

Cálculo aproximado de la carga específica del electrón

Fundamento

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.

Cuando una carga eléctrica se mueve en el seno de un campo magnético experimenta una fuerza perpendicular al campo \vec{B} y al vector velocidad \vec{v} . Esta fuerza cumple la relación vectorial $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$, y 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:

$$|q|vB = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow \frac{|q|}{m} = \frac{v}{BR} \quad (1)$$

De donde se puede determinar la relación $\frac{|q|}{m}$ 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 en el campo magnético.

El dispositivo experimental donde se producen los electrones está representado en la fotografía de la figura 1.

La ampolla de vidrio contiene gas hidrógeno 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.

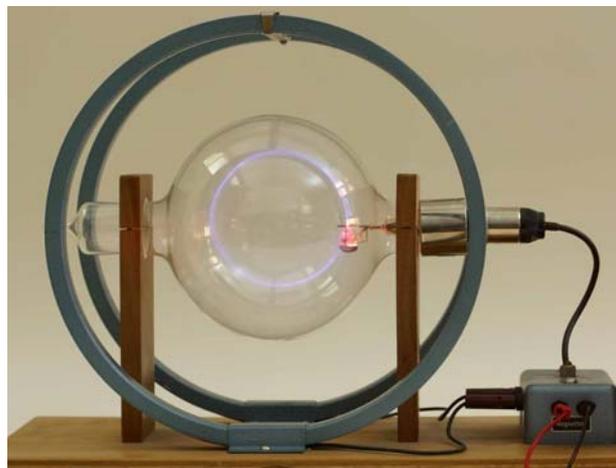


Fig.1

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.

El dispositivo experimental, es el de la fotografía de la figura 2, lleva incorporados, además de la citada ampolla de vidrio con gas hidrógeno y las bobinas de Helmholtz, una fuente de alimentación de 6,3 V cuya misión es calentar el filamento metálico que

produce los electrones, otra fuente de tensión de varias centenas de voltios cuya misión es comunicar una velocidad elevada a los electrones, y otra fuente que debe suministrar corriente, del orden de los amperios, a las bobinas de Helmholtz, todo acompañado de un amperímetro y un voltímetro. El amperímetro mide la intensidad de la corriente que recorre las bobinas y el voltímetro la diferencia de potencial que permite acelerar a los electrones.

En el dispositivo se ha colocado una regla graduada en milímetros cuya misión es medir el radio de la trayectoria circular descrita por los electrones.

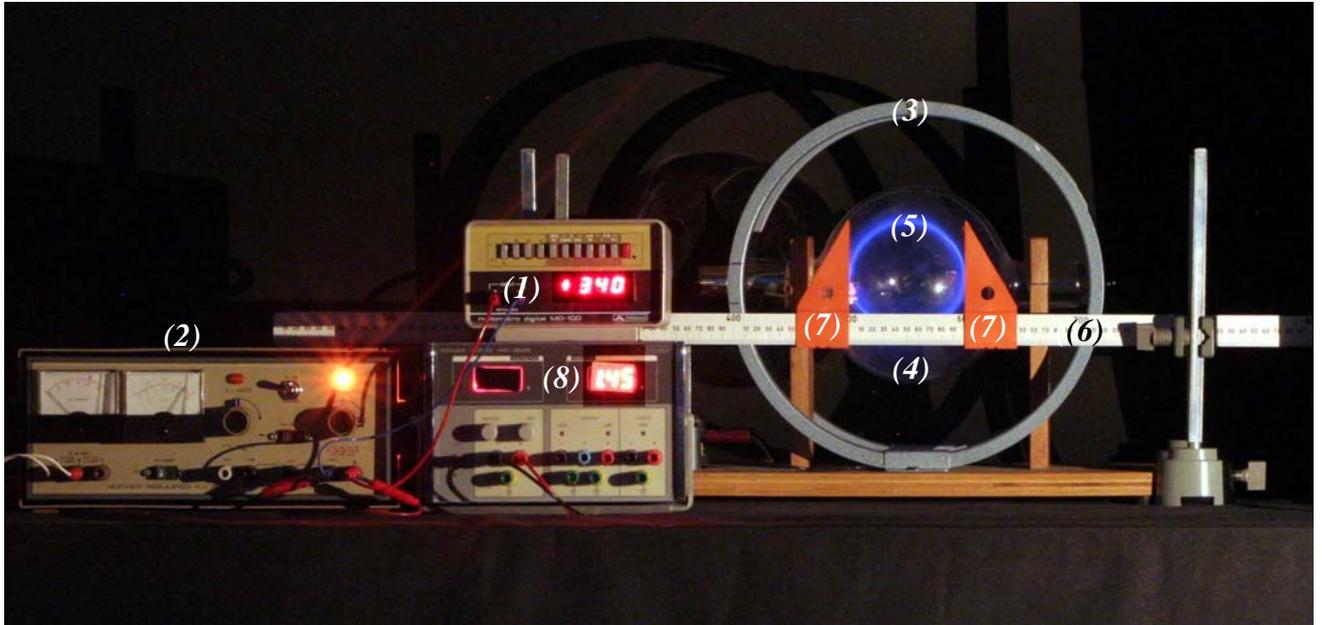


Fig.2.- 1) Voltímetro que mide la tensión V_A , 2) Fuentes de alimentación, 3) Bobinas de Helmholtz, 4) Ampolla de vidrio, 5) Trayectoria circular de los electrones, la cual se encuentra en el interior de la ampolla vidrio, 6) regla graduada en milímetros, 7) Índices sobre la regla, que permiten medir el diámetro de la trayectoria, 8) Amperímetro

La ecuación [1] vamos a escribirla de forma más explícita, para que resulte más útil en nuestro experimento. Si V_A es el potencial acelerador:

$$\frac{1}{2}mv^2 = |q|V_A$$

Teniendo en cuenta que 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:

$$\frac{1}{2}m \left(\frac{|q|BR}{m} \right)^2 = \frac{1}{2}m \frac{k^2 |q|^2 I^2 R^2}{m^2} = |q|V_A \Rightarrow V_A = \frac{k^2 |q| R^2}{2m} I^2 \quad (2)$$

El procedimiento experimental que se utiliza, es variar V_A e I , logrando para cada par de valores de estas magnitudes, que el radio de la circunferencia descrita por los electrones sea siempre el mismo, $R = 5 \text{ cm}$. De este modo al representar en el eje de abscisas I^2 al cuadrado frente a V_A en el de ordenadas, se obtiene una línea recta cuya pendiente vale

$$Pendiente = \frac{|q| k^2 R^2}{m \cdot 2}$$

De esa pendiente se puede calcular la carga específica del electrón $\frac{|q|}{m}$, siempre que se conozca el valor k , el cual es característico de las bobinas empleadas; k depende del radio de las bobinas, del número de espiras y de la distancia entre ellas. La relación de k con esas magnitudes se puede encontrar en los libros de Electromagnetismo y es un valor que suministra el fabricante.

En nuestro experimento $k = 7,54 \cdot 10^{-4} \frac{T}{A}$

La forma de operar en es la siguiente:

- a) Después 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 V_A
- c) Se introduce corriente en las bobinas de Helmholtz

Se obtienen pares de valores de V_A e I con la condición de que en todos los casos el radio de la trayectoria descrita por los electrones sea $R = 5 \text{ cm}$.

Medidas

Teniendo en cuenta que siempre se mantiene constante el radio de la trayectoria, en la fotografía de la figura 2 se observa todo el montaje, pero con la finalidad de no repetir la misma fotografía y dado que lo que interesa son las medidas de V_A e I , se ha confeccionado una tabla con todos los valores experimentales.

Tabla 1

Voltaje, V_A/V	Intensidad I/A	I^2/A^2
192	1,00	
208	1,05	
220	1,10	
234	1,15	
252	1,20	
270	1,25	
287	1,30	
300	1,35	
315	1,40	
335	1,45	
355	1,50	

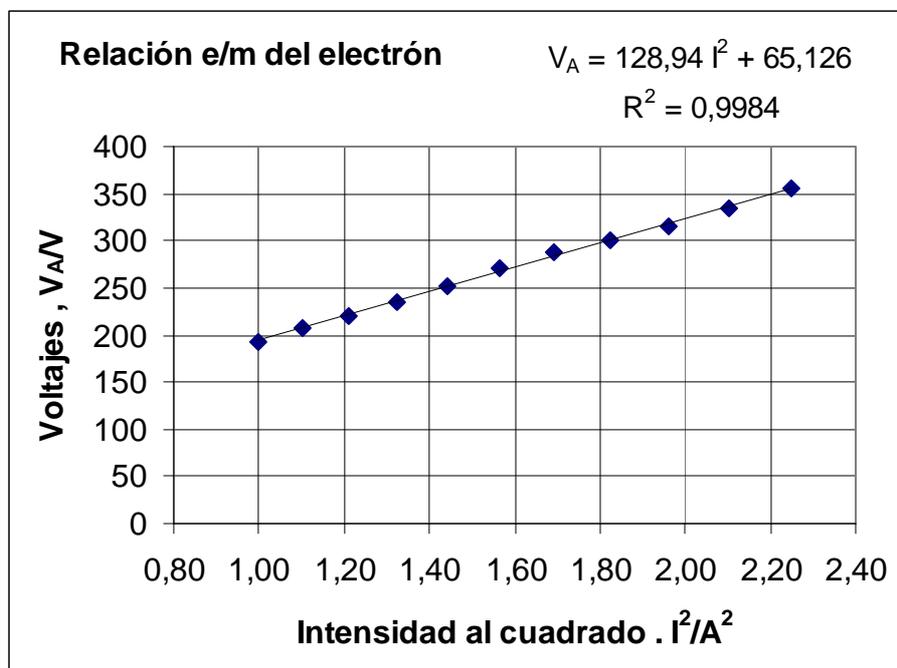
Solucionario

Tabla 1

Voltaje, V_A/V	Intensidad I/A	I^2/A^2
192	1,00	1,00
208	1,05	1,10
220	1,10	1,21
234	1,15	1,32
252	1,20	1,44
270	1,25	1,56
287	1,30	1,69
300	1,35	1,82
315	1,40	1,96
335	1,45	2,10
355	1,50	2,25

Gráficas

a) 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 $1,73 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$. Calcule el error cometido en el experimento.



$$128,94 = \frac{q}{m} \frac{k^2 R^2}{2} \Rightarrow \frac{q}{m} = \frac{2 * 128,94}{(7,54 \cdot 10^{-4})^2 * (5 \cdot 10^{-2})^2} = 1,81 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$$

$$\frac{1,81 \cdot 10^{11} - 1,73 \cdot 10^{11}}{1,73 \cdot 10^{11}} * 100 \approx 5\%$$

b) Ahora se intenta determinar la incertidumbre que acompaña a nuestro resultado experimental y para ello debemos estimar las incertidumbres con que aparecen los valores experimentales del voltaje, intensidad y radio de la trayectoria que son los siguientes:

V_A en $\pm 2 \text{ V}$, I en $\pm 0,1 \text{ A}$. y R en $\pm 2 \text{ mm}$.

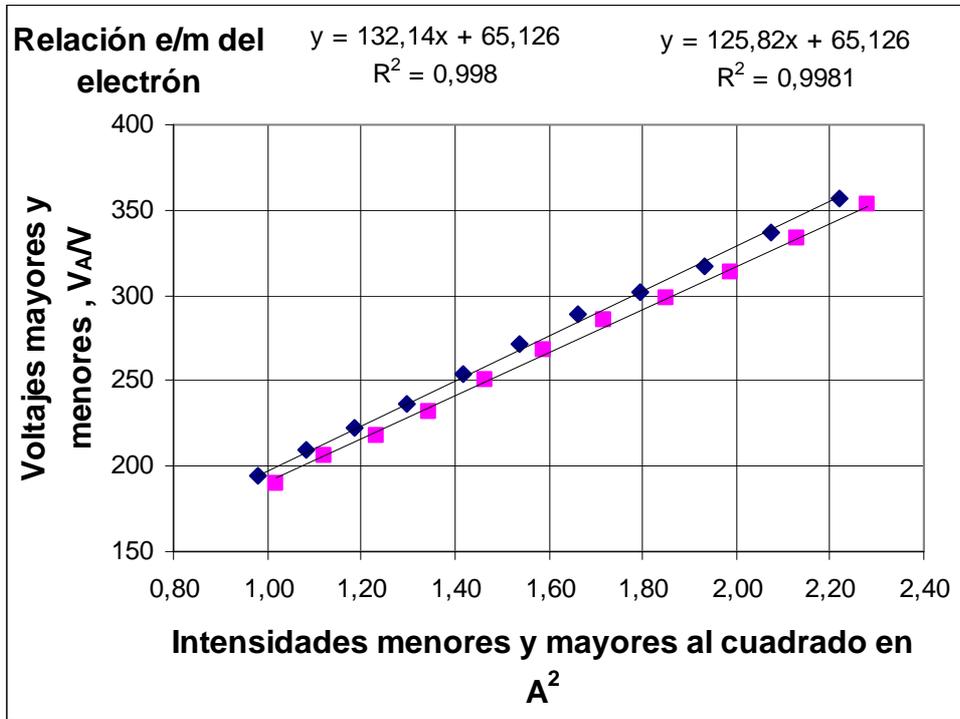
Confeccione la tabla 2

Tabla 2

V_A mayores V_A/V	V_A menores V_A/V	I mayores I/A	I menores I/A	I^2 mayores I_{mayor}^2 / A^2	I^2 menores I_{maenor}^2 / A^2
194	190	1,01	0,99	1,02	0,98
210	206	1,06	1,04	1,12	1,08
222	218	1,11	1,09	1,23	1,19
236	232	1,16	1,14	1,35	1,30
254	250	1,21	1,19	1,46	1,42
272	268	1,26	1,24	1,59	1,54
289	285	1,31	1,29	1,72	1,66
302	298	1,36	1,34	1,85	1,80
317	313	1,41	1,39	1,99	1,93
337	333	1,46	1,44	2,13	2,07
357	353	1,51	1,49	2,28	2,22

Represente en una misma gráfica V_A mayores frente a I^2 menores y V_A menores frente a I^2 mayores. Determine las pendientes de ambas rectas. Para ello obligue a que la ordenada en el origen de las dos rectas sea el mismo valor que el obtenido en el apartado a) y dé como valor de la pendiente la media aritmética de los dos valores anteriores acompañados de sus incertidumbres.

Determine la carga específica del electrón con su incertidumbre a partir de la pendiente anterior y del radio.



$$\frac{132,14 + 125,82}{2} = 128,98 \Rightarrow \text{Pendiente} = 129 \pm 4$$

$$129 \pm 4 = \frac{q}{m} \frac{k^2 R^2}{2} \Rightarrow \frac{q}{m} = \frac{2 * 129 \pm 4}{(7,54 \cdot 10^{-4})^2 * [(5,00 \pm 0,02) \cdot 10^{-2}]^2} = 1,82 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$$

Error relativos: $\frac{4}{129} * 100 = 3,1 \%$; $\frac{0,2}{5,0} * 100 = 4 \%$

Error relativo de la relación q/m = 3,1 % + 4 % + 4 % = 11,1 %

El 11,1 % de 1,82 es 0,2

$$\frac{q}{m} = (1,8 \pm 0,2) \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$$