

## Determinação da carga específica do electrão, $e/m$



Departamento de Física da FCTUC  
Coimbra 2003

# Determinação da carga específica do electrão, $e/m$

## 1. Objectivo

- i) estudar o movimento de partículas carregadas (electrões) sob a acção de um campo magnético uniforme em função da intensidade do campo e da velocidade das partículas e
- ii) medir a carga específica do electrão, i.e., a razão entre a carga  $e$  do electrão e a sua massa  $m$ .

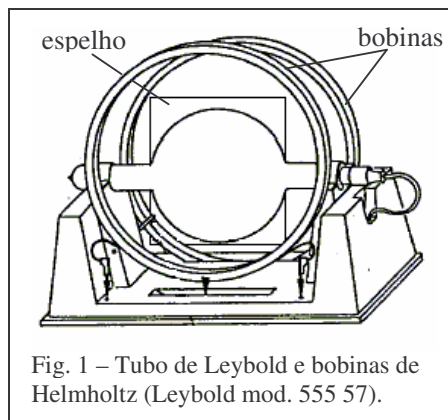
Será, pois, necessário:

- Gerar um feixe de electrões com uma velocidade bem definida;
- Produzir um campo magnético uniforme na região em que os electrões se vão movimentar;
- Visualizar o percurso dos electrões sob a acção do campo magnético.

## 2. Dispositivo experimental

O dispositivo experimental consiste:

- num tubo de Leybold;
- duas bobinas circulares paralelas (bobinas de Helmholtz), entre as quais está colocado o tubo de Leybold (figura 1), que criam um campo magnético uniforme no interior do tubo;
- um espelho colocado por trás do sistema que permite medir o diâmetro da trajectória dos electrões;
- uma régua com estilete;
- fonte de tensão contínua, variável entre 6 e 8 V;
- fonte de tensão contínua, variável entre 100 e 200 V;
- fonte de tensão alternada de 6,3 V;
- 1 amperímetro e 1 voltímetro;
- cabos de ligação.



O tubo de Leybold é constituído por uma ampola esférica que contém hidrogénio a uma pressão muito baixa ( $10^{-2}$  mm Hg). Colocado lateralmente está um canhão de electrões (ver Fig. 2) que permite obter um feixe de electrões suficientemente fino e com uma velocidade bem definida. O canhão de electrões é composto por um filamento envolvido por um cilindro metálico (o cátodo) e pelo cilindro de Wehnelt, por um ânodo de forma cónica e por duas placas deflectoras que não são utilizadas neste trabalho. Quando se faz passar uma corrente

pelo filamento, este fica incandescente e aquece indirectamente o cátodo provocando a libertação, por efeito termoiónico, de electrões da superfície metálica. Se se aplicar uma diferença de potencial entre o cátodo e o ânodo, os electrões são acelerados no campo eléctrico assim criado e entram na ampola com uma velocidade bem definida. O cilindro de Wehnelt controla a carga espacial de forma a produzir um feixe de electrões bem focado.

Uma vez dentro da ampola, os electrões ficam sujeitos à acção de um campo magnético, uniforme e perpendicular à trajectória dos electrões (criado pela corrente que circula através das bobinas de Helmholtz), que os obriga a descrever uma trajectória circular. Ao longo do seu movimento, alguns electrões sofrem colisões com as moléculas do meio (moléculas de hidrogénio), dando origem a iões excitados que rapidamente se desexcitam emitindo uma luz ténue azul clara, visível numa sala obscurecida. Esta emissão luminosa permite a visualização da trajectória dos electrões. A determinação da razão  $e/m$  faz-se a partir da medição do raio da trajectória circular descrita pelo feixe de electrões.

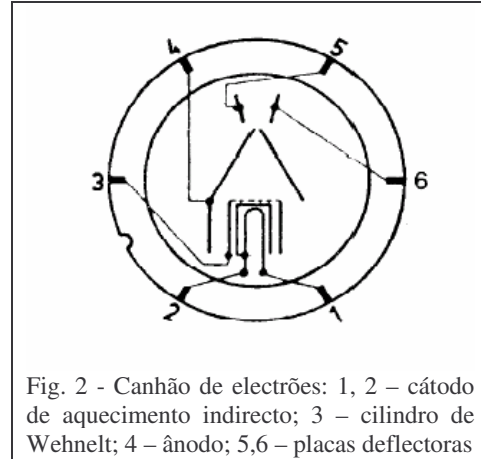


Fig. 2 - Canhão de electrões: 1, 2 – cátodo de aquecimento indirecto; 3 – cilindro de Wehnelt; 4 – ânodo; 5,6 – placas deflectoras

### 3. Teoria

#### 3.1 Movimento de cargas eléctricas sob a acção de um campo magnético uniforme:

Uma carga eléctrica  $q$ , animada de uma certa velocidade  $\vec{v}$ , ao atravessar um campo magnético  $\vec{B}$ , fica sujeita a uma força  $\vec{F}$  dada por

$$\vec{F} = q \vec{v} \wedge \vec{B}$$

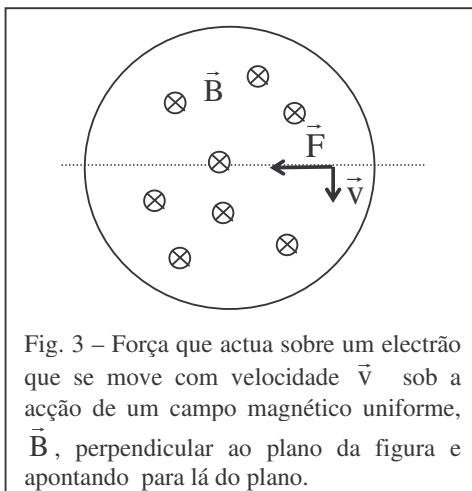


Fig. 3 – Força que actua sobre um electrão que se move com velocidade  $\vec{v}$  sob a acção de um campo magnético uniforme,  $\vec{B}$ , perpendicular ao plano da figura e apontando para lá do plano.

e actua perpendicularmente ao plano definido pelos  $\vec{v}$  e  $\vec{B}$ . Como  $\vec{F}$  é perpendicular a  $\vec{v}$ , os electrões são obrigados a descrever uma trajectória circular de raio  $r$ , sob a acção de uma força centrípeta

$$F_c = m \frac{v^2}{r}$$

cuja grandeza é

$$F_c = e v B$$

Igualando as duas expressões anteriores, vem

$$e v B = m \frac{v^2}{r}$$

e

$$\boxed{v = \frac{e}{m} B r} \quad \text{ou} \quad \boxed{r = \frac{m v}{e B}}$$

O raio da trajectória varia inversamente com a intensidade do campo magnético e é proporcional à velocidade com que os electrões saem do canhão electrónico.

A energia cinética adquirida pelos electrões à saída do canhão electrónico é igual ao trabalho realizado pelo campo eléctrico, ou seja,

$$\frac{1}{2} m v^2 = e V$$

em que V é a diferença de potencial estabelecida entre o ânodo e o cátodo metálico aquecido. Substituindo v pela sua expressão em função de B e r, vem

$$\frac{1}{2} m \frac{e^2}{m^2} B^2 r^2 = e V ,$$

donde,

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

### 3.2 Intensidade do campo magnético entre as bobinas:

A intensidade do campo magnético no centro da região situada entre as bobinas de Helmholtz é calculada a partir da lei de Biot e Savart, e vem dada por

$$B = \mu_0 n \frac{I}{R} \left( \frac{R^2}{R^2 + a^2} \right)^{\frac{3}{2}}$$

em que I é a intensidade da corrente que percorre as bobinas, R é o raio das bobinas, n é o número de espiras de cada bobina, a é a distância das bobinas ao centro da ampola e  $\mu_0 = 12,56 \times 10^{-7} \text{ V s A}^{-1} \text{ m}^{-1}$  (no SI) é permeabilidade do vazio.

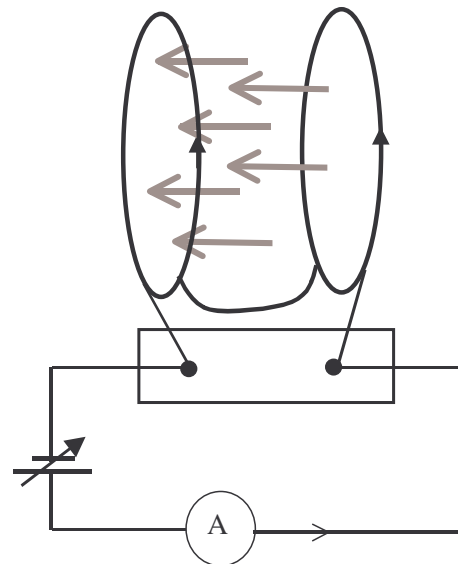


Figura 4

Substituindo o valor de B na relação anterior para  $e/m$ , vem

$$\frac{e}{m} = \frac{2 R^2}{\mu_0^2 n^2} \left( \frac{R^2 + a^2}{R^2} \right)^3 \frac{V}{I^2 r^2}$$

ou

$$\boxed{\frac{e}{m} = K \frac{V}{I^2 r^2}}$$

em que

$$K = \frac{2 R^2}{\mu_0^2 n^2} \left( \frac{R^2 + a^2}{R^2} \right)^3$$

é uma constante que só depende do meio e das características do aparelho utilizado.

O sistema da Leybold utilizado tem as seguintes características:

- número de espiras em cada bobina,  $n = 130$ ;
- raio das bobinas,  $R = 15$  cm;
- distância das bobinas ao centro da ampola,  $a = 7,5$  cm.

#### 4. Procedimento experimental

**ATENÇÃO:** NÃO LIGUE OS APARELHOS ANTES DO CIRCUITO TER SIDO VERIFICADO PELO PROFESSOR.

##### 4.1 – Montagem do circuito:

- Estabeleça as ligações indicadas no esquema.
- Ligue a tensão de aquecimento do cátodo (entre os terminais 1 e 2), a qual é fornecida por uma fonte de tensão alternada de 6,3 V;
- Quando o cátodo estiver incandescente ligue a tensão do ânodo, fornecida por uma fonte de tensão contínua, variável entre 100 e 200 V. Se a sala estiver obscurecida ver-se-á o feixe de electrões, provenientes do cátodo, seguir uma dada trajectória ao longo do eixo do ânodo cónico. Verifique se a trajectória é rectilínea e comente.
- Estabeleça uma diferença de potencial entre 6 e 8 V aos terminais das bobinas. Observe o que acontece ao feixe de electrões e comente.
- Ajuste a tensão aplicada ao cilindro de Wehnelt de modo a tentar melhorar a medição do raio da trajectória dos electrões.

4.2 – Estude a variação do raio da trajectória em função da tensão anódica, para um dado campo magnético aplicado; o raio de curvatura da trajectória descrita pelos electrões deve ser medido fazendo coincidir a imagem do feixe no espelho (colocado verticalmente por trás da ampola) com o próprio feixe e com o estilete da régua colocada em frente da ampola.

4.3 - Estude a variação do raio da trajectória dos electrões com a intensidade do campo magnético aplicado, para um dado valor da tensão anódica;

4.4 – Construa uma tabela com os valores da tensão anódica, corrente nas bobinas, raio da trajectória e respectivas incertezas (efectue pelo menos 10 medições de  $r$ , para diferentes valores de  $V$  e  $I$ ). Para cada par de valores ( $V, I$ ) calcule o valor de  $e/m$  e a incerteza na estimativa desta relação.

4.5 – Calcule o valor médio de  $e/m$  utilizando a média pesada:

$$\overline{\left(\frac{e}{m}\right)} = \frac{\sum_i \left(\frac{1}{\Delta(e/m)_i}\right)^2 \left(\frac{e}{m}\right)_i}{\sum_i \left(\frac{1}{\Delta(e/m)_i}\right)^2} \quad \text{e} \quad \Delta\left(\frac{e}{m}\right) = \frac{1}{\sqrt{\sum_i \left(\frac{1}{\Delta(e/m)_i}\right)^2}}$$

4.6 – A estimativa para o melhor valor de  $e/m$  poderia também ser obtido usando um método gráfico. Explique em que consiste esse método e obtenha um valor para a razão  $e/m$  e para a respectiva incerteza.

4.6 – O valor indicado pelo “Handbook of Chemistry and Physics” (CRC Press 60<sup>th</sup> edition) para o valor de  $e/m$  é  $1,7588047(49) \times 10^{11} \text{ C kg}^{-1}$ . Comente a compatibilidade entre o resultado que obteve e este valor.

4.7 – Indique os processos físicos envolvidos nesta experiência.

## 5. Bibliografia

1. “Física”, Paul Tipler, LTC - Livros Técnicos e Científicos S.A., Rio de Janeiro, 2000.
2. “Física”, M. Alonso e E. Finn, Addison-Wesley, 1999.
3. “Elementos de Física Atómica”, E. Martinho, Lisboa, 1971.