

Laboratório de Física Moderna

Experimento III: Determinação da razão carga/massa do elétron

Prof. Marco Polo

Introdução e objetivos

O objetivo deste experimento é realizar medidas da razão carga massa (e/m) do elétron. Para isso, elétrons são acelerados dentro de um tubo de raios catódicos (ver Fig. 1) devido à uma diferença de potencial elétrico V aplicado. Transversalmente à direção de aceleração dos elétrons um campo magnético B é aplicado, de forma que uma trajetória circular pode ser observada. Esse campo magnético é gerado a partir de um par de bobinas de Helmholtz, como pode ser observado na Fig. 1.

Da relação entre o raio da trajetória, o campo magnético e a tensão no tubo, é possível determinar a razão entre a carga e a massa do elétron.

A trajetória dos elétrons é visualizada indiretamente pela ionização dos átomos de hidrogênio no tubo de raios catódicos. A fluorescência emitida, visível com a luz da sala apagada, determina a trajetória eletrônica. O filamento, dentro do tubo e de onde saem os elétrons, é aquecido devido à uma tensão AC de 6,3 V. A voltagem de aceleração deve estar entre 150 e 300 V.

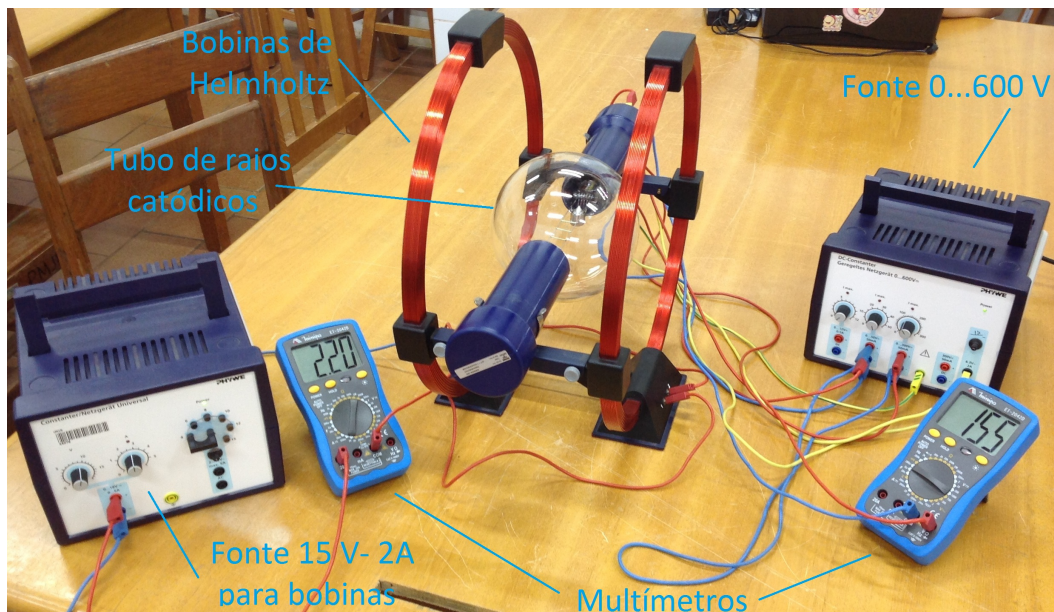


Figura 1: Montagem experimental para a determinação da razão e/m .

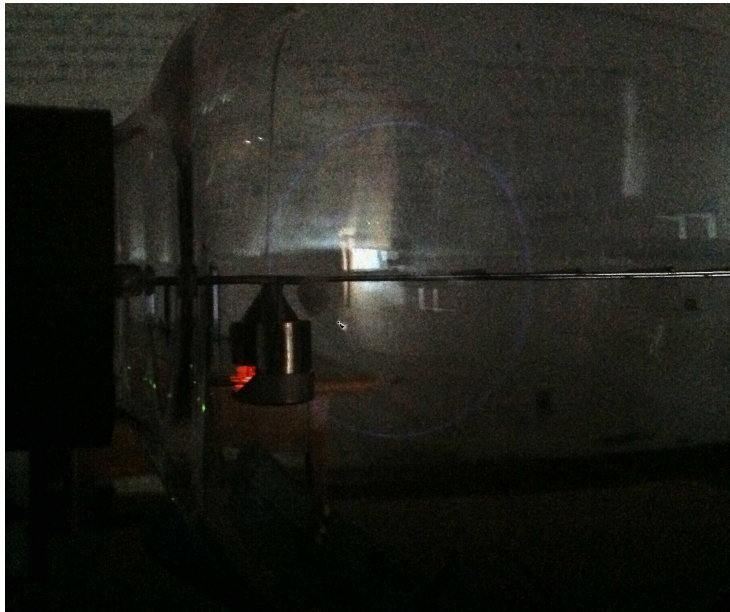


Figura 2: Fluorescência no tubo de raios catódicos.

Materiais

Os materiais consistem de:

- Par de bobinas de Helmholtz.
- Tubo de raios catódicos.
- Fonte de alimentação DC de 0 a 300 V.
- Fonte de alimentação DC de 0 a 60 V.
- Dois multímetros digitais.
- Cabos de ligação de várias cores.

O diagrama de ligações do tubo de raios catódicos está mostrado na Fig. 3. A corrente nas bobinas, lida em um dos multímetros, não deve exceder 3 A, enquanto que a tensão deve estar entre 0 e 18 V. O raio da órbita do elétron pode ser medido na escala do tubo, que possui marcações para 2, 3, 4 e 5 cm.

Outras informações importantes:

- Raio das bobinas: $R = 20$ cm.
- A distância entre as duas bobinas é igual a raio das bobinas: $R = 20$ cm.
- Número de espiras de cada bobina: $N = 154$.

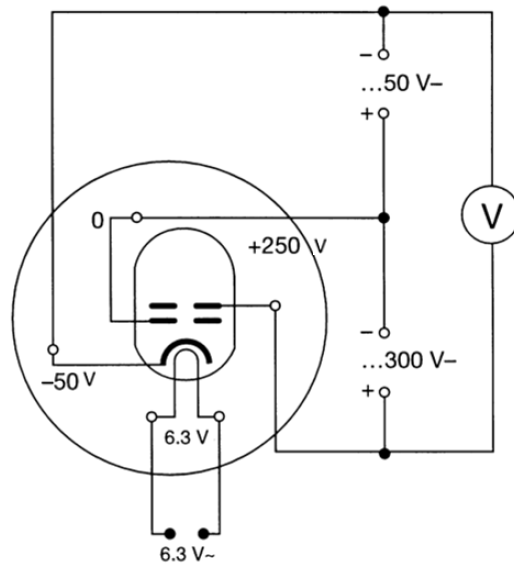


Figura 3: O diagrama de ligações do tubo de raios catódicos.

Teoria

Nesse experimento, três grandezas são medidas diretamente: o raio r da trajetória circular, a corrente i nas bobinas e a tensão V no tubo de raios catódicos. Execute os passos abaixo para relacionar a razão e/m do elétron em função dessas três grandezas:

1. Usando os conhecimentos de eletromagnetismo, demonstre que um elétron que se desloca uniformemente com velocidade v transversalmente a um campo magnético B desenvolve uma trajetória circular de raio r dada por

$$r = \frac{mv}{eB}, \quad (1)$$

de forma que a razão carga/massa do elétron pode ser escrita como

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{rB}. \quad (2)$$

Coloque a demonstração da Eq. (1) no relatório. Desenvolva os passos seguintes para obter o campo magnético B a que o elétron está sujeito e sua velocidade v .

2. Sabemos que a intensidade do campo magnético gerado no eixo de uma espira circular portando corrente i é dada por

$$B = \frac{\mu_0 i R^2}{2(R^2 + z^2)^{3/2}}, \quad (3)$$

onde R é o raio da espira e z é a distância ao centro da espira. Demonstre então que a intensidade do campo magnético total no ponto médio entre as duas bobinas é dada por

$$B_T = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{\mu_0 i N}{R}. \quad (4)$$

Coloque a demonstração da Eq. (4) no relatório.

3. A partir da lei da conservação de energia, demonstre que um elétron que parte do repouso e percorre uma região com uma diferença de potencial V é acelerado até atingir uma velocidade de

$$v = \sqrt{\frac{2eV}{m}} \quad (5)$$

Coloque a demonstração da Eq. (5) no relatório.

4. Combine as equações (2), (4) e (5) para demonstrar que a razão carga/massa do elétron pode ser escrita em função de R , V , i e de r como

$$\frac{e}{m} = \frac{125}{32} \frac{R^2 V}{\mu_0^2 i^2 N^2 r^2}. \quad (6)$$

Coloque a demonstração da Eq. (6) no relatório.

Procedimentos experimentais

Neste experimento usaremos o desvio-padrão como uma ferramenta para calcular a incerteza na medida da razão carga/massa do elétron. Para isso, é necessário realizar uma grande quantidade de medidas dessa razão. Execute então o seguinte procedimento:

1. Ajuste a corrente i na bobina e a tensão de aceleração V para que o raio da órbita do elétron fique em $r = 3$ cm.
2. Com os parâmetros do item 1, calcule a razão carga/massa do elétron usando a Eq. (6).
3. Varie ligeiramente i e V no experimento para obter pelo menos outros 5 valores de e/m . *Reúna todos esses valores em uma tabela e coloque no relatório.*

4. Repita os passos 1, 2 e 3 para $r = 4$ cm e $r = 5$ cm. Anote os valores de e/m encontrados em novas tabelas.
-

Obtenção da razão carga/massa do elétron

Calcule a média de todas as medidas realizadas nas três tabelas obtidas nos procedimentos experimentais bem como o desvio-padrão para obter um valor final de e/m junto com a incerteza. *Coloque no relatório. A entrega do relatório sem o cálculo da incerteza implicará em nota zero.*