

## Determinación de la carga específica del electrón

### Objetivos del experimento

- Estudio de la desviación de los electrones dentro de un campo magnético en una órbita circular.
- Determinación del campo magnético  $B$  en función del potencial de aceleración  $U$  de los electrones a un radio constante  $r$ .
- Determinación de la carga específica del electrón.

### Principios

Es difícil hallar la masa  $m_e$  del electrón en forma experimental. Es más fácil determinar la carga específica del electrón.

$$\varepsilon = \frac{e}{m_e} \quad (I),$$

de donde se puede calcular la masa  $m_e$  si se conoce la carga elemental  $e$ :

Un electrón que se mueve a una velocidad  $v$  en forma perpendicular al campo magnético homogéneo  $B$ , está sujeto a la fuerza de Lorentz

$$F = e \cdot v \cdot B \quad (II)$$

la cual es perpendicular a la velocidad y al campo magnético. Como una fuerza centrípeta

$$F = m_e \cdot \frac{v^2}{r} \quad (III)$$

fuerza al electrón a describir una órbita de radio  $r$  (Ver Fig. 1), por lo tanto

$$\frac{e}{m_e} = \frac{v}{r \cdot B} \quad (IV).$$

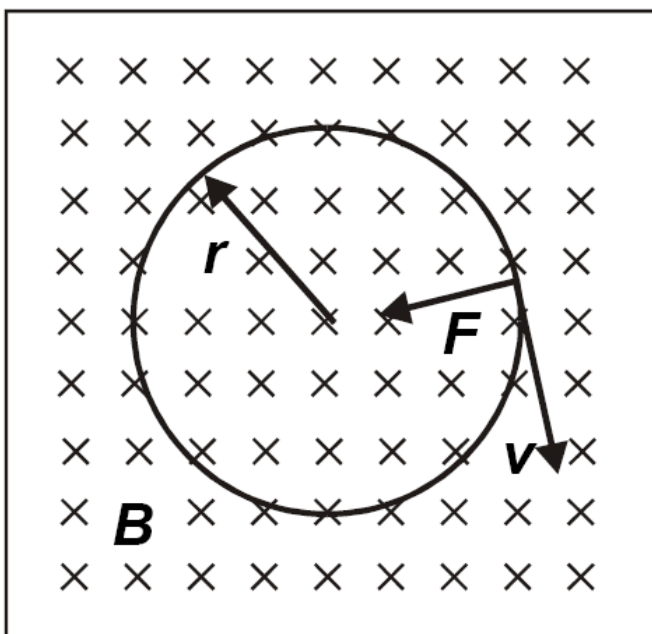
En el experimento, los electrones son acelerados en un tubo de rayo electrónico filiforme por el potencial  $U$ . La energía cinética resultante es

$$e \cdot U = \frac{m_e}{2} \cdot v^2 \quad (V).$$

Por ende, la carga específica del electrón es

$$\frac{e}{m_e} = \frac{2 \cdot U}{(r \cdot B)^2} \quad (VI).$$

Fig. 1 Desviación de electrones dentro de un campo magnético  $B$  debida a la fuerza de Lorentz  $F$  en una órbita circular de un radio específico  $r$ .



**Materiales**

1 tubo de de rayo electrónico filiforme	555 571
1 bobina de Helmholtz con soporte y dispositivo de medición	555 581
1 fuente de alimentación de CC de 0 ... 500 V	521 65
1 fuente de alimentación de CC de 0 ... 20 V	521 54
1 voltímetro, CC, $U \leq 300$ V por ejemplo:	531 100
1 amperímetro, CC, $I \leq 3$ A por ejemplo:	531 100
1 cinta métrica de acero, 2 m	311 77
3 cables de seguridad, 25 cm	500 614
3 cables de seguridad, 50 cm	500 624
7 cables de seguridad, 100 cm	500 644
<i>Se recomienda adicionalmente:</i>	
1 teslámetro	516 62
1 sonda axial B	516 61
1 cable de unión de 6 polos, de 1,5 m de largo	501 16

**Notas de seguridad**

Atención: El tubo de rayo electrónico filiforme necesita peligrosos niveles de tensión de contacto de hasta 300 V para acelerar los electrones. Otras tensiones que están conectadas con esta peligrosa tensión de contacto también representan riesgo de contacto. Por lo tanto, habrá peligrosas tensiones de contacto en el panel de conexiones del soporte y en las bobinas de Helmholtz cuando el tubo de rayo electrónico filiforme esté en funcionamiento.

- Utilice únicamente cables de seguridad para conectar el panel de conexiones.
- Asegúrese siempre de apagar todas las fuentes de alimentación antes de conectar y modificar el montaje del experimento.
- No encienda las fuentes de alimentación hasta que haya terminado de ensamblar el circuito.
- No toque el montaje del experimento, en particular las bobinas de Helmholtz, mientras se encuentren en funcionamiento.

Peligro de implosiones: El tubo de rayo electrónico filiforme es un recipiente de vidrio al vacío con paredes delgadas.

- No someta el tubo de rayo electrónico filiforme a esfuerzos mecánicos.
- Opere el tubo de rayo electrónico filiforme sólo dentro del soporte (555 581)
- Conecte el enchufe de 6 polos del soporte con cuidado a la base de vidrio.
- Lea la hoja de instrucciones provista con el tubo de rayo electrónico filiforme.

El tubo de rayo electrónico filiforme contiene moléculas de hidrógeno a baja presión, las cuales emiten luz al colisionar con los electrones. Esto hace que la órbita de los electrones sea visible indirectamente, y que se pueda medir directamente el radio  $r$  de la órbita con una regla.

El campo magnético  $B$  es generado por un par de bobinas de Helmholtz y es proporcional a la corriente  $I$  en las bobinas de Helmholtz:

$$B = k \cdot I \quad (\text{VII})$$

Luego de reformular las ecuaciones (VI) y (VII) obtenemos la dependencia de la corriente  $I$  respecto del potencial de aceleración  $U$ , en el campo magnético cuyo radio orbital  $r$  de los electrones se mantiene a un valor constante.

$$U = \frac{e}{m_e} \cdot \frac{1}{2} \cdot r^2 \cdot k^2 \cdot I^2 \quad (\text{VIII})$$

El factor de proporcionalidad

$$k = \mu_0 \cdot \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{n}{R} \quad (\text{IX})$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$ : constante de campo magnético

se puede calcular ya sea a partir del radio de la bobina  $R = 150$  mm y el factor de bobinado  $n = 130$  por bobina, o se puede determinar registrando una curva de calibración  $B = f(I)$ . Ahora todos los factores determinantes para calcular la carga específica del electrón son conocidos.

**Montaje**

*Nota:*

*Realice las mediciones en una cámara oscura.*

*Las bobinas de Helmholtz sólo se pueden cargar con más de 2 A por un periodo de tiempo reducido.*

La Fig. 2 muestra el montaje del experimento para determinar la carga específica del electrón, y la Fig. 3 muestra la conexión eléctrica.

- Desconecte la fuente de alimentación y gire todos los potenciómetros giratorios hacia la izquierda hasta el tope.
- Conecte el terminal de entrada de 6,3 V del tubo de rayo electrónico filiforme a la salida de 6,3 V de la fuente de alimentación de CC.
- Puentee el polo positivo de la salida de 50 V de la fuente de alimentación de CC con el polo negativo de la salida de 500 V y conéctelo en el enchufe hembra “-“ del tubo de rayo electrónico filiforme (cátodo).
- Conecte el enchufe hembra “+“ del tubo de rayo electrónico filiforme (ánodo) al polo positivo de la salida de 500 V, el enchufe hembra W (cilindro de Wehnelt) con el polo negativo de la salida de 50 V.
- Para medir el potencial de aceleración  $U$ , conecte el voltímetro (rango de medición 300 V-) a la salida de 500 V.
- Puentee las placas desviadoras del tubo de rayo electrónico filiforme con el ánodo.
- Conecte la fuente de alimentación de CC y el amperímetro (rango de medición 3 A-) en serie con las bobinas de Helmholtz.

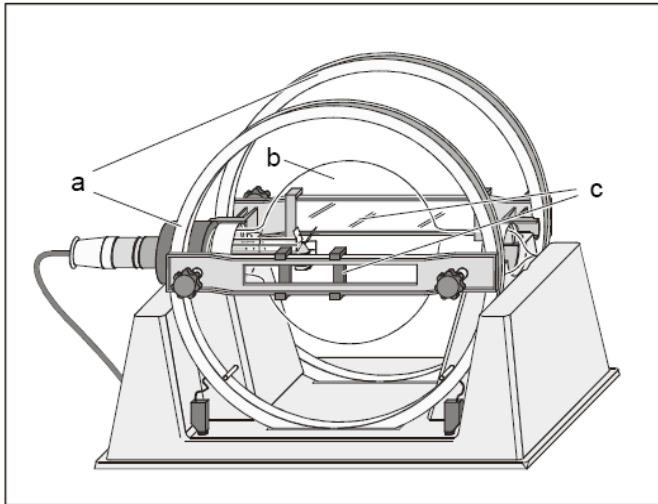
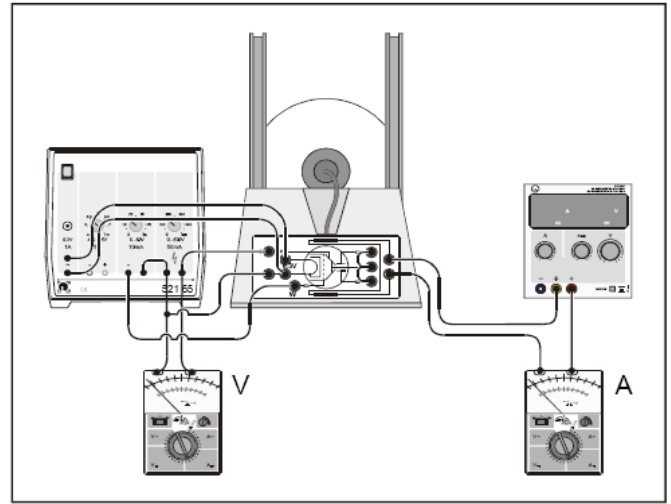


Fig. 2 Montaje del experimento para determinar la carga específica del electrón.

- a Bobinas de Helmholtz
- b Tubo de rayo electrónico filiforme
- c Dispositivo de medición

Fig. 3 Conexión eléctrica



### Realización del experimento

- Mueva la corredera izquierda del dispositivo de medición de modo que el borde interior, la imagen especular y la abertura de escape del rayo de electrones se encuentren en una línea de visión.
  - Ajuste la corredera derecha de modo que ambos bordes internos estén separados 8 cm.
  - Visualice el borde interno de la corredera derecha, alínelo con su imagen espejo y ajuste la corriente  $I$  de la bobina hasta que el rayo de electrones corra tangencialmente a lo largo del borde de la corredera cubriendo la imagen espejo (ver Fig. 4).
  - Reduzca el potencial de aceleración  $U$  en pasos de 10 V a 200 V y seleccione una corriente de bobina  $I$  de modo tal que la órbita del rayo de electrones tenga un diámetro de 8 cm.
  - Registre el potencial de aceleración  $U$  y la corriente de bobina  $I$ .
- Encienda la fuente de alimentación de CC y ajuste el potencial de aceleración  $U = 300$  V.  
La emisión termoiónica comienza luego de unos minutos de calentamiento.
  - Optimice el enfoque del rayo de electrones variando la tensión en el cilindro de Wehnelt de 0 a 10 V hasta que consiga un rayo angosto y bien definido con clara definición de bordes.
  - Conecte la fuente de alimentación de CC de las bobinas de Helmholtz y busque el valor de corriente  $I$  para el que la desviación del rayo de electrones describa una órbita cerrada.

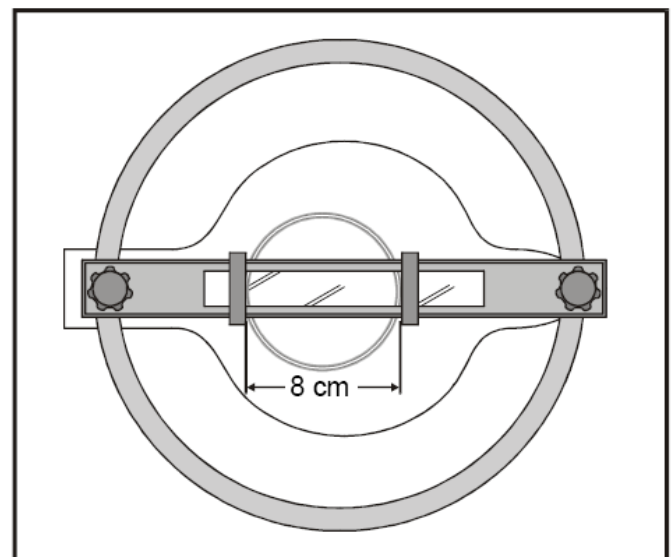
Si luego de abandonar el ánodo, el rayo de electrones se desvía para el lado equivocado (izquierdo):

- desconecte ambas fuentes de alimentación.
- intercambie las conexiones de la fuente de alimentación de CC para cambiar la polarización del campo magnético.

Si los electrones no describen una órbita cerrada sino una línea curva helicoidal:

- Afloje los tornillos de sujeción de ambas abrazaderas (lea el manual de información del tubo de rayo electrónico filiforme).
- Gire cuidadosamente el tubo de rayo electrónico filiforme sobre su eje longitudinal hasta que el rayo de electrones describa una órbita circular cerrada.
- Ajuste los tornillos de sujeción.

Fig. 4 Medición del diámetro de la órbita con el dispositivo de medición



**Calibración del campo magnético de Helmholtz (opcional):**

La Fig. 5 muestra el montaje para calibrar el campo magnético. Para realizar las mediciones se necesitarán los dispositivos adicionales recomendados más arriba.

- Si corresponde, desconecte todas las fuentes de alimentación.
- Retire el dispositivo de medición y la bobina de Helmholtz de la parte delantera, afloje la conexión al tubo de rayo electrónico filiforme y los tornillos de montaje de las dos abrazaderas (lea las instrucciones del tubo de rayo electrónico filiforme).
- Quite cuidadosamente el tubo de rayo electrónico filiforme y colóquelo, por ejemplo, en su estuche original.
- Vuelva a ensamblar la bobina de Helmholtz de la parte delantera y conecte.
- Conecte la sonda axial B al Teslámetro (rango de medición 20 mT) y calibre el punto cero (vea el manual de instrucciones del Teslámetro).
- Mueva la sonda axial B en forma paralela al campo magnético de las bobinas de Helmholtz hacia el centro del par de bobinas.
- Aumente la corriente de bobina  $I$  de 0 a 3 A en pasos de 0,5 A, mida el campo magnético  $B$  y registre los valores de las mediciones.

Una vez concluida la calibración:

- Vuelva a ensamblar el tubo de rayo electrónico filiforme de acuerdo con las instrucciones.

**Ejemplo de medición**

Tabla 1: Corriente de bobina  $I$  en función del potencial de aceleración  $U$  a un radio de órbita constante  $r = 0,04$  m.

$\frac{U}{V}$	$\frac{I}{A}$
300	2,15
290	2,10
280	2,07
270	2,03
260	2,00
250	1,97
240	1,91
230	1,88
220	1,83
210	1,79
200	1,75

Tabla 2: Campo magnético  $B$  de las bobinas de Helmholtz en función de la corriente de bobina  $I$  (esta medición requiere de los dispositivos adicionales mencionados más arriba).

$\frac{I}{A}$	$\frac{B}{mT}$
0,5	0,35
1,0	0,65
1,5	0,98
2,0	1,34
2,5	1,62
3,0	2,05

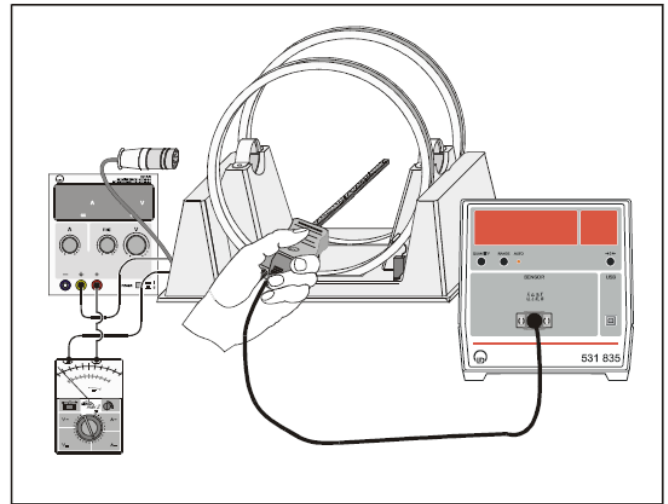


Fig. 5 Montaje para la calibración del campo magnético de Helmholtz

**Evaluación y resultados**

La Fig. 6 muestra los valores de mediciones de la Tabla 1 en su forma lineal  $U = f(I^2)$  – según (VIII). La pendiente de la línea resultante a través del origen es

$$\alpha = 65,3 \text{ V A}^{-2}.$$

Según la ecuación (VIII), la carga específica del electrón es

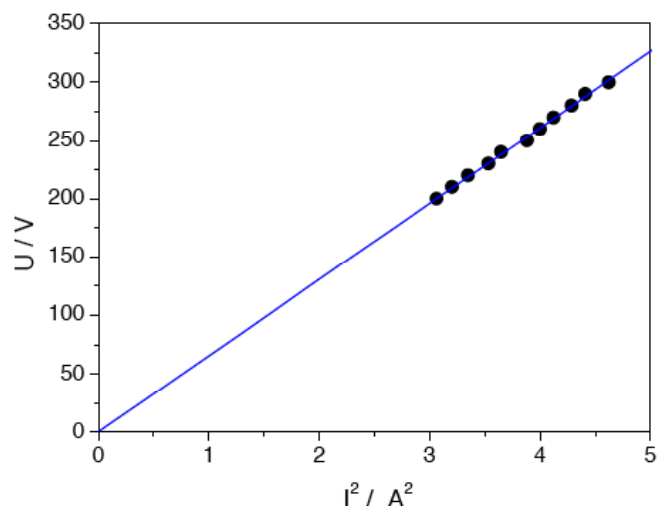
$$\frac{e}{m_e} = \frac{2 \cdot \alpha}{r^2 \cdot k^2}$$

Por lo tanto, para seguir evaluando se necesita el factor de proporcionalidad  $k$ .

Si los haces luminosos inciden perpendicularmente ( $\alpha = \beta$ ), se reflejan sobre sí mismos.

Si los haces luminosos inciden en forma oblicua, se reflejan en otras direcciones, pero permanecen paralelos.

Fig. 6 Presentación de los resultados de medición de la Tabla 1



**Determinación del factor de proporcionalidad  $k$  a partir de la calibración del campo magnético de Helmholtz:**

El ajuste de los valores de medición de la Tabla 2 a una línea recta que pasa por el origen nos da como resultado:

$$k = 0,67 \text{ mT A}^{-1}$$

y luego

$$\frac{e}{m_e} = 1,8 \cdot 10^{11} \frac{\text{As}}{\text{kg}}$$

**Cálculo del factor de proporcionalidad  $k$ :**

Usando (IX) se puede calcular

$$k = 0,78 \text{ mT A}^{-1}$$

y luego

$$\frac{e}{m_e} = 1,3 \cdot 10^{11} \frac{\text{As}}{\text{kg}}$$

**Valor documentado:**

$$\frac{e}{m_e} = 1,76 \cdot 10^{11} \frac{\text{As}}{\text{kg}}$$

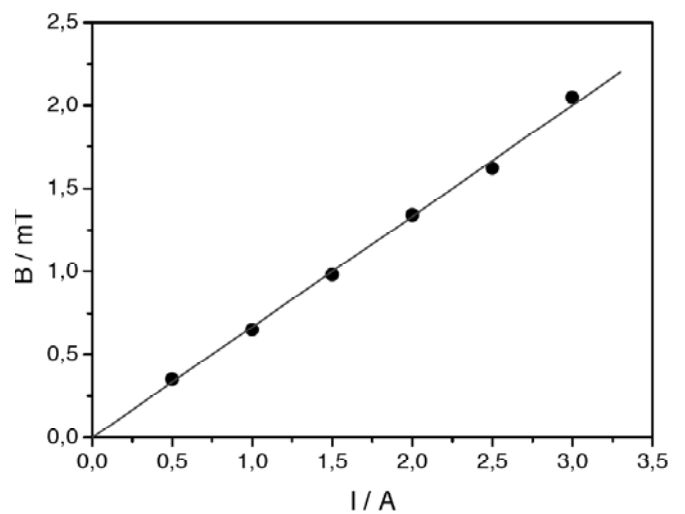


Fig. 7 Curva de calibración para el campo magnético de las bobinas de Helmholtz