

# Determinación de la Carga Específica del Electrón

Tubo de Braun

Laura Herrera \*, Bryan Martínez \*, Julian Avila \*, and Juan Acuña \*

\*Programa Académico de Física, Universidad Distrital Francisco José de Caldas

**Abstract**—The specific charge of the electron was determined using a Braun tube. For this, the acceleration and deflection potential differences were measured, as well as the current in the Helmholtz coils. Finally, using energy conservation and the equilibrium condition, the specific charge of the electron is calculated.

In the experiment, the electron charge-to-mass ratio was obtained as  $1.210 \times 10^{11}$  C/kg with an uncertainty of  $0.5 \times 10^{11}$  C/kg.

**Index Terms**—Specific charge of the electron, acceleration and deflection potential, Helmholtz coils.

**Resumen**—Se determinó la carga específica del electrón usando un Tubo de Braun, para esto se midieron las diferencias de potencial de aceleración y de deflexión, así como la corriente en las bobinas de Helmholtz. Finalmente, usando la conservación de la energía y la condición de equilibrio, se calcula la carga específica del electrón.

En el experimento se obtuvo la relación carga-masa del electrón de  $1.210 \times 10^{11}$  C/kg con una incertidumbre de  $0.5 \times 10^{11}$  C/kg.

**Index Terms**—Carga específica del electrón, potencial de aceleración y deflexión, bobinas de Helmholtz.

## I. OBJETIVOS

- Determinar la carga específica del electrón.
- Medir el potencial de aceleración y deflexión aplicados sobre un haz de electrones.
- Determinar el campo magnético que corrige la deflexión.

## II. MARCO TEÓRICO

Para determinar la carga específica del electrón, se aceleran electrones mediante una diferencia de potencial, de modo que la energía cinética adquirida es equivalente a la energía potencial eléctrica, en concordancia con el principio de conservación de la energía. Esta relación se expresa en la ecuación (1).

$$eU_a = \frac{1}{2}m_e v_x^2 \quad (1)$$

Donde  $U_a$  es el potencial de aceleración,  $e$  la carga del electrón,  $m_e$  su masa y  $v_x$  la velocidad horizontal alcanzada. La velocidad horizontal puede despejarse para obtener la ecuación (2).

$$v_x = \sqrt{\frac{2eU_a}{m_e}} \quad (2)$$

Al aplicar un potencial de deflexión, el electrón adquiere una componente de velocidad vertical, lo que provoca un desplazamiento en su posición final sobre la pantalla. Para contrarrestar dicha deflexión, se aplica un campo magnético.

Cuando la fuerza eléctrica generada por el potencial de deflexión y la fuerza de Lorentz debida al campo magnético están en equilibrio, se establece la relación de velocidad que se presenta en la ecuación (3), donde  $U_d$  es el potencial de deflexión y  $d$  la distancia entre placas del capacitor.

$$e \frac{U_d}{d} = ev_x B$$

$$v_x = \frac{U_d}{Bd} \quad (3)$$

El campo magnético, generado por un par de bobinas de Helmholtz, puede calcularse utilizando la ecuación (4) [1], donde  $n = 240$  el número de vueltas de las bobinas y  $r = 11.2 \times 10^{-2}$  m es su radio.

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

Al combinar las dos expresiones para la velocidad horizontal, dadas por las ecuaciones (2) y (3), se obtiene la ecuación (5), que permite determinar explícitamente la carga específica del electrón.

$$\frac{e}{m_e} = \frac{1}{2U_a} \frac{U_d^2}{B^2 d^2} \quad (5)$$

## III. MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon dos fuentes de voltaje y una fuente de corriente para llevar a cabo el experimento. Una de las fuentes de voltaje se conectó a un voltímetro y al cañón de electrones, proporcionando el potencial de aceleración. La segunda fuente se conectó a otro voltímetro y al capacitor encargado de generar la deflexión, actuando como el potencial de deflexión. La fuente de corriente se conectó a un amperímetro y a las bobinas de Helmholtz, permitiendo determinar el campo magnético inducido. El esquema del montaje experimental se muestra en la figura 1.

Además, en una hoja milimetrada se marcó un punto de referencia, a partir del cual se trazaron tres marcas adicionales a diferentes distancias. Las posiciones relativas de estas marcas son las distancias entre el punto de referencia y cada una de las marcas de 1.5 cm, 2.0 cm y 3.0 cm, respectivamente.

Se suministró una diferencia de potencial al cañón de electrones, generando un haz de electrones que impactó en el

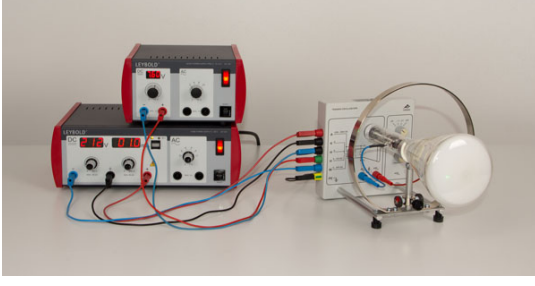


Figura 1. Montaje experimental.

extremo opuesto del tubo de vidrio cubierto con un material fluorescente, lo que permitió observar un punto de luz. Sobre este punto se posicionó la hoja milimetrada, de modo que el punto de referencia coincidiera con el punto de luz y las otras tres marcas quedaran alineadas debajo del mismo.

Posteriormente, se aplicó un potencial al capacitor, provocando la deflexión del haz de electrones. El valor del potencial se ajustó hasta que el punto de luz coincidiera con una de las marcas en la hoja milimetrada, registrándose tanto la distancia como el potencial aplicado. A continuación, se suministró corriente a las bobinas de Helmholtz, ajustándose para que el punto de luz deflectado volviera a su posición original, es decir, al punto de referencia. Este procedimiento se repitió para las tres marcas, y los valores de potencial de aceleración utilizados fueron de 390.0 V, 445.6 V y 523.0 V.

#### IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

De acuerdo con el montaje experimental descrito anteriormente, se registraron valores de corriente que generaban un campo magnético suficiente para corregir la deflexión inducida sobre el haz de electrones. Estos valores se presentan en la cuadro I, donde los campos magnéticos fueron calculados utilizando la ecuación (4), y la carga específica del electrón fue obtenida mediante la ecuación (5).

| $U_a$ (V)       | $U_d$ (V)      | $I$ (A)         | $e/m$ (C/kg)                   |
|-----------------|----------------|-----------------|--------------------------------|
| $390.0 \pm 0.1$ | $36.5 \pm 0.1$ | $0.06 \pm 0.01$ | $(7 \pm 2) \times 10^{11}$     |
| $390.0 \pm 0.1$ | $45.5 \pm 0.1$ | $0.06 \pm 0.01$ | $(1.0 \pm 0.3) \times 10^{12}$ |
| $390.0 \pm 0.1$ | $63.5 \pm 0.1$ | $0.09 \pm 0.01$ | $(9 \pm 1) \times 10^{11}$     |
| $445.6 \pm 0.1$ | $39.0 \pm 0.1$ | $0.06 \pm 0.01$ | $(7 \pm 2) \times 10^{11}$     |
| $445.6 \pm 0.1$ | $50.6 \pm 0.1$ | $0.03 \pm 0.01$ | $(4 \pm 2) \times 10^{12}$     |
| $445.6 \pm 0.1$ | $70.7 \pm 0.1$ | $0.11 \pm 0.01$ | $(6 \pm 1) \times 10^{11}$     |
| $523.0 \pm 0.1$ | $43.4 \pm 0.1$ | $0.05 \pm 0.01$ | $(1.0 \pm 0.4) \times 10^{12}$ |
| $523.0 \pm 0.1$ | $58.0 \pm 0.1$ | $0.08 \pm 0.01$ | $(7 \pm 2) \times 10^{11}$     |
| $523.0 \pm 0.1$ | $81.3 \pm 0.1$ | $0.10 \pm 0.01$ | $(9 \pm 1) \times 10^{11}$     |

Cuadro I

VALORES PARA EL CAMPO MAGNETICO Y LA CARGA ESPECIFICA.

Se observa una repetición de ciertos valores para la carga específica, así como para la corriente en distintos valores de potencial. Al promediar la carga específica, se obtiene un valor de  $e/m \approx (1.2 \pm 0.5) \times 10^{12}$  C/kg, con una desviación estándar de 1.07, lo que representa una incertidumbre considerable.

El valor reportado en la literatura para la carga específica del electrón es  $e/m = 1.76 \times 10^{11}$  C/kg [2], lo que implica un error relativo porcentual del 298 % utilizando el límite inferior

del intervalo de confianza, y del 582 % si se toma el valor central del intervalo.

Este margen de error, notablemente elevado, sugiere la existencia de errores significativos en el montaje experimental o en el procesamiento de los datos. Dado que se observaron valores repetidos de corriente, se realizó una representación tridimensional del campo magnético  $B$  en función de  $U_a$  y  $U_d$ , como se ilustra en la figura 2. Para obtener la superficie teórica de los valores esperados, se despejó el campo magnético a partir de la ecuación (5), empleando el valor de referencia de la carga específica.

Combined Scatter Plot and Surface Plot

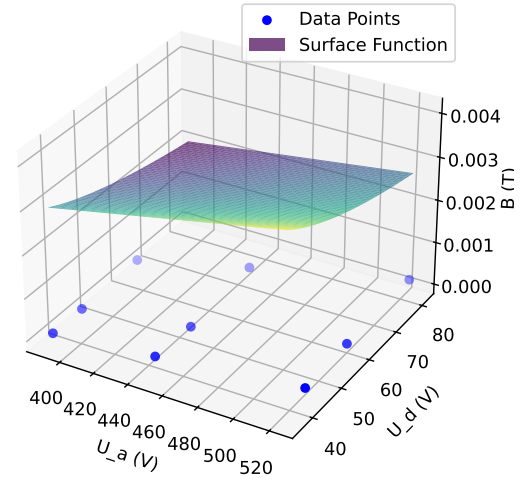


Figura 2. Comparación entre el campo magnético obtenido y el esperado.

Es evidente que los valores experimentales del campo magnético son inferiores en casi un orden de magnitud con respecto a los valores teóricos esperados. Esta discrepancia sustancial entre el campo magnético medido y el esperado explica tanto el error en el orden de magnitud como la desviación en el valor de la carga específica calculada.

#### V. CONCLUSIONES

Se logró medir tres diferentes potenciales de aceleración, y para cada uno de ellos se determinó el potencial de deflexión necesario para alinear el haz en los tres puntos utilizados con respecto al punto de referencia. Se evidenció que, a mayor potencial de aceleración, es necesario un mayor potencial de deflexión para que el haz choque con el punto deseado. Por otro lado, se determinó la carga específica del electrón, obteniendo un valor de  $e/m \approx (1.2 \pm 0.5) \times 10^{12}$  C/kg con un error relativo porcentual del 2.98 % utilizando el límite inferior del intervalo de confianza. Se realizó un análisis del campo magnético obtenido y se determinó que los valores teóricos del campo magnético difieren casi en un orden de magnitud de los valores experimentales, lo que sugiere que una forma de mejorar la metodología empleada es medir directamente el campo eléctrico generado por las bobinas.

#### REFERENCIAS

- [1] John David Jackson. *Classical Electrodynamics*. John Wiley & Sons, 14 de ago. de 1998.

- [2] NIST. *CODATA Value: electron charge to mass quotient*. 2024. URL: <https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?esme>.