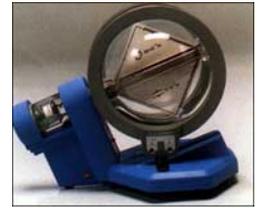




# Electromagnetismo e Óptica

## Experiência de Thomson (Grupos A, B, C e D)



### 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:

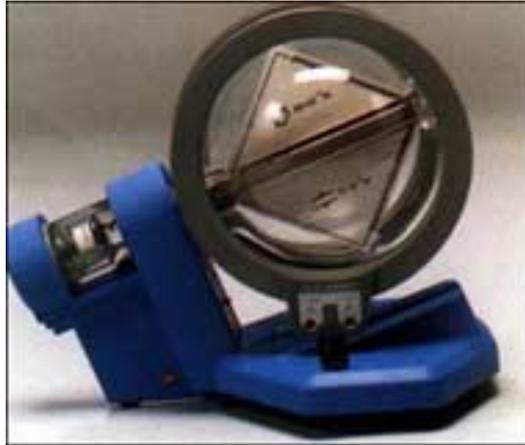
$$\frac{q}{m} = \frac{v}{R B}. \quad (4)$$

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):

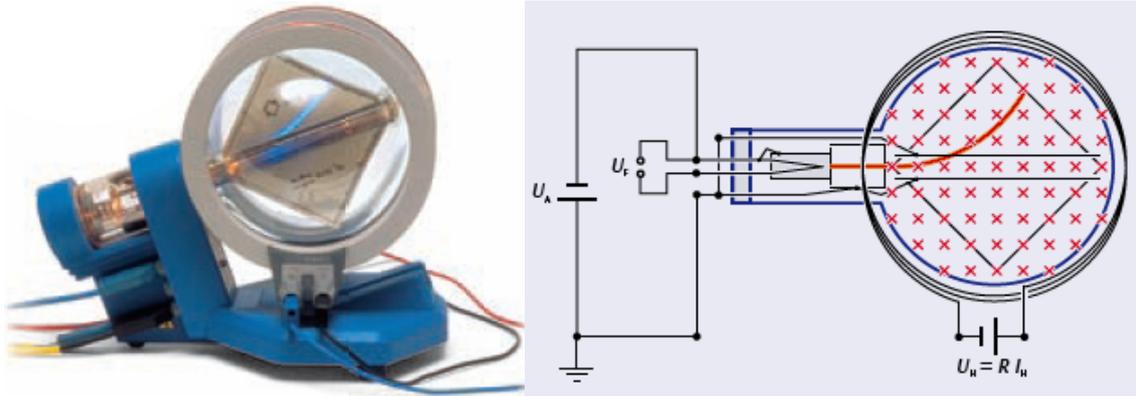


Figura 2 – Trajectória do feixe de electrões na presença de um campo magnético  $\vec{B}$ .

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

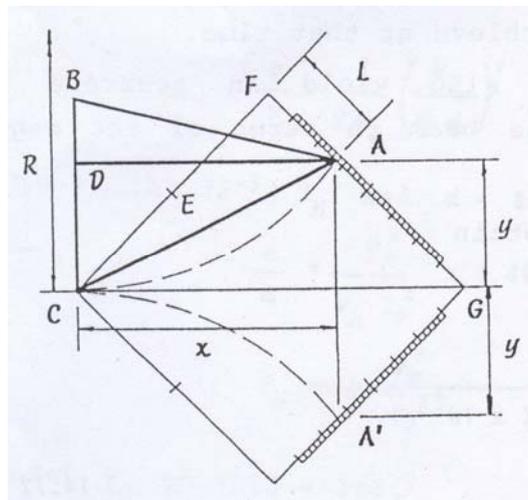


Figura 3 – Determinação do raio de curvatura da trajectória dos electrões.

O valor de  $R$  é calculado a partir de

$$R^2 = \frac{1}{2} \left( \frac{80^2 + L^2}{80 - L} \right)^2 \cdot 10^{-6} \quad (\text{em m}^2), \quad (7)$$

em que  $L$  é a distância, em mm, do ponto  $F$ , vértice superior (ou inferior) da placa, ao ponto de chegada do feixe à escala graduada.

Como exemplos:

- se o feixe passar no ponto  $F \Rightarrow L = 0 \Rightarrow R^2 = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ ;
- se o feixe passar no meio da escala graduada  $L = 40 \text{ mm} \Rightarrow R^2 = 20 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ .

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.

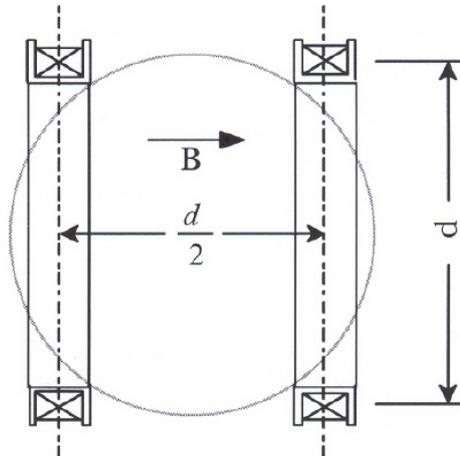


Figura 4 – Geometria das bobinas de Helmholtz (vista de topo).

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

$$B = 4,17 \cdot 10^{-3} \times I \quad (\text{Tesla}) \quad (8)$$

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

$$\frac{e}{m_e} = \frac{2V_a}{R^2 B^2} = 1,15 \cdot 10^5 \frac{V_a}{R^2 I^2}, \quad (9)$$

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:

- 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.

### 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 seleccione 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 o feixe 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 os novos valores de  $I$  para os mesmos valores de  $R$  e de  $V_a$ . 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 A, B, C e D)

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

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ Turno (dia – hora): \_\_\_\_<sup>a</sup> – \_\_\_\_ h Grupo: \_\_\_\_\_

### DETERMINAÇÃO DE $e/m$ POR DEFLEXÃO MAGNÉTICA

**Tabela 1**

**Ponto fixo utilizado:  $L =$  \_\_\_\_\_ (mm)**

$$R^2 = \frac{1}{2} \left( \frac{80^2 + L^2}{80 - L} \right)^2 = \text{_____ (mm}^2\text{)}$$

$$= \text{_____ (m}^2\text{)}$$

$e/m =$  \_\_\_\_\_  $\pm$  \_\_\_\_\_ (C/Kg)

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

**Tabela 2**

Ponto fixo utilizado:  $L = \text{_____}(\text{mm})$

$$R^2 = \frac{1}{2} \left( \frac{80^2 + L^2}{80 - L} \right)^2 = \text{_____}(\text{mm}^2)$$

$$= \text{_____}(\text{m}^2)$$

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

$V_a$ (V)	$I$ (A)
1500	
2000	
2500	
3000	
3500	
4000	
4500	
<hr/>	
1500	
2000	
2500	
3000	
3500	
4000	
4500	

**Tabela 3**

Ponto fixo utilizado:  $L = \text{_____}(\text{mm})$

$$R^2 = \frac{1}{2} \left( \frac{80^2 + L^2}{80 - L} \right)^2 = \text{_____}(\text{mm}^2)$$

$$= \text{_____}(\text{m}^2)$$

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

$V_a$ (V)	$I$ (A)
1500	
2000	
2500	
3000	
3500	
4000	
4500	
<hr/>	
1500	
2000	
2500	
3000	
3500	
4000	
4500	

**Nota:**

*Anexe os comentários/conclusões e todos os gráficos*