinas son colocadas de tal forma que al aplicar un voltaje  $V$  entre cátodo y ánodo, los electrones obtengan una velocidad  $v$  que es perpendicular al campo magnético, la cual se encuentra relacionada con el voltaje aplicado de la siguiente forma

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

Debido al campo magnético, los electrones sufrirán una fuerza perpendicular a la dirección de su movimiento, dada por la fuerza de Lorentz [2], con magnitud

$$F = evB \quad (3)$$

Con esto se consigue que, en ciertas condiciones experimentales, las partículas sigan un recorrido circular con un cierto radio  $R$ , por lo que la fuerza también se puede expresar como

$$F = m\frac{v^2}{R} \quad (4)$$

Es necesario notar que este radio  $R$  puede ser medido ya que el mismo haz de electrones interactúa con el gas que encuentra en su camino, intercambiando energía que posteriormente será emitida por las moléculas del gas en forma de fotones dentro del rango visible. Al estar emitiendo luz, es posible determinar de forma visual el radio de la trayectoria.

Por último, combinando las ecuaciones 2, 3, y 4 se llega a que la razón entre la carga del electrón y su masa es de la forma

$$\frac{e}{m} = \frac{2V}{B^2 R^2} \quad (5)$$

Y reemplazando en la ecuación 5 el campo magnético producido por las bobinas de Helmholtz (ecuación 1), resulta que se puede obtener el valor de  $e/m$  conociendo solamente el voltaje  $V$  entre el cátodo y el ánodo que acelera los electrones, la corriente  $i$  que pasa por las bobinas y genera el campo magnético, y el radio  $R$  de la circunferencia que recorren los electrones.

## 2 Arreglo Experimental

Para realizar las medidas se utilizó un equipo experimental PASCO, caracterizado por una bobina de Helmholtz de 130 vueltas y con un radio de 0,15(1) m. En el centro de la bobina, donde el campo magnético es uniforme, se encuentra una esfera de vidrio (también llamada tubo  $e/m$ ) llena de helio a una presión de  $10^{-2}$  mmHg. En ella, se ubican un filamento de tungsteno, un cátodo y un ánodo. El respectivo esquema se encuentra en la figura 1.

Estos elementos se dispusieron de manera tal que al hacer circular corriente por el filamento de tungsteno, de este se desprendieran electrones por efecto termoiónico que luego se acelerarían al aplicárseles una diferencia de potencial o voltaje. Por interacción con el helio, este haz de electrones emite luz al recorrer su trayectoria. Por último, la bobina de Helmholtz se colocó de forma que al hacer circular corriente genere un campo magnético perpendicular a la trayectoria del haz, tal que este último se curve formando finalmente una circunferencia con radio medible.

El voltaje y la corriente fueron medidas directamente utilizando un voltímetro de resolución 0,01 V y un amperímetro de resolución 0,1 A respectivamente. También se midió directamente el radio de la trayectoria del haz de electrones con una regla de resolución 1 mm. Por otro lado, se determinó indirectamente el campo magnético en función de la corriente  $i$  utilizando la ecuación 1. Estas mediciones fueron efectuadas en cuatro series. En primer y segundo lugar fijando valores del voltaje entre el cátodo y el ánodo, obteniendo una relación funcional entre campo magnético (corriente aplicada en las bobinas) y radio. Y en tercer y cuarto lugar fijando valores de campo magnético (corriente) para así obtener una relación entre voltaje y radio.

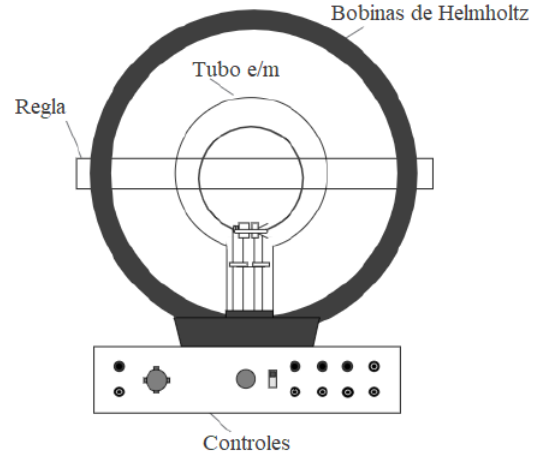


Figura 1: Equipo experimental PASCO. En el tubo  $e/m$  se aceleran los electrones a partir de un potencial  $V$  mientras que las bobinas de Helmholtz se encargan de deflectar el haz de electrones, que dejan un rastro visible al chocar con los átomos de helio a baja presión, en una trayectoria circular cuyo radio es medido con la regla.

## 3 Resultados y Discusión

En primera instancia se realizaron dos conjuntos de medidas manteniendo el voltaje fijo y variando la corriente aplicada sobre las bobinas para luego medir el radio de la trayectoria los electrones. En la Figura 2 y en la Figura 3 se compara  $\frac{2V}{R^2}$  contra  $B^2$  con tal de obtener  $e/m$  como pendiente del ajuste lineal que se efectuó. Al fijar el valor de la tensión en 123,79(9) V se obtiene una pendiente de  $1,8(4)\text{E}+11$  C/kg. Luego al fijarse en 195,4(1) V el resultado obtenido es de  $1,6(3)\text{E}+11$  C/kg.

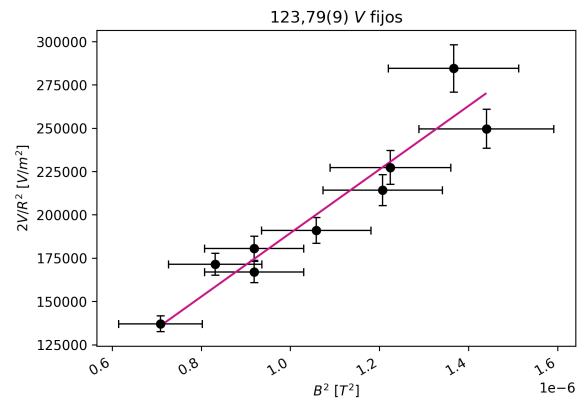


Figura 2: Ajuste lineal (trazo rojo) del radio  $R$  en función del campo magnético  $B$  a un voltaje  $V$  fijo con valor 123,79(9) V.

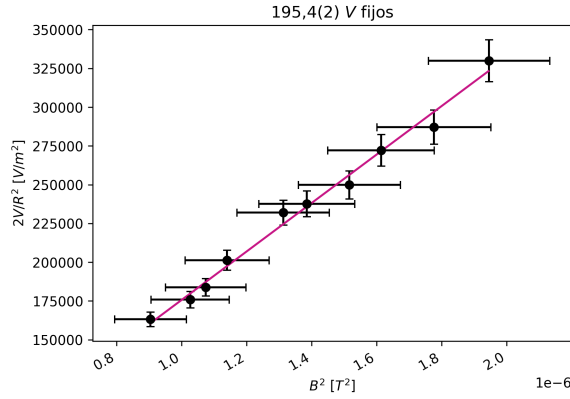


Figura 3: Ajuste lineal (trazo rojo) del radio  $R$  en función del campo magnético  $B$  a un voltaje  $V$  fijo con valor 195,4(2) V.

Por otra parte, se realizaron dos conjuntos de medidas adicionales manteniendo esta vez la corriente de la bobina de Helmholtz fija y variando el voltaje aplicado para medir así el radio de la trayectoria los electrones. En la Figura 4 y en la Figura 5 se compara  $2V$  contra  $B^2 R^2$  para obtener  $e/m$  una vez más como la pendiente del ajuste lineal. Al fijar el valor de la corriente en 1,74(9) A se obtiene una pendiente de  $1.9(3)E+11$  C/kg. Luego al fijarse en 1,52(9) A el resultado obtenido es de  $1.7(2)E+11$  C/kg.

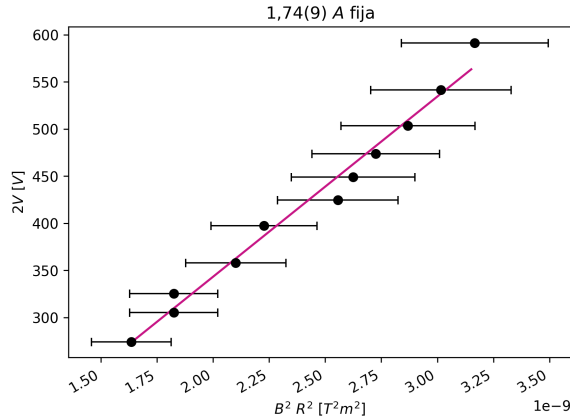


Figura 4: Ajuste lineal (trazo rojo) del voltaje  $V$  en función del radio  $R$  a un campo magnético  $B$  dependiente de una corriente fija con valor 1,74(9) A.

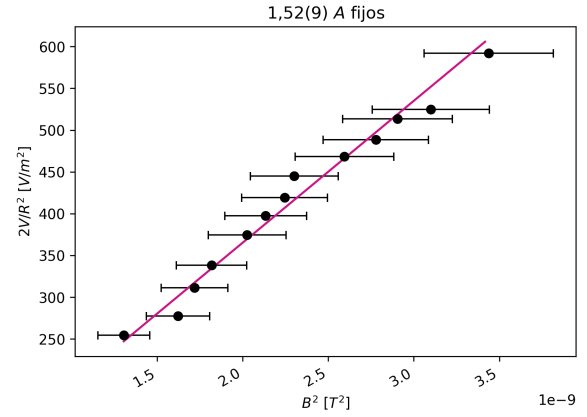


Figura 5: Ajuste lineal (trazo rojo) del voltaje  $V$  en función del radio  $R$  a un campo magnético  $B$  dependiente de una corriente fija con valor 1,52(9) A.

En última instancia, para comparar con el valor de la carga específica del electrón  $e/m$  utilizado como referencia de  $1.7588(1)E+11$  C/kg [1], se realizó un promedio ponderado de los cuatro resultados. De esta forma se obtuvo un valor final de  $1.7(3)E+11$  C/kg, que coincide con el valor de referencia.

## 4 Conclusiones

Se obtuvo un valor para la carga específica del electrón mediante el análisis de los rayos catódicos producidos en una esfera de vidrio llena con helio en el centro de una bobina de Helmholtz, mediante cuatro determinaciones, dos a voltaje constante y dos a corriente constante. Luego se realizó un promedio ponderado sobre los valores obtenidos y se terminó llegando al resultado de  $1.7(3)E+11$  C/kg, el cual es equivalente al valor aceptado de  $1.7588(1)E+11$  C/kg [1].

## Bibliografía

- [1] Universitat de València. Laboratorio Virtual de Física Cuántica. <https://www.uv.es/inecfis/QPhVL/p3/p3.intro.html>
- [2] FÍSICA Vol. II CAMPOS Y ONDAS de Marcelo Alonso y Edward J. Finn