

Determinación de la carga específica del electrón (e/m)

Física Experimental IV – 2019

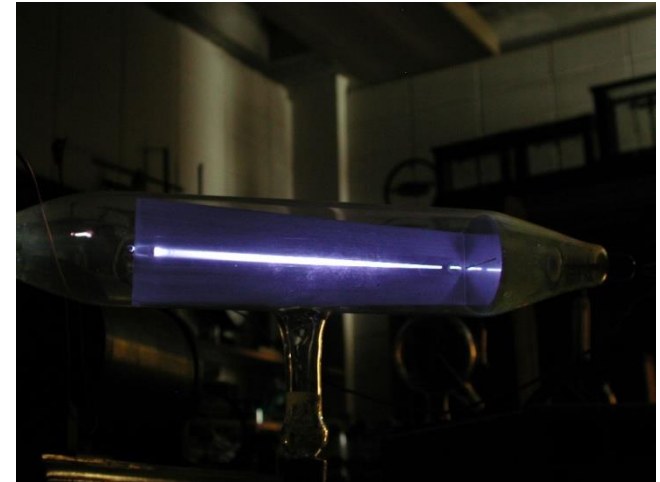
José M. Ramallo López

Rayos catódicos

Prehistoria de los rayos catódicos

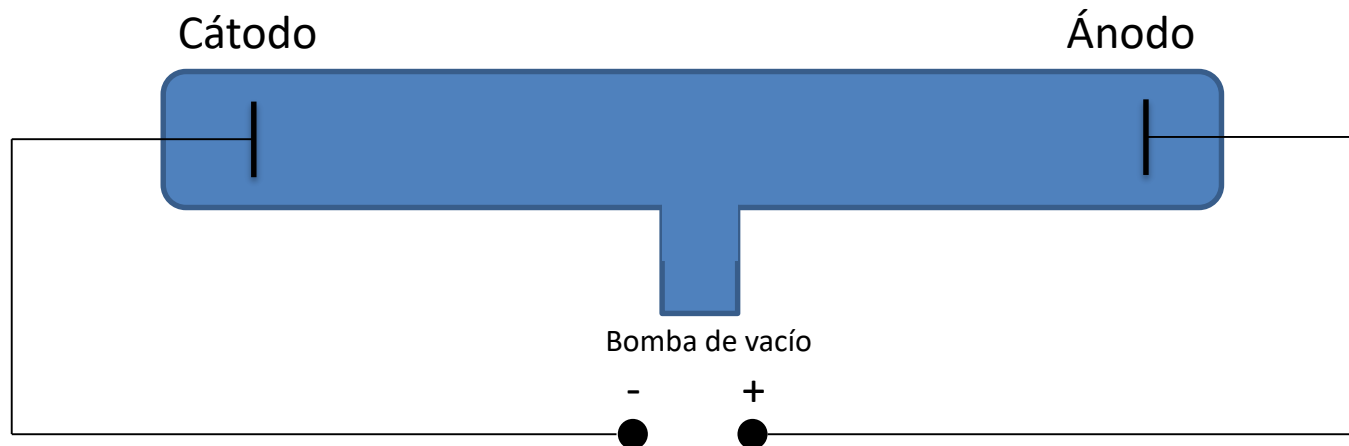
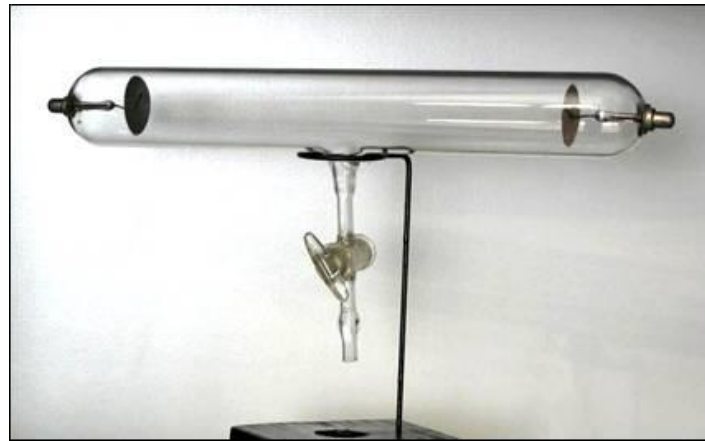
Cuando el origen de la electricidad aún no era bien conocido, ya se usaban tubos de vidrio con un ánodo y un cátodo y se observaban descargas eléctricas en ellos.

Michael Faraday (1791-1867) observó que una fluorescencia podía observarse entre los electrodos cuando la presión del gas se reducía.



Rayos catódicos

Prehistoria de los rayos catódicos



Rayos catódicos

A fines del siglo XIX había una gran controversia sobre la naturaleza de estos rayos.

Existían 2 opiniones contrapuestas:

Una, sostenida por los físicos ingleses era que los rayos eran cuerpos negativamente cargados disparados por el cátodo con gran velocidad.

La otra visión, sostenida por la mayoría de los físicos alemanes, era que los rayos eran algún tipo de vibración etérea u onda.

Rayos catódicos

Las investigaciones llevadas a cabo en estos años darían lugar a 2 premios Nobel a principios del siglo XX, y al descubrimiento del electrón.

Philipp Lenard



Premio Nobel en Física 1905

Por su trabajo con los rayos catódicos

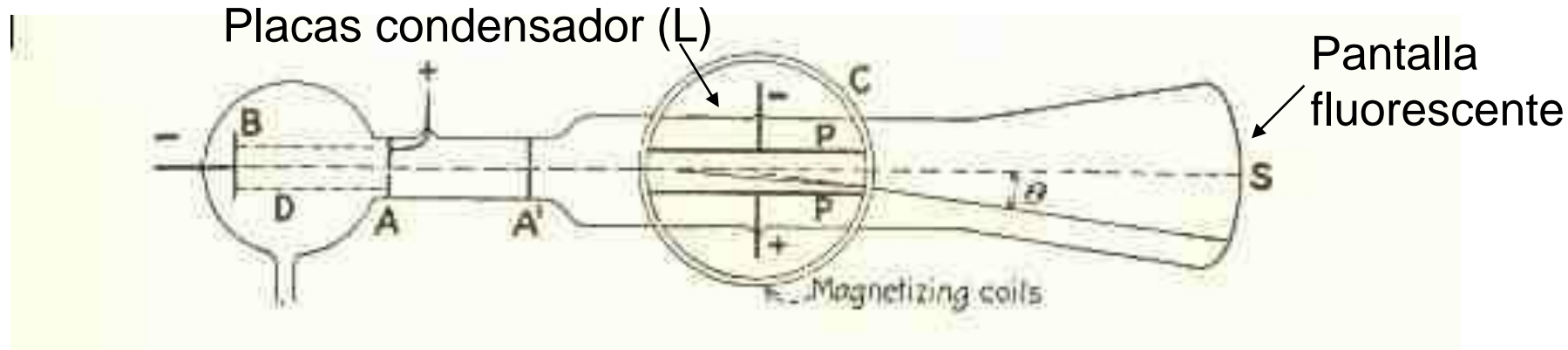
Joseph John Thomson



Premio Nobel en Física 1906

En reconocimiento a los grandes méritos de sus investigaciones teóricas y experimentales sobre la conducción de la electricidad por los gases

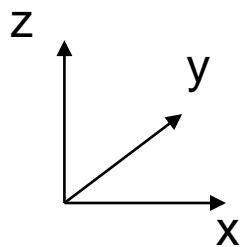
Determinación de e/m



Sobre una partícula con carga q que se mueve con velocidad \vec{v} en un campo eléctrico y magnético aparece una fuerza \vec{F} :

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

Si no hay campo magnético aplicado:

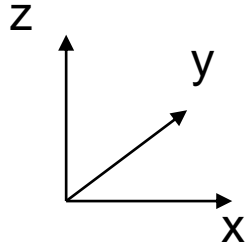


$$F_z = -eE_z \longrightarrow v_z = -\frac{e}{m} E_z t = -\frac{e}{m} E_z \frac{L}{v_x}$$

Determinación de e/m

Si no hay campo magnético aplicado:

$$F_z = -eE_z \longrightarrow v_z = -\frac{e}{m} E_z t = -\frac{e}{m} E_z \frac{L}{v_x}$$



$$\operatorname{tg} \theta = \frac{v_z}{v_x} \longrightarrow \operatorname{tg} \theta = -\frac{e}{m} E_z \frac{L}{v_x^2}$$

Para medir v_x , aplicaba un campo magnético de manera que la F neta sobre la carga sea nula:

$$eE_z = ev_x B_y \Rightarrow v_x = \frac{E_z}{B_y} \longrightarrow \frac{e}{m} = -\frac{E_z}{LB_y^2} \operatorname{tg}(\theta)$$

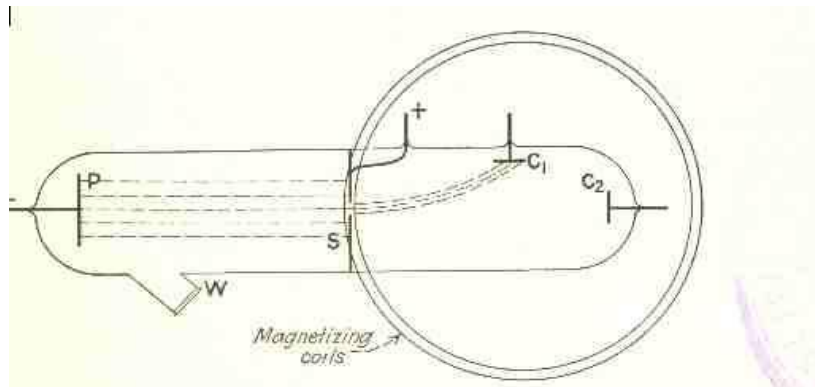
Determinación de e/m

- Con este método, **Thomson** obtuvo $e/m = 1.77 \times 10^{11} \text{ C/kg}$ (el valor actualmente aceptado para $e/m = 1.7588196 \times 10^{11} \text{ C/kg}$).
- Descubrió que la relación de carga a masa era tan grande que supuso que las partículas debían tener una carga enorme (no creía que pudieran ser más de mil veces más pequeñas que un átomo de hidrógeno).
- Encontró un único valor para esta cantidad independientemente del material del que estaba hecho el cátodo y del gas residual en el tubo. Esta independencia indicaba que esas partículas eran comunes a toda la materia.
- Posteriormente con otros experimentos calculó la carga de estas partículas y para su asombro encontró que era del mismo orden que la del átomo de hidrógeno por lo que el valor de e/m se debía a que estas partículas eran 1700 veces menores que las del átomo de hidrógeno.
- A partir de estos resultados propuso que el átomo estaba constituido por un número de corpúsculos de carga negativa y masa muy pequeña moviéndose alrededor de una esfera de carga positiva.

Determinación de e/m

Método de Lenard

Lenard en 1898 usó un método ligeramente diferente para medir la relación e/m de partículas negativas liberadas por una placa de metal iluminada con luz.



$$\frac{1}{2}mv^2 = eV \rightarrow v^2 = \frac{2eV}{m}$$

$$m \frac{v^2}{R} = evB$$

$$\boxed{\frac{e}{m} = \frac{2V}{R^2 B^2}}$$

Determinación de e/m

El método que vamos a usar se diseñó basándose en el experimento de Bainbridge (Phys. Rev. **42**, 1 (1932)).

Second Series

October 1, 1932

Vol. 42, No. 1

THE
PHYSICAL REVIEW

The Isotopic Weight of H²

By KENNETH T. BAINBRIDGE

Bartol Research Foundation of the Franklin Institute

(Received August 15, 1932)

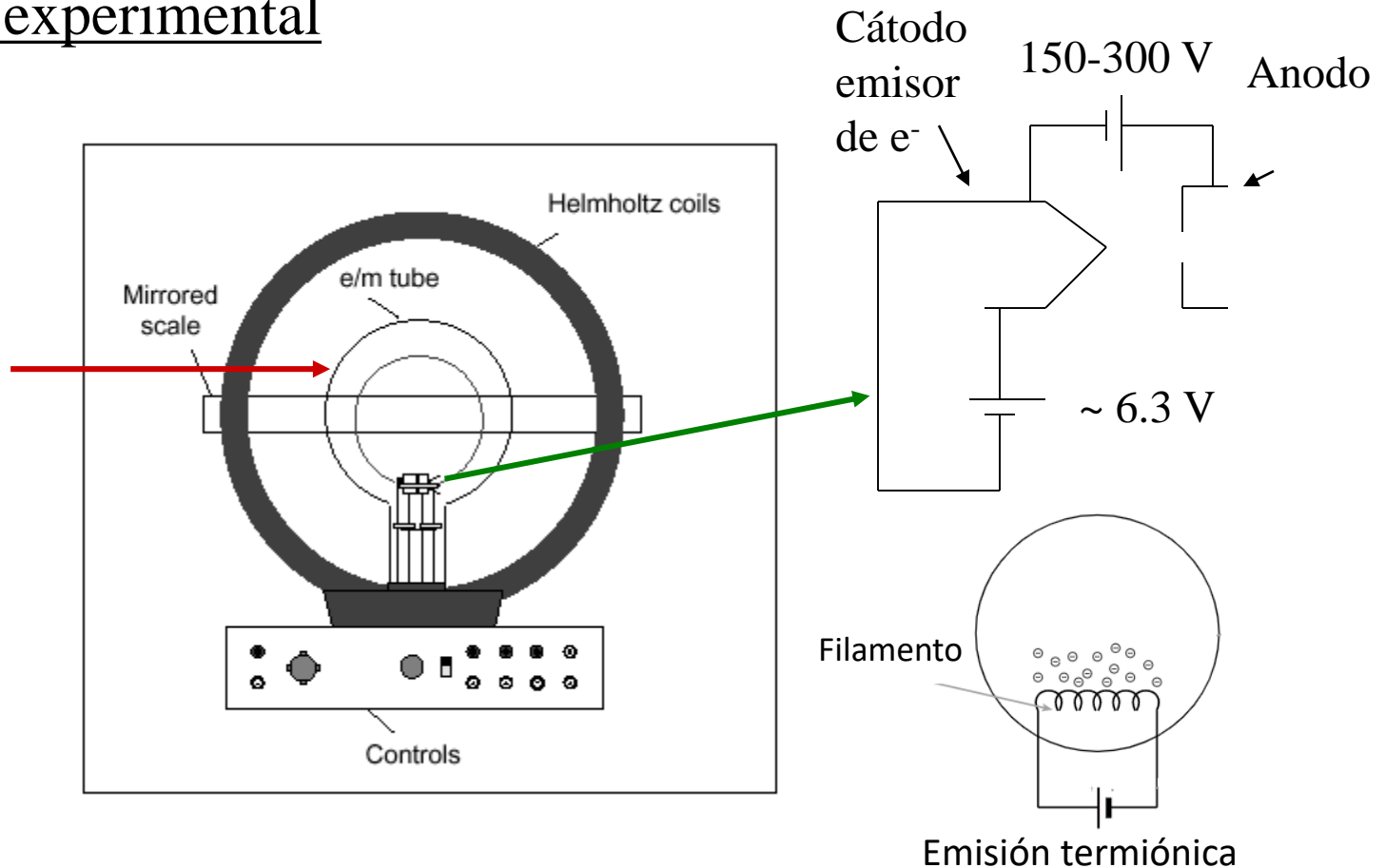
The mass of neutral H² was measured on a mass-spectrograph as 2.01351 ± 0.00006 referred to He and 2.01351 ± 0.00018 referred to O¹⁶ = 16. The equivalent packing fraction of H² is 67.5 parts in 10,000. On the assumption that the nucleus is composed of two protons and one electron the energy of binding is approximately 2×10^6 electron-volts. If the H² nucleus is made up of one proton and one Chadwick neutron of mass 1.0067 then the binding energy of these two particles is 9.7×10^6 electron-volts. H₃¹⁺ and He⁺ provided the dispersion measurements for the spectra. The presence of H¹ H²⁺ can only introduce in the mass determination a possible *maximum* error of 0.00003 mass units. Lines of mass 4.02852 on the spectra were attributed to H₂¹ H² ions because: (1) no lines of comparable intensity appeared in this position when commercial hydrogen of low H² content was used; (2) under the conditions existing in the discharge tube the abundance of H₂²⁺ was negligibly small compared to the abundance of H₂¹ H²⁺; (3) the mass is less than the mass of H₄¹⁺ by an amount outside of the limits of error. Two samples of enriched hydrogen were used which had been prepared by Brickwedde; both had been tested spectroscopically by Urey and Murphy, and one of them was identical with Bleakney's Sample III. From the value for the mass of H², the energy balance is calculated for one process of noncapture disintegration of N¹⁴ by neutron impact, suggested by Feather, which would result in C¹² and H². It is concluded that this disintegration could not possibly occur under the conditions of his experiments.

Determinación de e/m

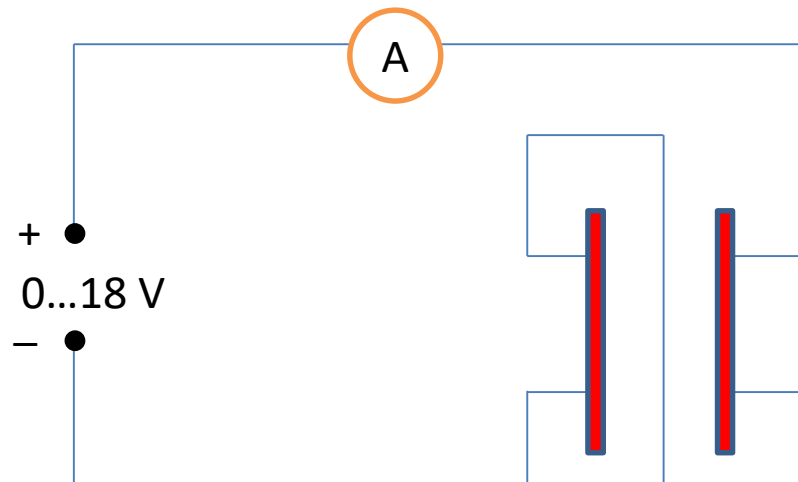
El método que vamos a usar se diseñó basándose en el experimento de Bainbridge (Phys. Rev. **42**, 1 (1932)).

Dispositivo experimental

Tubo de vidrio
lleno con helio a
una presión de
 10^{-2} mm Hg

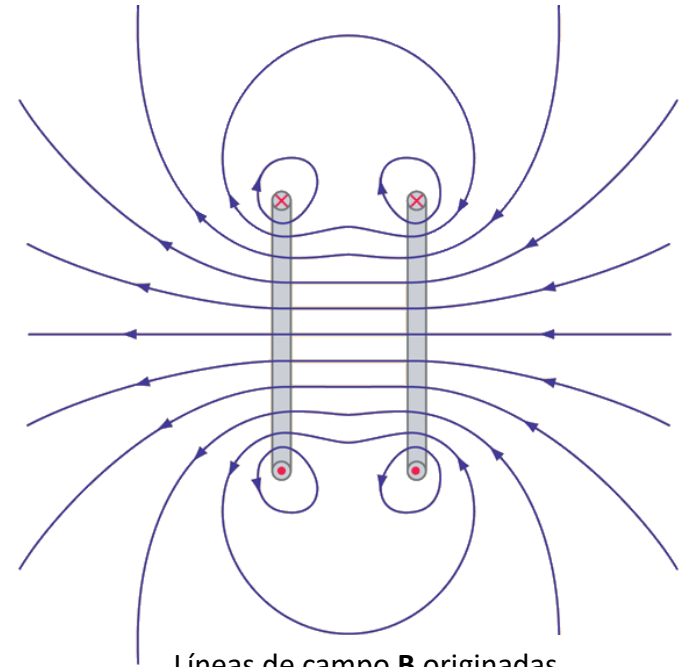
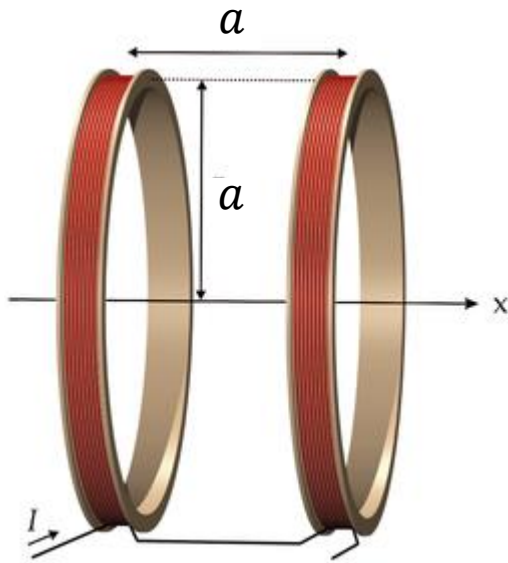


Determinación de e/m



Circuito de Bobinas de Helmholtz

Determinación de e/m



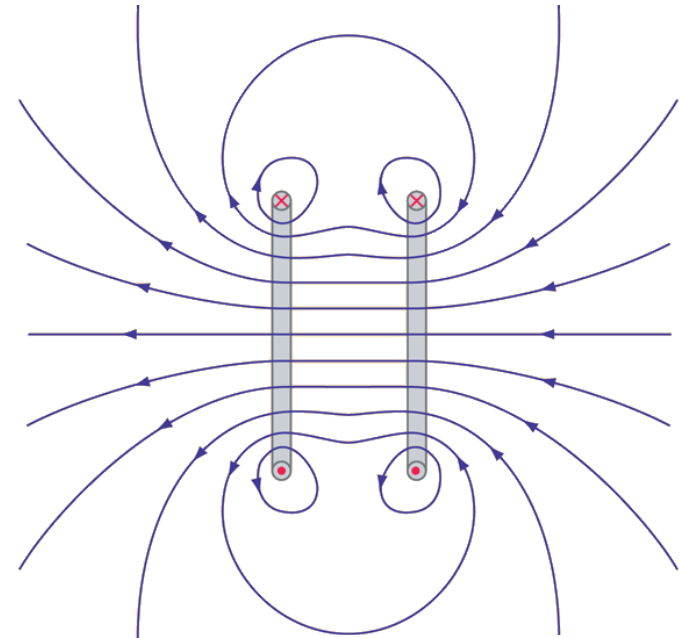
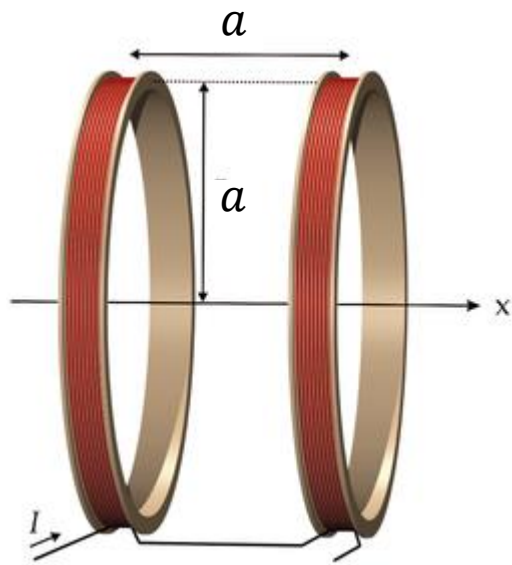
Líneas de campo **B** originadas por las bobinas de Helmholtz

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

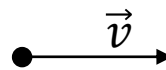
$$\mu_0 = 1.257 \times 10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$$

$$n = 154, \quad a = 0.2 \text{ m}$$

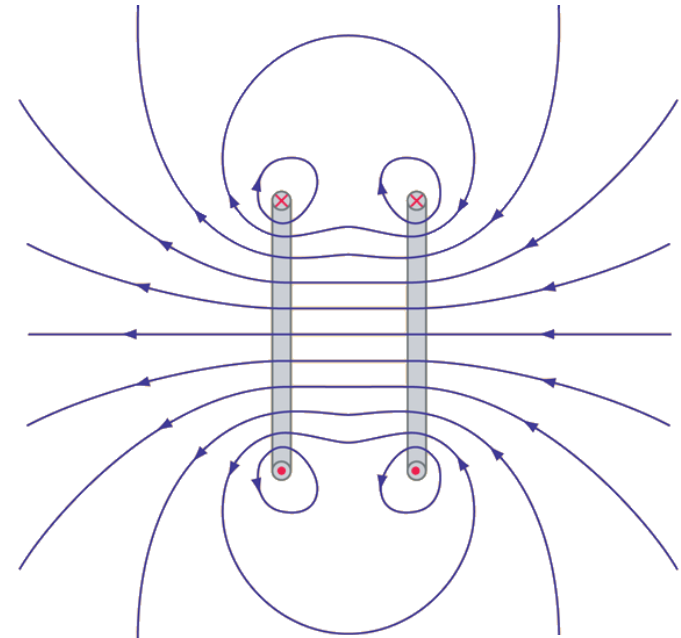
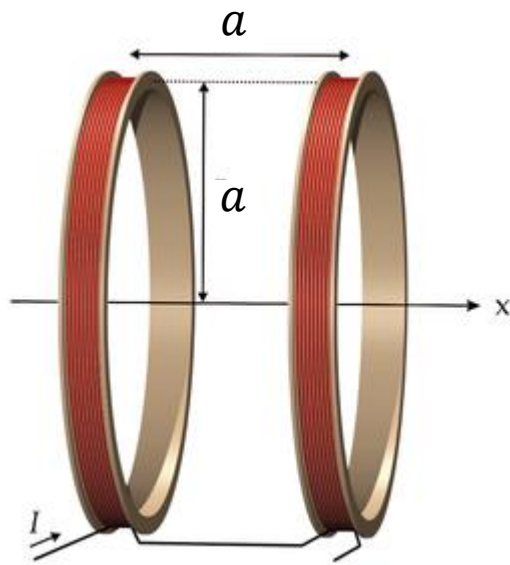
Determinación de e/m



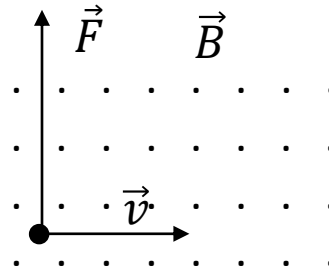
Líneas de campo \mathbf{B} originadas por las bobinas de Helmholtz



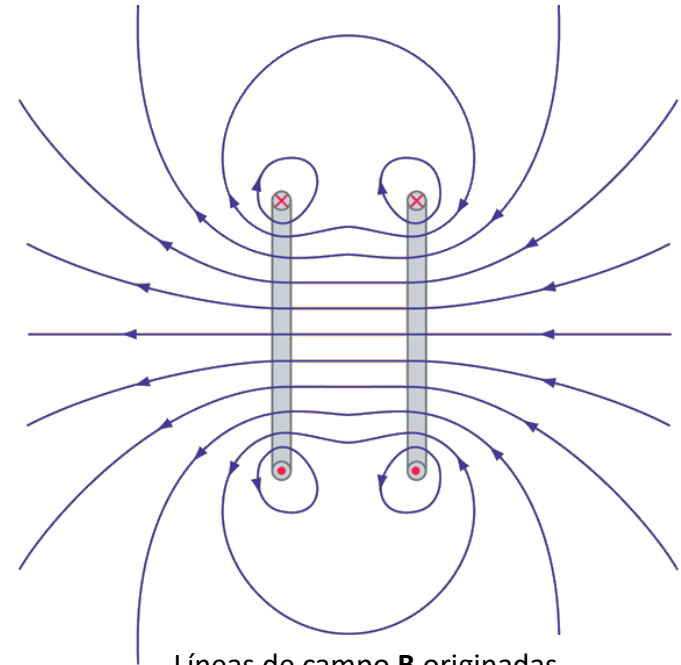
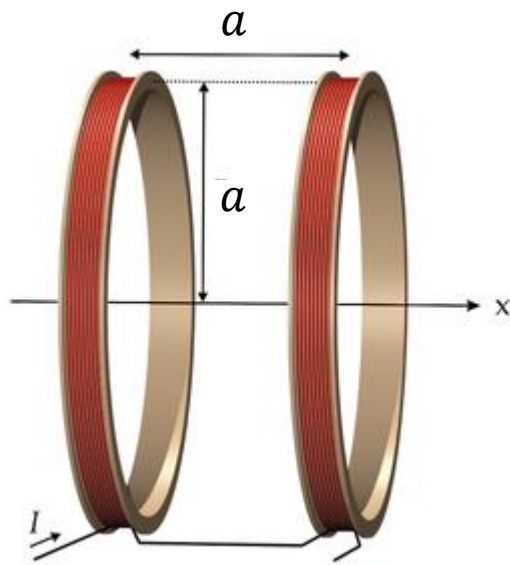
Determinación de e/m



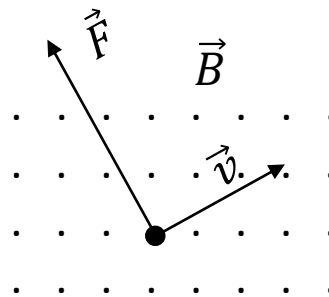
Líneas de campo \vec{B} originadas por las bobinas de Helmholtz



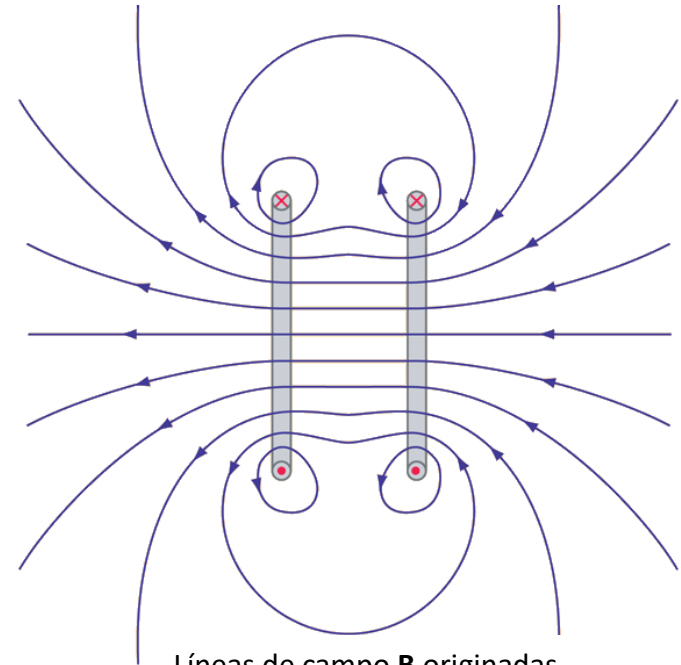
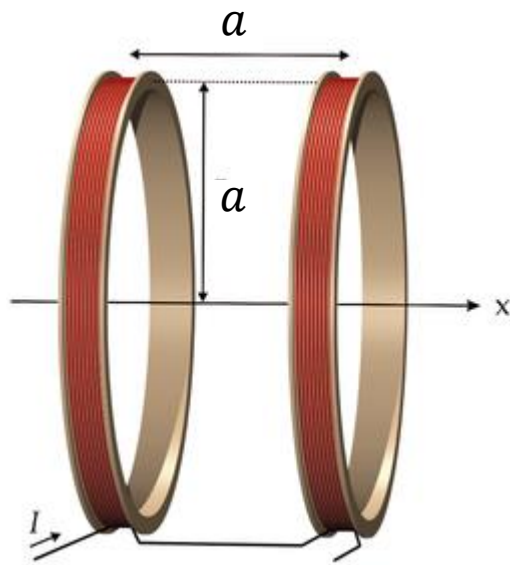
Determinación de e/m



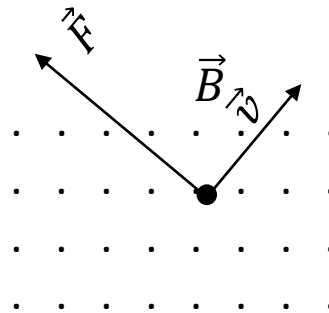
Líneas de campo \vec{B} originadas por las bobinas de Helmholtz



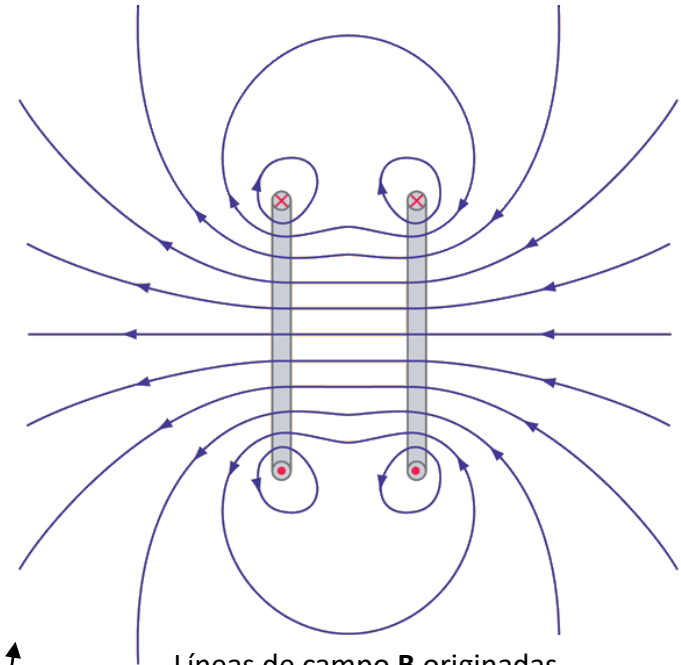
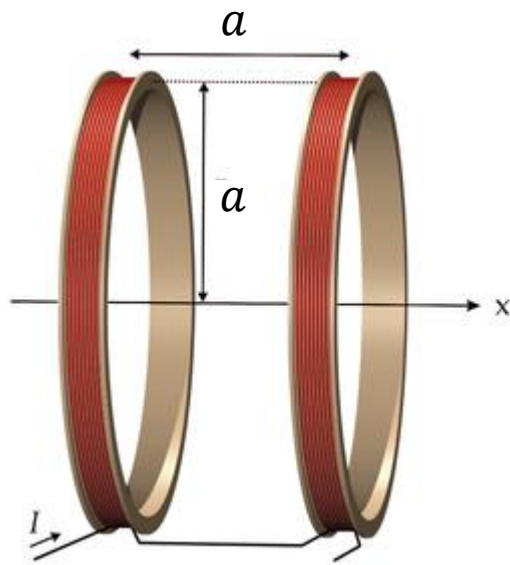
Determinación de e/m



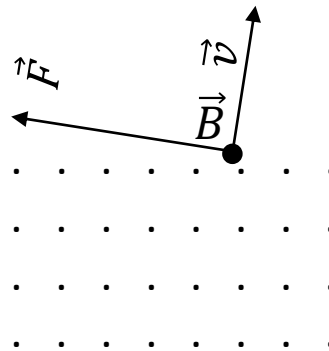
Líneas de campo \vec{B} originadas por las bobinas de Helmholtz



Determinación de e/m



Líneas de campo B originadas por las bobinas de Helmholtz



Determinación de e/m

Al acelerar los electrones a través de una diferencia de potencial V, éstos adquieren una energía cinética:

$$(1/2) m v^2 = eV$$

Si se hace circular una corriente por las bobinas, los electrones sufrirán una fuerza perpendicular a la dirección de movimiento con magnitud:

$$F = e v B$$

Puesto que la F es siempre perpendicular a la dirección de movimiento, el camino seguido por los electrones será circular con un radio R, tal que:

$$F = mv^2 / R$$

Combinando estas tres ecuaciones se obtiene:

$$e/m = 2V / B^2 R^2$$

El campo magnético producido cerca del eje del par de bobinas es:

$$B = N\mu_0 i / (5/4)^{3/2} a$$

N: número de espiras (154), a = radio de las bobinas (20 cm)

V: potencial acelerador, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Vs/Am; i=corriente.

Determinación de e/m

Procedimiento

- 1-Establezca una pequeña corriente (la tensión no debe superar los 10 V) a través del filamento calefactor y espere hasta que el filamento tome un color naranja.
- 2-Ajuste el potencial acelerador desde cero hasta que vea el haz (no superar los 300 V).
- 3-Usando un pequeño imán permanente investigar el efecto del campo magnético en el haz de electrones. Acerque el imán y muévalo en diferentes direcciones.
- 4-Aumente lentamente la corriente que pasa a través de las bobinas de Helmholtz (i) (no exceder los 5 A) hasta que observe que la trayectoria es circular.
- 5-Ajuste i hasta que el haz pase por la marca que corresponde a una trayectoria de radio 2 cm. Registre el potencial acelerador (V), la corriente que pasa por las bobinas (i).
- 6-Ajuste el valor de i (sin cambiar V) hasta que la trayectoria tenga un radio de 3 cm, luego 4 cm y por último 5 cm. Registre los valores medidos.
- 7-Cambie el valor del potencial acelerador y repita los puntos 5 y 6.
- 8-Repita dejando i constante y cambiando V.
- 9-A partir de los valores medidos obtenga el valor e/m de la manera que le parezca más conveniente.

Determinación de e/m

Actividad previa a la realización del experimento:

1-¿Cuál es el objetivo del experimento?

2-¿Qué magnitudes medirá en forma directa y cuales determinará en forma indirecta?

¿Con qué instrumentos medirá?

3-¿Cuáles son los fundamentos teóricos que le permitirán obtener la magnitud que desea determinar a partir de las medidas?.

4-¿Que relación espera encontrar entre la corriente que pasa por las bobinas y el radio de la órbita (para $V = cte$)?¿Qué graficaría para obtener una relación lineal y cuál de los parámetros de la recta que ajuste estará relacionado con e/m ?

5-¿Que relación espera encontrar entre el potencial acelerador y el radio de la órbita (para $i=cte$)?¿Qué graficaría para obtener una relación lineal y cuál de los parámetros de la recta que ajuste estará relacionado con e/m ?

6- ¿Cuál considera que es la mayor fuente de error del experimento?

7-¿Cuál es el valor aceptado de e/m ?

8-¿Cuál es la magnitud del campo magnético terrestre? ¿Puede afectar a la determinación de e/m ?