

GUIA DE TRABAJO PRACTICO DE LABORATORIO DE MEDICIONES.

MEDICIÓN DE LA RELACIÓN e/m

INTRODUCCIÓN.

El aparato de e/m provee un método simple para la medición de la relación e/m del electrón. El método es similar al empleado por J.J. Thomson en 1897. Un haz de electrones es acelerado mediante un potencial conocido, por lo tanto la velocidad del electrón es conocida.

Un par de bobinas Helmholtz produce un campo magnético uniforme y medible formando un ángulo recto con un haz de electrones. Este campo magnético produce una deflexión en el haz de electrones, haciendo que el mismo describa una trayectoria circular.

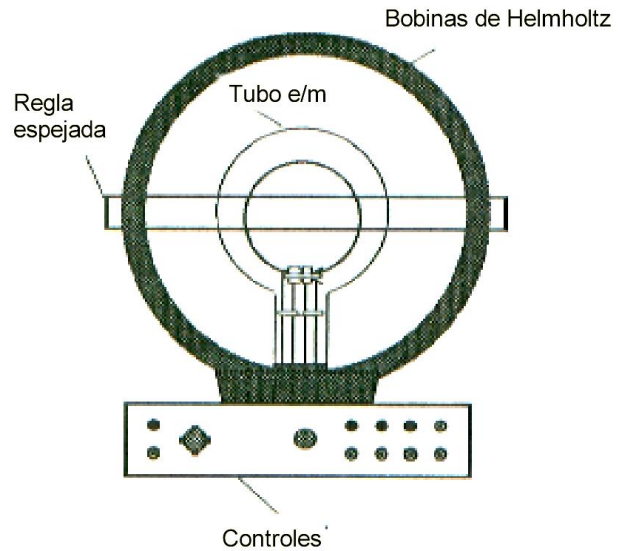


Figura 1: Aparato de e/m.

Mediante la medición del potencial acelerador (V), la corriente en las bobinas de Helmholtz (I), y el radio de la trayectoria circular descrita por el haz de electrones (r), entonces se puede efectuar el cálculo de la relación $e/m = 2V/B^2r^2$.

Usando este mismo aparato es posible demostrar el efecto de un campo eléctrico actuando sobre el haz de electrones, mediante las placas de deflexión que provee el mismo aparato. Esta experiencia no solo sirve para confirmar la carga negativa del electrón, sino además mostrar cómo trabaja el cañón electrónico de un osciloscopio.

Una característica importante del tubo de e/m consiste en que el casquillo de conexión puede rotar, permitiendo de esta manera que el haz de electrones se oriente en cualquier dirección (desde 0° a 90°) con respecto al campo magnético generado por las bobinas de Helmholtz. Por lo tanto podemos rotar el tubo para examinar la naturaleza vectorial de la fuerza magnética sobre el movimiento de partículas cargadas.

Entre los experimentos posibles de llevar a cabo con el aparato e/m, mencionamos por ejemplo: el uso de un pequeño imán permanente en vez de las bobinas del Helmholtz para investigar el efecto del campo magnético sobre un haz de electrones.

ANÁLISIS DE LA MEDICION DE e/m .

La fuerza magnética (F_m) que actúa sobre una partícula cargada de carga q que se mueve con velocidad v en un campo magnético (B) está dada por la ecuación:

$$\mathbf{F}_m = q \mathbf{v} \times \mathbf{B}.$$

En donde \mathbf{F}_m , \mathbf{v} y \mathbf{B} son vectores y \times representa un producto vectorial.

Teniendo en cuenta que el haz de electrones en este experimento es perpendicular al campo magnético la expresión puede ser escrita en forma escalar como:

$$F_m = e v B \quad (1)$$

En donde e es la carga del electrón.

Puesto que los electrones se mueven en un círculo, deben experimentar una fuerza centrípeta de magnitud

$$F_c = mv^2/r \quad (2)$$

En donde m es la masa del electrón, v es su velocidad, y r es el radio del movimiento circular. Ya que la única fuerza que actúa sobre los electrones es aquella causada por el campo magnético, $F_m = F_c$, entonces la ecuación 1 y 2 pueden combinarse para dar

$$evB = mv^2/r, \text{ o bien}$$

$$e/m = v/Br. \quad (3)$$

Por lo tanto, con el objeto de determinar e/m , solo es necesario conocer la velocidad de los electrones, el campo magnético producido por las bobinas Helmholtz, y el radio del haz de electrones.

Los electrones son acelerados a través del potencial V , ganando energía cinética igual a su carga eléctrica multiplicada por el potencial de aceleración. Por lo tanto $eV = \frac{1}{2} mv^2$. La velocidad de los electrones es por lo tanto:

$$v = (2eV/m)^{1/2} \quad (4)$$

El campo magnético producido sobre el eje del par de bobinas Helmholtz puede calcularse aplicando la ley de Biot – Savart. Teniendo en cuenta que la separación entre las bobinas es igual al radio a de cada una de ellas, la expresión de partida para el cálculo resulta la siguiente:

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

Laboratorio de Física III.

En esta última ecuación, x representa la distancia medida desde el centro del par de bobinas. Para calcular el campo en el punto central entre las bobinas se toma $x = 0$ [m]. Luego, operando con la ecuación se llega al siguiente resultado:

$$B = \frac{[N\mu_0]I}{(5/4)^{3/2} a} \tag{5}$$

Las ecuaciones 4 y 5 pueden introducirse en la ecuación 3 para obtener:

$$e/m = v/Br = \frac{2V(5/4)^3 a^2}{(N\mu_0 I r)^2} \tag{6}$$

En donde:

V = potencial de aceleración [V]

a = el radio de la bobinas Helmholtz [m]

N = el número de vueltas en cada bobina Helmholtz = 130

μ_0 = constante de permeabilidad = $4 \pi \times 10^{-7}$ [Wb/ Am]

I = la corriente a través de las bobinas Helmholtz [A]

r = el radio de la trayectoria del haz de electrones [m]

EQUIPAMIENTO

El tubo e/m: El tubo e/m (ver figura 2) posee en su interior helio a una presión de 10^{-2} mm hg, y posee placas de deflexión y disparo de electrones. El haz de electrones deja una estela visible en el tubo, debido a que algunos electrones colisionan con los átomos de helio, los cuales al ser excitados emiten luz visible.

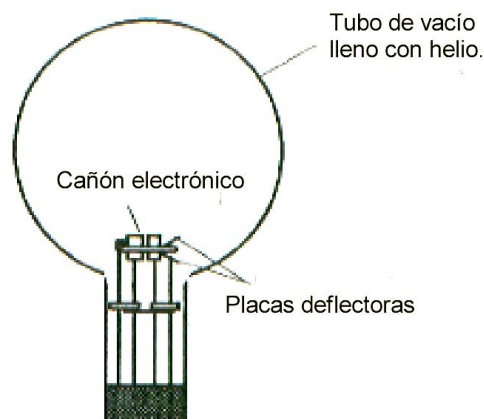


Figura 2: Tubo e/m

En la figura 3 se visualiza la forma en la cual se generan los electrones. El cátodo es excitado térmicamente, lo cual, por efecto termoiónico, produce la emisión de electrones. Los electrones son acelerados mediante un potencial aplicado entre el cátodo y el ánodo. La grilla se mantiene positiva con respecto al cátodo y negativa con respecto al ánodo. Esto ayuda a focalizar el haz de electrones.

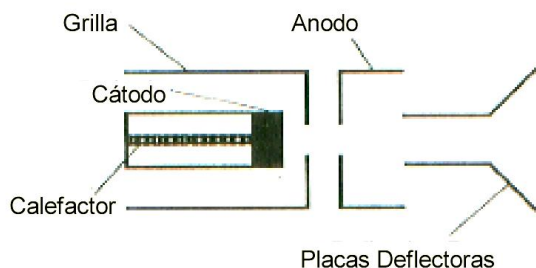


Figura 3: Cañón Electrónico

Se debe tomar la siguiente precaución: el calefactor que excita térmicamente al cátodo, no debería exceder los 6.3 volts. Voltajes superiores calentarán en sobre manera al filamento produciendo la destrucción del tubo de e/m.

Las bobinas de Helmholtz: La geometría de las bobinas de Helmholtz es tal que el radio de las bobinas es igual a la separación entre ellas y producen un campo magnético altamente uniforme. Las bobinas de Helmholtz del aparato e/m tienen un radio y una separación $a = 15$ cm. Cada bobina posee 130 vueltas. El campo magnético (B) producido por las bobinas es proporcional a la corriente que circula a través de las mismas (I) veces 7.8×10^{-4} tesla/ampere [B (tesla) = $(7.8 \times 10^{-4}) I$].

Los controles: El panel de control del aparato e/m es de fácil acceso, es decir todas las conexiones están rotuladas.

Cubierta de tela: Se dispone de una cubierta de tela gruesa de modo de efectuar el experimento aun en ambientes iluminados.

Regla espejada: La regla espejada se coloca en la parte trasera de las bobinas de Helmholtz. Se ilumina automáticamente cuando el calefactor del cañón electrónico está encendido. Alineando el haz de electrones con su reflejo en la regla graduada, podemos medir el radio del haz sin error de paralaje.

Cañón de Electrones (Voltajes de operación):

Calefactor:	6,3 VAC o VDC.
Electrodos:	150 a 300 VDC
Bobinas de Helmholtz:	6 a 9 VDC (El riple debe ser menor que el 1%)

Equipamiento Adicional:

Fuente de alimentación desde 3 a 9 VDC a 3 A (con riple <1%) para las bobinas de Helmholtz.

Fuente de alimentación de 6,3 VDC o VAC para el filamento.

Potencial de aceleración de 150 a 300 VDC.

Amperímetro con rango de 0 a 2 A para medir la corriente de las bobinas de Helmholtz.

Voltímetro con rango de 0 a 300 V para medir el potencial acelerador.

OPERACIÓN

1. Si se está trabajando en un ambiente iluminado coloque la cubierta sobre el aparato de e/m.
2. Coloque la llave selectora en la posición e/m MEASURE. (Medición de e/m)
3. Gire la perilla de control de corriente de las bobinas de Helmholtz a la posición OFF.

Laboratorio de Física III.

4. Conecte las fuentes de alimentación e instrumentos en el panel frontal del aparato de e/m. Tal como se muestra en la figura 4. Para comenzar las fuentes de alimentación variable deben estar en 0 V.
5. Antes de conectar la fuente de alimentación del calefactor, revisar que el voltaje no exceda los 6,3 V, tal como se indica en la figura 4.

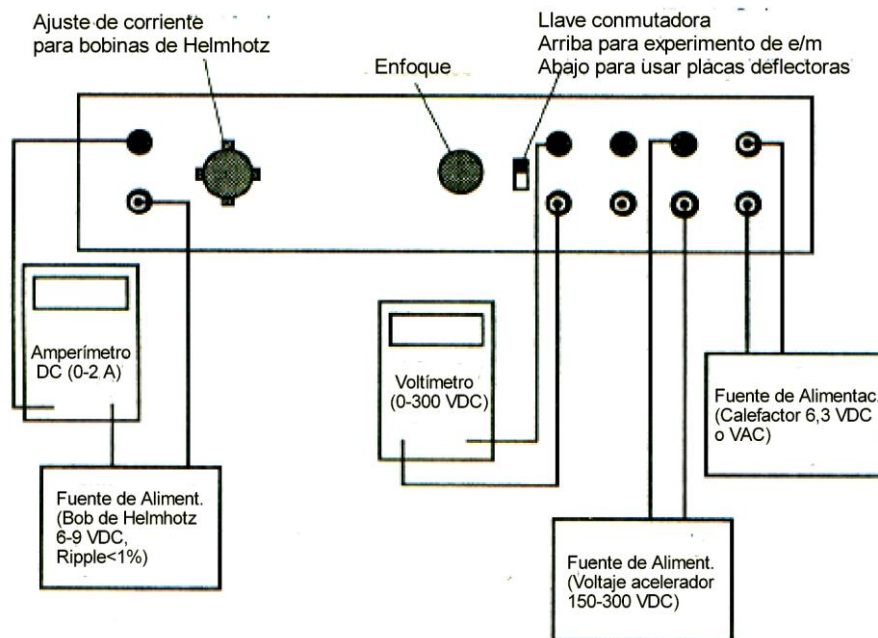


Figura 4: Conexiones para el experimento de e/m

PRECAUCION. El voltaje del calefactor del cañón de electrones nunca debe exceder de 6,3 V. Un voltaje superior podría quemar el filamento y destruir el tubo de e/m

6. Una vez que se observa encendido el filamento del calefactor aplicar el voltaje acelerador (alta tensión DC) procurando no exceder el rango indicado (300 VDC). Deberá observarse un tenue haz recto de color azul.
7. Luego gire lentamente la perilla de ajuste de corriente de las bobinas de Helmholtz en el sentido de las agujas del reloj. Observe el amperímetro teniendo cuidado de que la corriente no exceda de 2 A.
8. En este punto el haz de electrones, originalmente recto, que emerge del cañón electrónico, se curva debido al campo de las bobinas de Helmholtz. Ajustar la corriente en las bobinas de Helmholtz hasta que el haz curvo forme un círculo cerrado.
9. Verifique que el haz de electrones es paralelo a las bobinas de Helmholtz. Si no lo es, rote el tubo hasta que lo sea sin quitarlo de su zócalo de conexión, el tubo debe permanecer conectado.
10. Lea en el amperímetro la corriente por las bobinas de Helmholtz, y en el voltímetro el potencial acelerador. Registre estos valores. Mida cuidadosamente el radio del haz de electrones mirando a través del tubo y superponiendo el haz de electrones con su reflejo en la regla espejada. Mida el radio del haz y registre la lectura.

Laboratorio de Física III.

11. Utilizando la ecuación (6) calcule la relación e/m , luego realice la propagación de errores del resultado.
12. Efectúe una serie de mediciones repitiendo los puntos 6 al 11 y presente los resultados en una tabla en un informe que refleje todo el proceso. En este informe haga un análisis crítico de lo efectuado

Otros experimentos posibles.

DEFLEXIÓN DE LOS ELECTRONES EN UN CAMPO ELECTRICO.

IMPORTANTE: No deje el haz encendido por períodos prolongado de tiempo en este modo. El haz finalmente atravesará las paredes de vidrio del tubo.

Se pueden usar las placas de deflexión para demostrar cómo el haz de electrones es desviado por un campo eléctrico.

1. La puesta a punto del equipo se lleva a cabo según lo descrito anteriormente para la medición de e/m excepto en lo siguiente:
 - a. Ubique la llave conmutadora en la posición ELECTRICAL DEFLECT.
 - b. No suministre corriente a las bobinas Helmholtz.
 - c. Conecte una fuente de 0-50 VDC entre los conectores banana rotulados DEFLECT PLATES (UPPER and LOWER).
2. Aplique un voltaje de 6.3VDC o VAC al calentador (HEATER) y 150-300 VDC a los electrodos (ELECTRODES) del cañón de electrones (ELECTRON GUN) (potencial de aceleración). Espere varios minutos hasta que el cátodo alcance una determinada temperatura.
3. Cuando aparece el haz de electrones, en forma lenta incremente el voltaje de los placas de deflexión desde 0V a aproximadamente 50VDC. Note la deflexión del haz de electrones. Note que el haz está dirigido hacia la placa cargada positivamente.

DOS DEMOSTRACIONES SIMPLES

1. En vez de usar las bobinas de Helmholtz para dirigir el haz de electrones, se puede usar un imán permanente para demostrar el efecto del campo magnético sobre el haz de electrones. Solo suministre el siguiente voltaje al aparato de e/m :
HEATER: 6.3 VAC o VDC
ELECTRON GUN ELECTRODES: 150-300 VDC
Cuando aparezca el haz de electrones, use su imán permanente para dirigir el haz.
2. Como el soporte para el tubo e/m esta diseñado de tal manera que el tubo pueda rotar 90° . Entonces el tubo puede orientarse con cualquier ángulo entre $0-90^\circ$, con respecto al campo magnético producido por las bobinas Helmholtz. Mediante la puesta a punto del equipamiento para la medición de e/m , se puede rotar el tubo y llevar a cabo el estudio de la forma en que el haz deflectado es afectado.