

1303 – Determinação da razão – e/m_0



Roteiro elaborado com base na documentação que acompanha o conjunto por:
Máximo F. da Silveira – Instituto de Física – UFRJ

Tópicos Relacionados

Raios catódicos, força de Lorentz, elétrons em campos transversais, massa do elétron, carga do elétron.

Princípios e objetivos

Elétrons são acelerados em um campo elétrico e penetram em um campo magnético perpendicular à sua direção de movimento. A carga específica do elétron é determinada pela medida do potencial acelerador, do campo magnético e do raio da órbita eletrônica.

Equipamentos

	127 V	220 V	
Tubo de feixe estreito	06959.00	06959.00	1
Par de bobinas de Helmholtz E	06960.00	06960.00	1
Voltímetro, 0.3-300 V-DC, 10-300 V-AC /	07035.00	07035.00	1
Amperímetro 1/5 A DC	07038.00	07038.00	1
Multímetro digital	07134.00	07134.00	2
Cabo de conexão, 100 mm, vermelho	07359.01	07359.01	1
Cabo de conexão 500 mm, vermelho	07361.01	07361.01	2
Cabo de conexão, 500 mm, azul	07361.04	07361.04	2
Cabo de conexão, 1000 mm, vermelho	07363.01	07363.01	1
Cabo de conexão, 1000 mm, amarelo	07363.02	07363.02	2
Cabo de conexão, 1000 mm, azul	07363.04	07363.04	1
Cabo de conexão, 1000 mm, preto	07363.05	07363.05	1
Cabo de conexão, 2000 mm, azul	07365.04	07365.04	2
Fonte de alimentação, universal e	13500.98	13500.93	1
Sonda Hall, axial	13610.01	13610.01	1
Gaussímetro, digital	13610.98	13610.93	1
Fonte de alimentação, 0...600 VDC e	13672.98	13672.93	1

Problema

Determinação da carga específica do elétron (e/m_0) pela análise da trajetória de um feixe de elétrons através de campos elétrico e magnético, transversais, de intensidade variável.

1303 – Determinação da razão – e/m_0 **Montagem e procedimentos**

A montagem experimental é mostrada na Fig. 1. As conexões elétricas podem ser vistas no diagrama das Fig. 2 e Fig. 3.

As duas bobinas são posicionadas face a face conforme a montagem de Helmholtz.

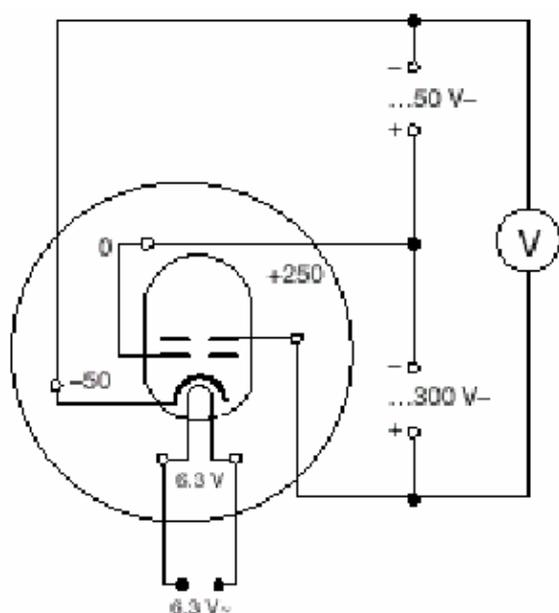


Fig. 2: Diagrama de ligação das bobinas de Helmholtz

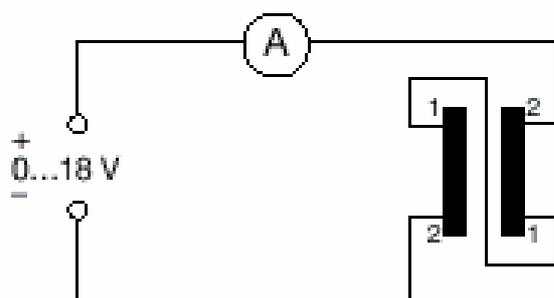


Fig. 3: Diagrama de ligação do Tubo de feixes colimados.

Como a corrente deve ser a mesma em ambas as bobinas, a conexão em série é preferível à paralela. A corrente contínua máxima utilizada não deve exceder o valor de 5 A.

1303 – Determinação da razão – e/m_0

Se a polaridade do campo magnético for correta, uma trajetória curva luminosa será visível em uma sala escurecida. Variando-se o campo magnético (corrente) e a velocidade dos elétrons (potencial de foco e acelerador) pode-se ajustar o raio da órbita de modo a fazê-lo coincidir com os raios pré-definidos da escala de hastes metálicas. Quando o feixe eletrônico coincide com uma das hastes da escala, somente metade do círculo é observada. Os valores pré-definidos na escala são 2, 3, 4, e 5 cm.

Maiores detalhes sobre o funcionamento do tubo de feixes colimados são fornecidos no manual de operação correspondente.

A trajetória helicoidal do feixe é indicação de que os elétrons não estão sendo projetados perpendicularmente ao campo magnético. Isto pode ser corrigido rodando-se o tubo em torno de seu eixo longitudinal.



Fig.1: Montagem experimental para determinação da relação e/m .

As medidas de intensidade do campo magnético podem ser feitas com o gaussímetro e a sonda axial, inclusos no conjunto, e comparadas com as obtidas teoricamente.



Fig. 1a. Gaussímetro e sonda axial.

Teoria e Análise

Se um elétron de massa m_0 e carga e é acelerado por uma diferença de potencial U , adquire energia cinética:

$$e.U = m_0.v^2/2 \quad (1)$$

em que v é a velocidade do elétron

Em um campo magnético de intensidade B , a força de Lorentz em um elétron com velocidade v é:

$$\mathbf{F} = e.v \times \mathbf{B}$$

Se o campo magnético é uniforme, como é no arranjo de Helmholtz, o elétron descreve uma trajetória em espiral ao longo das linhas de força magnéticas, que se torna um círculo de raio r se a velocidade v for ortogonal a B .

1303 – Determinação da razão – e/m_0

Tabela 1: Corrente I e carga específica do elétron, de acordo com as equações (2) e (3) para várias voltagens U e raios r da trajetória dos elétrons.

U (V)	r = 0,02 m		r = 0,03 m		r = 0,04 m		r = 0,05 m	
	I (A)	e/m_0 10^{11} As/Kg						
100	2,5	1,7	1,6	1,8	1,1	2,2	0,91	2,0
120	2,6	1,9	1,7	1,9	1,3	1,9	1,0	2,0
140	2,8	1,9	1,9	1,8	1,4	1,9	1,1	1,9
160			2,0	1,9	1,5	1,9	1,2	1,9
180			2,2	1,7	1,6	1,8	1,3	1,8
200			2,3	1,8	1,7	1,8	1,4	1,7
220			2,4	1,8	1,8	1,8	1,4	1,9
240			2,5	1,8	1,9	1,7	1,5	1,8
260			2,6	1,8	1,9	1,9	1,6	1,7
280			2,7	1,8	2,0	1,8	1,6	1,8
300			2,8	1,8	2,1	1,8	1,7	1,7

Como a força centrípeta m_0v^2/r assim gerada é igual à força de Lorentz, obtemos:

$$v = e.B.r/m_0$$

onde B é o valor absoluto do vetor campo \mathbf{B} .

Da eq. (1) temos que:

$$e/m_0 = 2.U/B^2.r^2 \quad (2)$$

Para calcular o campo magnético B , a primeira e quarta equações de Maxwell são usadas, no caso particular de não haver campo elétrico dependente do tempo.

Obtemos a intensidade de campo magnético B_z sobre o eixo- z de uma corrente circular I para um arranjo simétrico de 2 espiras separadas por uma distância a

$$B_z = \frac{\mu_0.I.R^2}{2} \left\{ \left[R^2 + \left(z - \frac{a}{2} \right)^2 \right]^{-3/2} + \left[R^2 + \left(z + \frac{a}{2} \right)^2 \right]^{-3/2} \right\}$$

com $\mu_0 = 1,257 \times 10^{-6}$ V.s/A.m

e R o raio das espiras.

Para o arranjo de Helmholtz de duas bobinas ($a = R$) com número de espiras n , o campo \mathbf{B} no centro entre as bobinas é dado por:

1303 – Determinação da razão – e/m_0

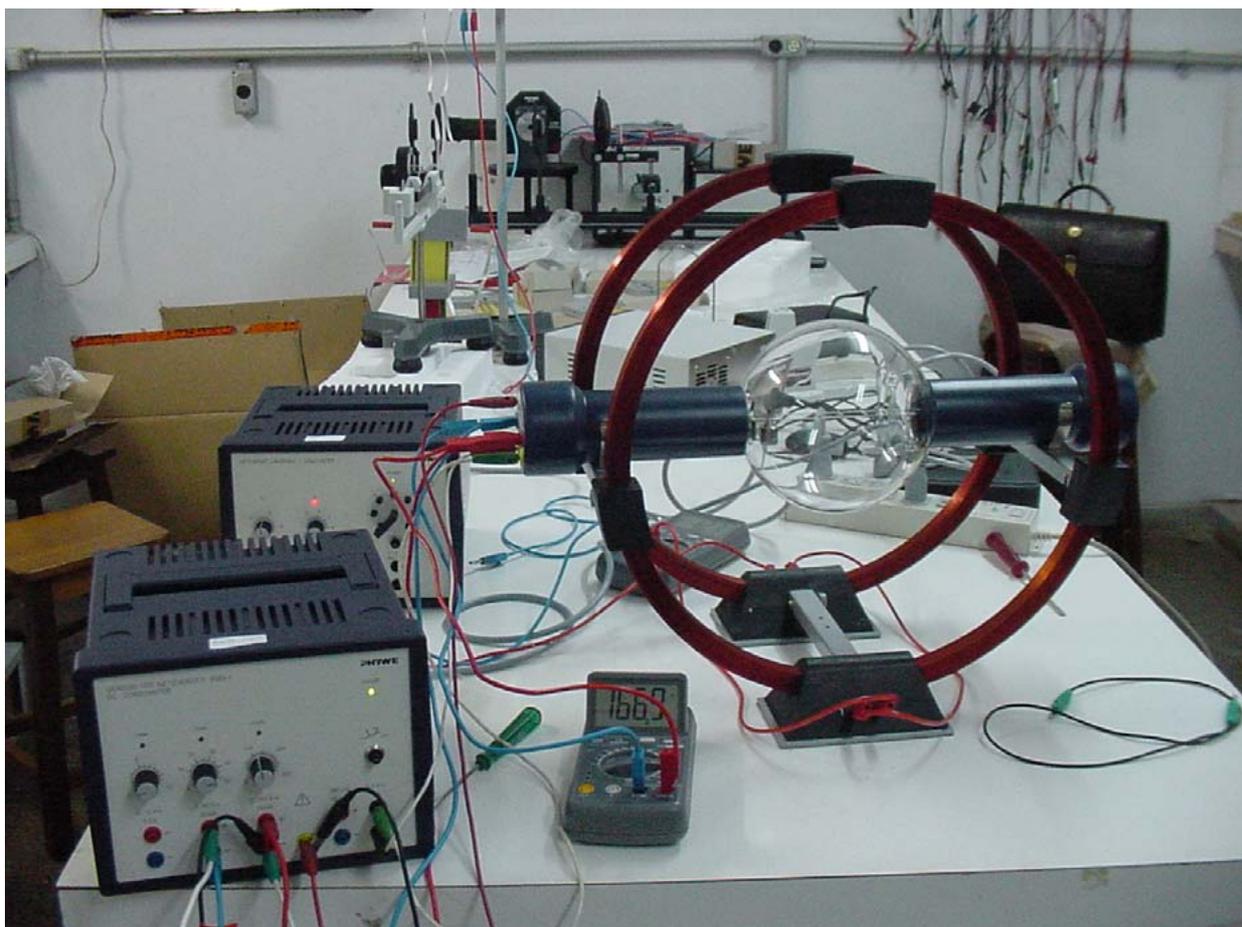
$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \mu_0 \cdot n \cdot \frac{I}{R} \quad (3)$$

Para as bobinas usadas, $R = 0.20 \text{ m}$ e $n = 154$.

O valor médio, $e/m_0 = (1,84 \pm 0.02) \times 10^{11} \text{ A.s/kg}$

foi obtido a partir dos valores dados na Tabela 1.

Valor tabelado da literatura: $e/m_0 = 1,759 \times 10^{11} \text{ A.s/kg}$



Montagem do experimento na UFES-Vitória.