

Electromagnetismo e Óptica

Experiência de Thomson (Grupos E e F)

OBJECTIVOS

Observar o efeito da força de Lorentz.

Medir o campo de indução magnética produzido por bobinas de Helmholtz.

Determinar experimentalmente o valor da relação *carga/massa* do electrão.

1. INTRODUÇÃO

Uma partícula carregada que se mova num campo magnético fica sob a acção de uma força (de Lorentz) dada por

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}, \quad (1)$$

em que:

- q é a carga da partícula;
- \vec{v} é a sua velocidade;
- \vec{B} é o campo magnético exterior.

Se \vec{v} e \vec{B} forem ortogonais, o módulo da força é simplesmente igual a

$$F = q v B. \quad (2)$$

Como a direcção desta força é sempre perpendicular ao vector velocidade, a força só vai actuar na direcção do movimento da partícula, não no módulo da sua velocidade. A partícula vai então descrever um movimento circular uniforme de raio R . A força centrípeta responsável por um movimento deste tipo é dada por

$$\vec{F}_c = \frac{m v^2}{R} \hat{e}_r. \quad (3)$$

Igualando as expressões (1) e (3), pode-se determinar a razão entre a carga e a massa da partícula:

$$\frac{q}{m} = \frac{v}{R B}. \quad (4)$$

Portanto, desde que se consiga produzir partículas carregadas que se movam com uma velocidade v conhecida num campo magnético B de valor também conhecido (e perpendicular à sua trajectória) e se consiga medir o raio R dessa trajectória, é possível determinar a razão entre a carga e a massa dessas partículas.

No caso de um feixe de electrões, o valor para este quociente é de

$$\frac{q}{m} \equiv \frac{e}{m_e} = 1,76 \cdot 10^{11} \text{ C Kg}^{-1}. \quad (5)$$

Do equipamento usado nesta experiência faz parte um tubo de raios catódicos (CRT) colocado no meio de um conjunto de bobinas de Helmholtz (figura 1). O tubo contém um filamento alimentado por uma corrente de 2 A (AC) que emite electrões por efeito termoiónico.

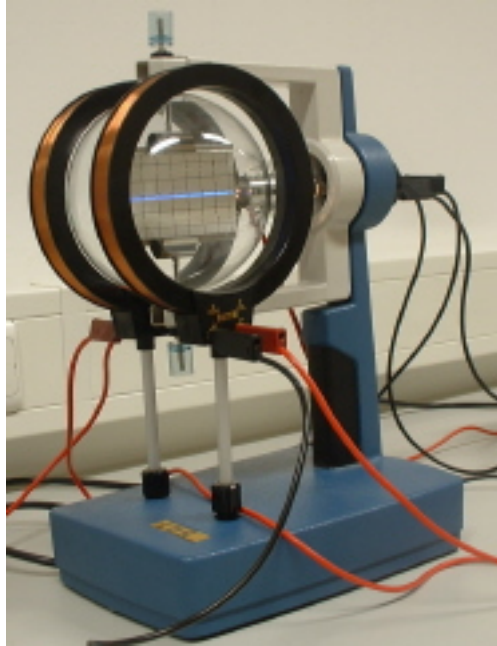


Figura 1 – Tubo de raios catódicos (CRT) usado nesta experiência e bobinas de Helmholtz.

Quando se estabelece uma diferença de potencial V_a suficientemente elevada entre o ânodo e o cátodo do CRT, os electrões são acelerados. A sua velocidade à saída do ânodo é função dessa diferença de potencial e pode ser determinada a partir da conservação de energia: a energia cinética que adquirem é igual à sua energia potencial no campo eléctrico estabelecido entre o ânodo e o cátodo:

$$\frac{m_e v^2}{2} = e V_a \quad \Rightarrow \quad v^2 = \frac{2 e V_a}{m_e}. \quad (6)$$

O feixe de electrões sai do ânodo com velocidade constante dada pela expressão anterior e entra na zona do CRT onde existe o campo magnético B . Este campo é criado pela corrente eléctrica I que passa nas bobinas de Helmholtz e é perpendicular à trajectória do feixe. Deste modo, os electrões vão descrever um arco de circunferência que pode ser visualizado num alvo coberto por um material fosforescente (figura 2):

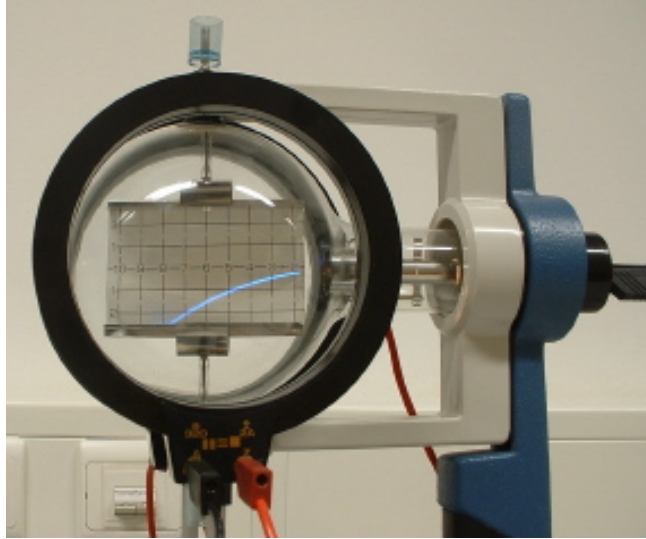


Figura 2 – Trajectória do feixe de electrões na presença de um campo magnético \vec{B} .

A escala graduada (em cm) pode ser utilizada para medir o raio de curvatura da trajectória do feixe (figura 3):

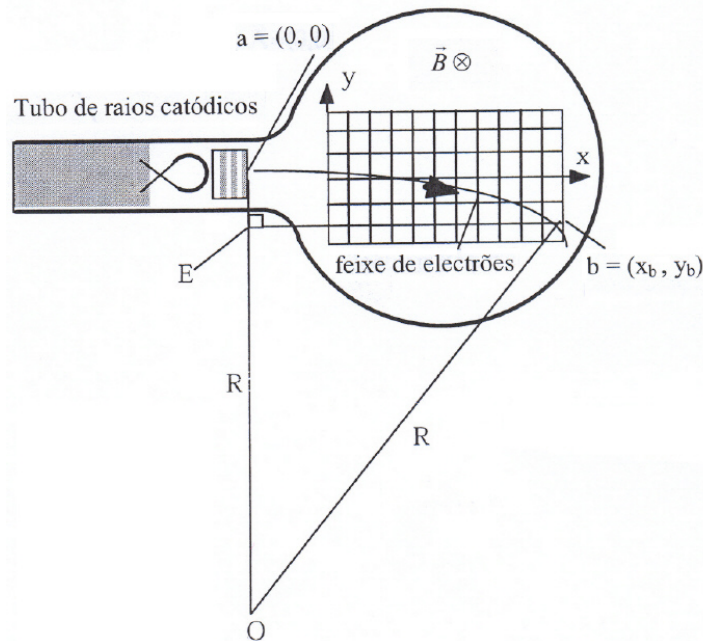


Figura 3 – Determinação do raio de curvatura da trajectória dos electrões.

Admitindo que os electrões entram na região onde está o campo magnético no ponto de coordenadas $a = (0, 0)$ e saem no ponto $b = (x_b, y_b)$, pode-se ver pela figura que $\overline{OE} = R - y$ e $\overline{EB} = x$. Assim, para o triângulo rectângulo \overline{OEB} tem-se

$$R^2 = x^2 + (R - y)^2 \quad \Rightarrow \quad R = \frac{x^2}{2|y|} + \frac{|y|}{2} . \quad (7)$$

A geometria das bobinas de Helmholtz (figura 4) assegura que o campo magnético (em rigor, o campo de indução magnética) na zona experimental é bastante uniforme.

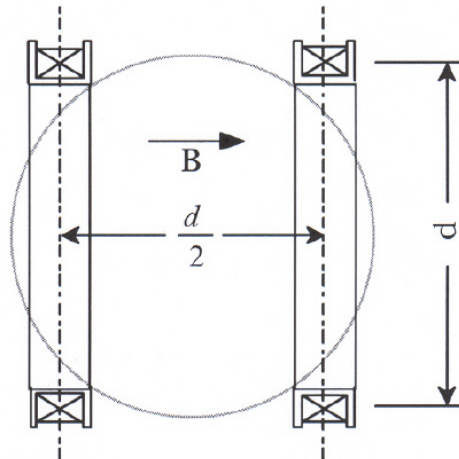


Figura 4 – Geometria das bobinas de Helmholtz (vista de topo).

O valor do campo magnético no centro deste conjunto de bobinas em particular é dado por

$$B = 4,231 \cdot 10^{-3} \times I \quad (\text{Tesla}) \quad (8)$$

em que I é a corrente nas bobinas (em Ampère). O sentido do campo pode ser alterado se se inverter o sentido de passagem da corrente nas bobinas.

Combinando as expressões (4) e (6) pode-se escrever

$$\frac{e}{m_e} = \frac{2 V_a}{R^2 B^2} = 1,117 \cdot 10^5 \frac{V_a}{R^2 I^2}, \quad (9)$$

em que R e B são determinados a partir de (7) e (8), respectivamente.

2. EQUIPAMENTO

O equipamento disponível para este trabalho é composto por (figura 5):

- uma ampola de Thomson;
- um conjunto de bobinas de Helmholtz;
- uma fonte de alta tensão regulável (0-6 kV), com unidade de alimentação do filamento (6,3 V);
- uma fonte de corrente regulável;
- um amperímetro;
- cabos de ligação.

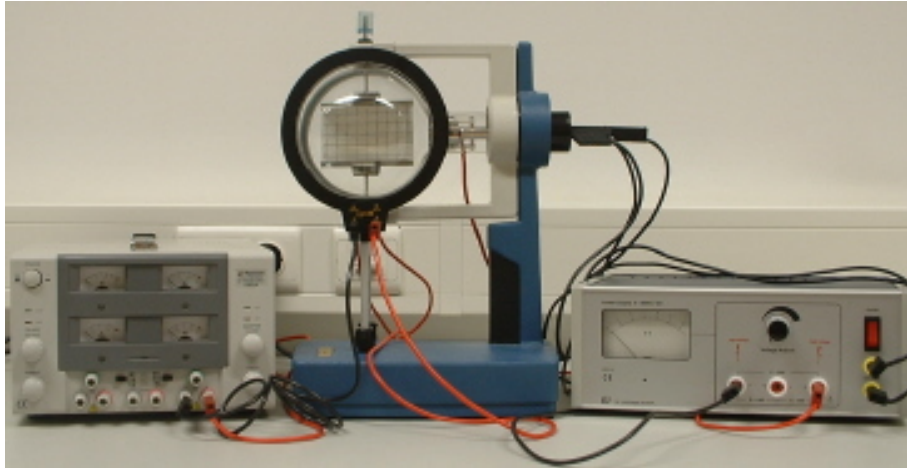


Figura 5 – Montagem experimental

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

1. Ligue o filamento da ampola de Thomson à fonte (6,3 V AC).
2. Ligue a saída de alta tensão da fonte ao cátodo e ao ânodo da ampola.
3. Ligue a saída da fonte de corrente às bobinas de Helmholtz
4. Ligue a fonte de alta tensão e selecione a tensão $V_a = 1500$ V.
5. Aumente o valor da corrente nas bobinas de modo a provocar uma deflexão no feixe de electrões (figura 2). Ajuste a corrente para que a circunferência passe por um ponto bem determinado. Determine R e tome nota do valor de I .
6. Repita a alínea anterior para novos valores de V_a , fazendo o feixe de electrões passar no ponto escolhido anteriormente.
7. Inverta o sentido da corrente e determine o novo valor de I para o mesmo valor de R . Preencha as tabelas em anexo.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

1. Para os dados de cada tabela, desenhe um gráfico da função $I^2 = f(V_a)$. Note que esta função é do tipo $y = a x + b$.
2. Faça um ajuste linear da função anterior aos dados experimentais e obtenha o declive a .
3. A partir desse declive, obtenha um valor final para e/m . Estime a precisão deste resultado.



Electromagnetismo e Óptica

Laboratório 1 – Experiência de Thomson (grupos E e F)

NÚMERO	NOME	CURSO
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

Data: ____/____/____ Turno (dia – hora): ____^a – ____ h Grupo: _____

DETERMINAÇÃO DE e/m POR DEFLEXÃO MAGNÉTICA

Tabela 1

$$x = \text{_____ cm} = \text{_____ m}$$

$$y = \text{_____ cm} = \text{_____ m}$$

$$R^2 = \left(\frac{x^2}{2|y|} + \frac{|y|}{2} \right)^2 = \text{_____ m}^2$$

$$e/m = \quad \pm \quad (\text{C/Kg})$$

V_a (V)	I (A)
1500	
2000	
2500	
3000	
3500	
4000	
4500	
1500	
2000	
2500	
3000	
3500	
4000	
4500	

Tabela 2

$$x = \text{_____ } cm = \text{_____ } m$$

$$y = \text{_____ } cm = \text{_____ } m$$

$$R^2 = \left(\frac{x^2}{2|y|} + \frac{|y|}{2} \right)^2 = \text{_____ } m^2$$

$$e/m = \quad \pm \quad (\text{C/Kg})$$

V_a (V)	I (A)
1500	
2000	
2500	
3000	
3500	
4000	
4500	
1500	
2000	
2500	
3000	
3500	
4000	
4500	

Tabela 3

$$x = \text{_____ } cm = \text{_____ } m$$

$$y = \text{_____ } cm = \text{_____ } m$$

$$R^2 = \left(\frac{x^2}{2|y|} + \frac{|y|}{2} \right)^2 = \text{_____ } m^2$$

$$e/m = \quad \pm \quad (\text{C/Kg})$$

V_a (V)	I (A)
1500	
2000	
2500	
3000	
3500	
4000	
4500	
1500	
2000	
2500	
3000	
3500	
4000	
4500	

Nota:

Anexe os comentários/conclusões e todos os gráficos.