

1º Semestre 2003/2004
Instituto Superior Técnico



Experiência de Thomson

Licenciatura em Engenharia Física Tecnológica

Ricardo Figueira nº53755
André Cunha nº53757
Tiago Marques nº53775

LFX4
Professor Bernardo Brotas de Carvalho

Lisboa, 6 de Novembro de 2003

Introdução

Objectivos

- Determinação da q/m do electrão por deflexão magnética e deflexão magnética e eléctrica compensadas.
- Observar a trajectória dos raios catódicos quando as forças magnéticas e eléctricas não se compensam

Princípio do Método

A análise dos efeitos de um campo eléctrico e/ou magnético sobre um feixe electrónico (raios catódicos) vai permitir a determinação experimental do quociente q/m . Fazendo passar por um filamento uma d.d.p. de 6,3 V (AC) com intensidade de 2 A provoca-se o efeito termoiónico de excitação de electrões. Se sujeitarmos os electrões libertados a uma nova d.d.p. de 4,5 kV (DC) estão criadas as condições para o surgimento de um feixe electrónico (raios catódicos). Deste modo, os electrões serão acelerados em direcção ao ânodo (carregado positivamente) com uma velocidade V que nos pode ser dada pela equação

$$qV = \frac{1}{2} m v^2 \quad (1)$$

Ao serem acelerados, o fabricante do tubo utilizado, um TEL 525, assegura que o campo eléctrico não se estende para além do ânodo, pelo que os electrões mantêm a velocidade até ali adquirida projectando-se para uma nova secção do tubo.

Nesta nova secção do tubo, foram aplicadas duas bobinas de indução magnética (as bobinas de Helmholtz), bem como, duas placas metálicas horizontais. As placas e as bobinas visam, respectivamente, criar um campo eléctrico e um campo magnético ambos de direcção vertical. Colocado obliquamente ao feixe de electrões está uma placa fluorescente que emitirá luminosidade quando os electrões colidirem na sua superfície, permitindo evidenciar a trajectória dos mesmos.

À medida a que feixe electrónico for sujeito a diferentes perturbações, as consequências na sua trajectória poderão ser analisadas pela fluorescência da já referida placa. Numa primeira fase, em que tanto as bobinas de Helmholtz como as placas verticais se encontram desactivadas, é possível observar que o feixe electrónico se propaga em linha recta. Ao introduzirmos uma perturbação magnética com as bobinas utilizadas, os electrões passam a descrever uma trajectória circular de raio (R) que se pode calcular a partir da equação

$$Bqv = \frac{mv^2}{R} \quad (3)$$

O raio (R) ainda pode ser calculado a partir da equação

$$R = \frac{Y^2 + Z^2}{2Z} \quad (4)$$

em que são levadas em conta as coordenadas Y e Z de colisão dos electrões com a placa fluorescente.

Se injectarmos a equação 1 na 3, obtém-se o quociente pretendido em função de três parâmetros simples V, B e R, ou seja,

$$\frac{q}{m} = \frac{2V}{B^2 R^2} \quad (5)$$

Se introduzirmos agora uma nova perturbação no sistema, sujeitando as duas placas metálicas horizontais a uma d.d.p. (que tem igual origem à que acelera os electrões do feixe), obtém-se uma nova trajectória. Se equilibrarmos as forças geradas por ambos os campos, chega-se a uma situação semelhante à inicial em que a trajectória é rectilínea. Esta situação de equilíbrio é descrita pela seguinte relação

$$\left| \vec{E} \right| = v \left| \vec{B} \right| = \frac{V}{d} \quad (6)$$

na qual V representa a d.d.p. entre as placas e d a distância que as separa.

Nesta situação de equilíbrio a equação 1 volta a ser válida, pelo que, combinada com a relação anterior se obtém

$$\frac{q}{m} = \frac{1}{2} \frac{V}{B^2 d^2} \quad (7)$$

Esta nova expressão facilita as medições, já que não é mais necessário medir as coordenadas de colisão Y e Z, para agora medir apenas a distância que separa as placas.

Esquema de ligações

Cálculo de Erros:

Geral:

$$\Delta R = \left| \frac{\partial R}{\partial x} \right| \Delta x + \left| \frac{\partial R}{\partial y} \right| \Delta y = \left| \frac{x}{y} \right| \Delta x + \left| \frac{y^2 - x^2}{2y^2} \right| \Delta y$$

$$\Delta B = \left| \frac{\partial B}{\partial I} \right| \Delta I = \frac{32\pi m \cdot 10^{-7}}{5\sqrt{5} \cdot r} \cdot \Delta I$$

Deflexão magnética:

$$\Delta \frac{q}{m} = \left| \frac{\partial \frac{q}{m}}{\partial V} \right| \Delta V + \left| \frac{\partial \frac{q}{m}}{\partial B} \right| \Delta B + \left| \frac{\partial \frac{q}{m}}{\partial R} \right| \Delta R = \frac{2\Delta V}{B^2 R^2} \cdot \Delta V + \frac{4VR^2 B}{B^4 R^4} \cdot \Delta B + \frac{4VB^2 R}{B^4 R^4} \cdot \Delta R$$

Deflexão electromagnética:

$$\Delta \frac{q}{m} = \left| \frac{\partial \frac{q}{m}}{\partial V} \right| \Delta V + \left| \frac{\partial \frac{q}{m}}{\partial B} \right| \Delta B + \left| \frac{\partial \frac{q}{m}}{\partial d} \right| \Delta d = \frac{\Delta V}{2 \cdot B^2 d^2} + \frac{V}{B^3 d^2} \cdot \Delta B + \frac{V}{B^2 d^3} \cdot \Delta d$$

Conclusões

A partir do primeiro método utilizado para a determinação do quociente $\frac{q}{m}$, a deflexão magnética, obtiveram-se resultados cuja precisão e exactidão assumem valores que evidenciam claramente a baixa fiabilidade dos mesmos. O valor obtido

$\frac{q}{m}$ para m foi de $2,595 \times 10^{11} \text{ C}^{-1}/\text{kg}$, o que, desde já, evidencia um desvio à exactidão de 47,5% em relação ao valor tabelado. O erro de precisão, por sua vez, assume um valor menor embora não desprezável de 19,1 %.

Tais discrepâncias podem ser atribuídas a diversos factores, como, por exemplo, o facto da fonte de alimentação não evidenciar quantitativamente a tensão da corrente disponibilizada, recorrendo a um sistema de LED's pouco fiável. No entanto, neste último caso em particular, procedemos de forma a tentar diminuir o erro de precisão, isto é, fizemos as medições tanto para a deflexão ascendente como para a descendente sem alterar a tensão produzida, ou seja, certificámo-nos que a d.d.p. produzida era exactamente igual para ambos casos invertendo a deflexão para cada tensão. Outras das fontes de erro existentes reside na medição da intensidade da corrente, i.e., uma deficiente medição do valor da intensidade da corrente provocará um erro que se propagará para o cálculo de B, influenciando o resultado final. Porém, a maior fonte de erro, como se poderá ver na Tabela 1, reside na própria medição do raio (R), dado que a variação da largura do “feixe” na placa fluorescente, impede a correcta leitura das coordenadas que atravessa.

Utilizando o segundo método chegou-se ao valor experimental de m igual a $0,7424 \times 10^{11} \text{ C}^{-1}/\text{kg}$ que, para além de ser bastante diferente do obtido com o primeiro método encontra-se também bastante afastado do valor tabelado, ou seja, um erro à exactidão de 57,8%. No entanto, desta feita, o erro à precisão é bastante reduzido, apesar do baixo número de medições (2,4% de erro à precisão). Consequentemente, conclui-se que deverão existir más calibrações no equipamento utilizado.

Dado os resultados obtidos, conclui-se que o primeiro método permitiu-nos obter um valor mais exacto enquanto que o segundo um mais preciso. É importante referir que o número de medições realizadas em cada método é bastante diferente. De um modo geral consideramos que um erro à exactidão superior a 40 %, como os que obtivemos,

é bastante elevado para uma boa estimativa do valor de m . Desta forma, a experiência apenas nos permite obter uma noção da ordem de grandeza do valor da constante. Para ambos os métodos comparámos ainda a contribuição relativa média da

incerteza das grandezas utilizadas para calcular $\frac{q}{m}$, com o valor de percentagem que

o erro médio obtido representava do valor de m médio. Vimos que estes valores eram praticamente equivalentes.

Ainda tivemos a oportunidade de observar a trajectória dos electrões quando as forças eléctrica (provocada pelo campo eléctrico gerado pelas placas do écran fluorescente) e magnética (provocada pelo campo magnético gerado pelas bobinas de Helmholtz) não se compensam. Desta forma a trajectória dos electrões assemelhou-se a uma sucessão de curvas trocoides. Para um campo eléctrico fixo, ao aumentarmos a corrente percorrida nas bobinas as curvas aproximam-se. Para o mesmo campo magnético, ao diminuirmos o potencial aos terminais das placas, foi observada a mesma aproximação das curvas descrita.

Apêndice

Bibliografia:

- Contribuição para o desenvolvimento do ensino da Física Experimental no IST, António C. Ribeiro, Pedro Sebastião e Francisco Tomé
- Apontamentos das aulas práticas e teóricas e protocolos, professor Bernardo Brotas e Isabel Cabaço