



---

## Experimento 3: $e/m$ , medición del cociente entre la carga y la masa del electrón

### Objetivo:

Medir el cociente entre la masa y la carga del electrón, usando la interacción del electrón con campos eléctricos y magnéticos

### Materiales:

- Tubo electrónico (tipo "ojo mágico")
- Bobina
- Dos multímetros
- Fuente de Poder de c.c.
- Cámara digital con software Webcam (Escritorio Windows)
- Conectores
- Compás
- Pie de Metro

### Introducción:

En este experimento se estudia el efecto de los campos eléctricos y magnéticos sobre partículas cargadas, lo que permite medir el cociente entre la carga eléctrica y la masa de los electrones. Los electrones se pueden liberar en un ambiente adecuado, calentado a una temperatura conveniente un metal que tenga una función de trabajo baja. Los electrones se originan en un cátodo de calentamiento indirecto; Ellos tienen una energía cinética muy pequeña y son focalizados por una lente electrostática, el electrodo de Wehnelt, conformando un haz fino de electrones que se aceleran mediante un potencial positivo aplicado al ánodo. El haz puede desviarse mediante un campo eléctrico, creado al aplicar un potencial a un par de electrodos de desviación colocados delante del ánodo. La desviación del haz puede producirse, además, mediante un imán permanente o mediante un campo magnético producido por una o más bobinas por las que circula una corriente eléctrica. Los electrodos, cátodo, focalizador de Wehnelt, ánodo y placas desviadoras, están dispuestos excéntricamente dentro de una ampolla de vidrio. La ampolla de vidrio contiene una pantalla fosforescente. Los electrones provenientes del cátodo chocan con la pantalla, la excitan y ésta emite luz, indicando de esta manera la trayectoria seguida por los electrones.

En presencia de un campo magnético estático y homogéneo y en ausencia de campo eléctrico, un electrón experimenta la *Fuerza de Lorentz*, dada por

$$\vec{F}_L = e\vec{v} \times \vec{B} \quad (1)$$

Si el movimiento del electrón ocurre en un plano perpendicular a la dirección del campo magnético, como muestra la figura 1, la trayectoria es un círculo de radio  $r$ , estando el electrón sometido a una fuerza centrípeta, dada por

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

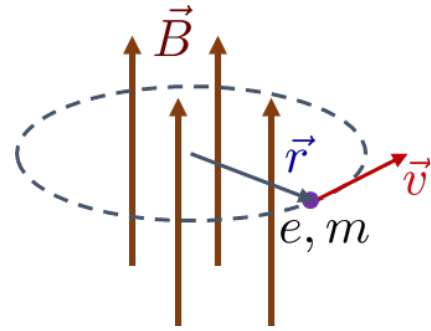


Figura 1: Electrón en trayectoria circular en un plano perpendicular a un campo magnético estático y homogéneo.

Dado que el electrón se mueve en el plano perpendicular al campo magnético, se cumple que

$$F_L = evB = F_c \quad (3)$$

resultando que

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

Si el electrón antes de ingresar a la región con campo magnético es acelerado por una diferencia de potencial  $V$ , adquiere una energía cinética

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 = eV \quad (5)$$

Combinando las ecuaciones 4 y 5, resulta

$$\frac{e}{m} = \frac{2V}{B^2r^2} [C/kg] \quad (6)$$

Un campo magnético estático y homogéneo puede ser generado en el interior de una bobina larga, por la cual circula una corriente estacionaria  $I$ . En estas condiciones el campo es paralelo al eje de la bobina y está dado por

$$B = \mu_0NI \quad (7)$$

donde  $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$  H/m es la permitividad del vacío,  $I$  es la corriente que circula por la bobina, y  $N$  es el número de vueltas por unidad de longitud de la bobina.

En el experimento se pueden fijar tanto  $V$  como  $I$ , y  $r$  puede ser determinado usando mediciones geométricas, lo que permite determinar experimentalmente  $e/m$ .

### Montaje Experimental:

1. Se usará un tubo electrónico al vacío, del tipo ojo mágico (RCA-6AF6G). Las figuras 2-a y 2-b muestran un esquema del tubo.

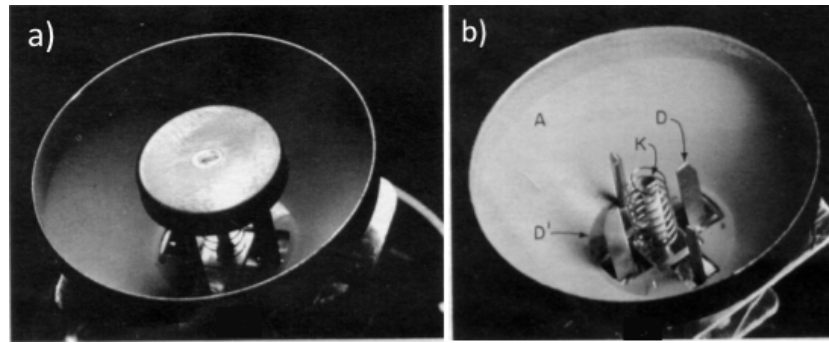


Figura 2: a) Tubo electrónico sin la envoltura de vidrio. b) La placa central que se observa en a) ha sido removida de sus soportes metálicos revelándose las partes importantes de la estructura del tubo. **K** es el cátodo emisor de electrones. **D** y **D'** son los electrodos deflectores que originan la sombra y **A** es el ánodo sobre el que se ha depositado un material que fluoresce al ser impactado por electrones.

2. Los componentes del tubo, que están dentro de un cilindro de vidrio en el cual existe vacío, son los siguientes:

- En la parte central se encuentra el cátodo (**K**).
- Internamente el cátodo tiene una resistencia que se denomina filamento; su función es calentar el cátodo (**K**).
- El filamento se alimenta con un voltaje de 6V.
- En torno al cátodo están ubicadas 4 placas, llamadas placas deflectoras; su función es encauzar el haz de electrones que emerge del cátodo.
- (Los elementos antes indicados no se observan a simple vista porque están cubiertos por una placa circular).
- Rodeando completamente al cátodo, se encuentra una lámina en forma de cono, a la que se le da el nombre de ánodo; el ánodo se conecta al borne positivo de la fuente, a un potencial de 100 a 250 V con respecto al cátodo.

3. El cátodo (**K**) al ser calentado por el filamento, emite electrones que son acelerados por la diferencia de potencial existente entre el cátodo y el ánodo (**A**), y se desplazan radialmente hacia el exterior en un haz en forma de abanico, como muestra la figura 3, donde la zona verde corresponde al impacto de los electrones. Su máxima velocidad la alcanzan cuando emergen por detrás de la placa circular central; el resto de su trayectoria hacia el ánodo la hacen a una velocidad casi constante. El ánodo (**A**) está cubierto con una substancia fluorescente que emite luz cuando los electrones chocan contra él. Por otra parte, las placas deflectoras que están cargadas negativamente rechazan a los electrones, dando lugar a una sombra prismática bien definida.

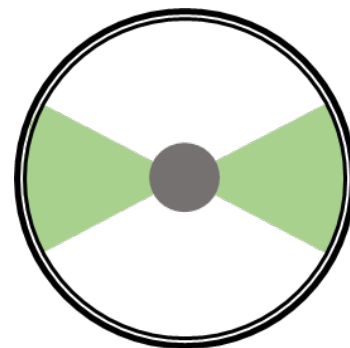


Figura 3: vista superior de la pantalla fosforescente, con campo magnético cero.

4. El tubo de vacío se conecta a una fuente de alimentación adecuada para aplicar los distintos voltajes a los electrodos.
5. Los distintos voltajes aplicados al tubo tiene el siguiente propósito:
  - En **K** se aplica una tensión de 6.3 V c.a. o c.c. para calentar el cátodo emisor de electrones.
  - En la actual configuración del circuito eléctrico del tubo RCA, el voltaje que se mide entre los bornes **D** y **D'** corresponde al voltaje entre cátodo y ánodo, por lo que su medición provee el potencial acelerador.
6. Los voltajes aplicados entre cátodo y ánodo, **D** y **D'**, se miden con un voltímetro de c.c. con alcance de 0-300 V.

### Los voltajes con que se trabaja en esta experiencia son PELIGROSOS

7. La bobina (solenoides) que produce el campo magnético se alimenta con una fuente de c.c. de baja tensión y la corriente se mide con un amperímetro (en la escala de 10 A).
8. Arme el circuito del tubo. No conecte a la tensión sin el visto bueno de un ayudante.
9. Arme el circuito del solenoide de acuerdo al esquema de la figura 4. El solenoide tiene cuatro capas de bobinado de alambre. Con esta información, y midiendo la longitud del solenoide, puede determinar el número  $N$  de vueltas por unidad de longitud.

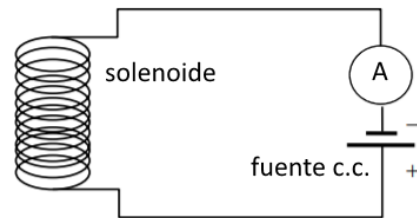


Figura 4: conexión del solenoide.

#### Procedimiento Experimental:

1. Introduzca el tubo en el solenoide y coloque ambos verticalmente sobre la mesa, de tal modo que sea posible observar el tubo por el extremo libre del solenoide.
2. Conecte el circuito del tubo (con visto bueno del ayudante). Ajuste el voltaje alrededor de los 150 V. Observe lo que sucede con la zona de impacto de los electrones. Esta debería aparecer similar a lo que muestra la figura 5.
3. Monte sobre la parte superior del solenoide una cámara digital, la que permitirá que Ud. pueda observar la imagen en el computador. Realice la conexión de la cámara al computador .
4. Encienda el computador e ingrese al software Webcam que maneja la cámara digital. De esta forma la cámara enfocará el haz de electrones a estudiar.

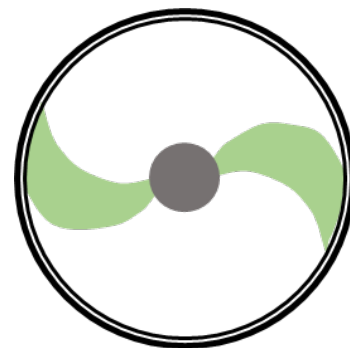


Figura 5: vista superior de la pantalla fosforescente, con campo magnético distinto de cero,  $B \neq 0$ .

5. Conecte el circuito del solenoide, y haga observaciones cualitativas de lo que ve en pantalla. Ubique y seleccione la imagen deseada.
6. Mida cuidadosamente sobre la imagen impresa, con un pie de metro el diámetro de curvatura del haz de electrones. En seguida mida cuidadosamente el diámetro del tubo RCA. Obtenga la escala equivalente.
7. Explíquelo cualitativamente y discuta con sus compañeros y ayudante otro método para medir el radio de curvatura de los bordes de la sombra, que se muestran esquemáticamente en la figura 5.
8. Alternativamente a lo anterior, puede usar un teléfono celular para obtener las imágenes y luego diseñar y aplicar un procedimiento para su análisis.
9. Usando las mediciones hechas y aplicando las expresiones de la teoría, calcule el cociente  $e/m$  para el electrón.

### **Análisis de datos:**

1. Al variar la corriente que circula por el solenoide, ¿cómo cambia el radio de curvatura de los electrones que se observa en la pantalla fosforescente?. Discuta cualitativamente, y en lo posible cuantitativamente, la relación entre el radio de curvatura  $r$  y la corriente  $I$  que circula por el solenoide, que se puede obtener combinando las ecuaciones 6 y 7.
2. Compare el valor obtenido con el valor de tabla:  $e/m = 1,76 \cdot 10^{11}$  C/kg. Discuta la precisión de su medición.
3. Discuta el significado y trascendencia de obtener una medición experimental de  $e/m$  para el electrón.