

Descoberta do Elétron: Experimento de Thomson

Marcia Rizzutto

Muitos estudos de descargas elétricas em gases foram realizados no final do século XIX. Em 1906, J. J. Thomson recebeu o prêmio Nobel de Física pela descoberta do elétron através de medidas da relação carga-massa $\frac{e}{m}$. Para tanto, fez-se uso de campos elétricos e magnéticos. O aparato expe-

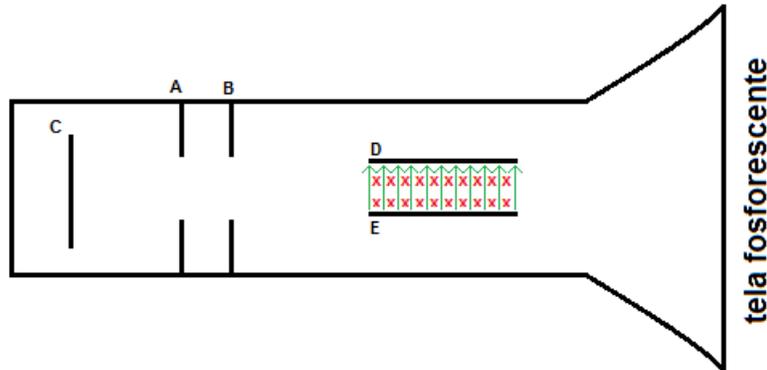


Fig. 1: Representação do aparato de Thomson. (A)(B) Anodo (A) e sistema de fendas (A e B); (C) Catodo aquecido; (D)(E) Capacitor de placas paralelas; na região entre (D) e (E) é aplicado um campo elétrico, cuja direção e sentido são representados em verde, e um campo magnético, cuja direção e sentido são representados em vermelho.

rimental, ilustrado na figura 1, mostra como foi realizado o experimento. A deflexão ocorre sob o efeito do campo elétrico aplicado entre as placas D e E. Nesta região as partículas são deslocadas para cima conforme $y_1 = \frac{1}{2}at_1^2$ cuja aceleração é devida à força elétrica $F_{\text{Elétrica}} = eE$ entre as placas. Então:

$$F = ma = eE = e\frac{V}{d} \quad \therefore a = \frac{e}{m} \frac{V}{d} = \frac{e}{m} \mathcal{E}$$

Sabemos, no entanto, que a distância percorrida pela partícula é simplesmente $x_1 = v_x t_1$. Desse modo, podemos isolar t_1 de modo a obter:

$$\therefore y_1 = \frac{1}{2} \frac{e}{m} \frac{V}{d} \left(\frac{x_1}{v_x} \right)^2 = \frac{1}{2} \frac{e\mathcal{E}}{m} \left(\frac{x_1}{v_x} \right)^2$$

Depois de deixarem a região das placas as partículas sofrem uma deflexão

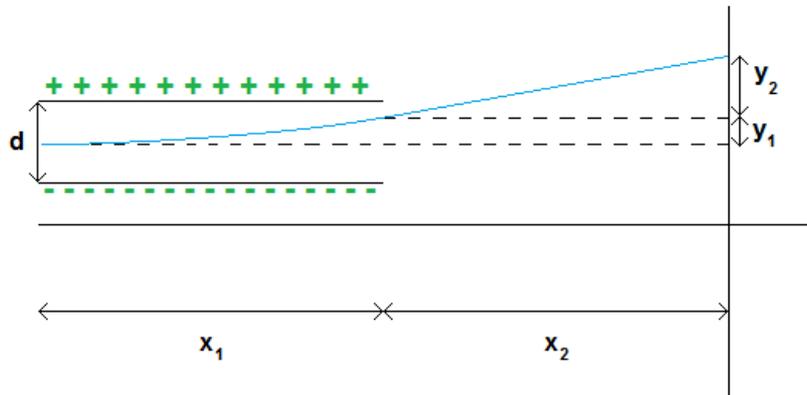


Fig. 2: Ilustração dos deslocamentos do experimento de Thomson.

adicional y_2 . O tempo até o contato com a tela fosforescente é $t_2 = \frac{x_2}{v_x}$. Assim:

$$y_2 = v_y t_2 = (at_1) \frac{x_2}{v_x} = \frac{e}{m} \mathcal{E} \frac{x_1 x_2}{v_x^2}$$

Desse modo, a deflexão total $y_1 + y_2$ é proporcional a $\frac{e}{m}$:

$$y_1 + y_2 = \frac{e}{m} \mathcal{E} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{x_1}{v_x} \right)^2 + \frac{x_1 x_2}{v_x^2} \right]$$

$$y_1 + y_2 = \frac{e}{m} \frac{\mathcal{E} x_1}{v_x^2} \left[\frac{x_1}{2} + x_2 \right]$$

→ As grandezas x_1 , x_2 e \mathcal{E} são conhecidas pois podem ser medidas com régua – as duas primeiras – e multímetro – a última.

→ As grandezas v_x e $\frac{e}{m}$ são desconhecidas. Para determinar v_x usa-se um campo magnético perpendicular ao campo elétrico e ao sentido do deslocamento em x que cancele o efeito do campo elétrico:

$$F_M = F_{El} \rightarrow ev_x B = eE \rightarrow v_x = \frac{E}{B} = \frac{\mathcal{E}}{B}$$

E, desse modo,

$$y_1 + y_2 = \frac{e}{m} \frac{\mathcal{E} B^2 x_1}{\mathcal{E}^2} \left[\frac{x_1}{2} + x_2 \right] = \frac{e}{m} \frac{B^2 x_1}{\mathcal{E}} \left[\frac{x_1^2}{2} + x_1 x_2 \right]$$

Variando-se $x_1 + x_2$ com os demais parâmetros fixos, a medida de $y_1 + y_2$ permite obter $\frac{e}{m}$. Thomson obteve o valor de $\frac{e}{m} \approx 0,7 \times 10^{11} C/kg$, da mesma ordem de grandeza do valor conhecido hoje, $\frac{e}{m} \approx 1,76 \times 10^{11} C/kg$. A diferença surge do fato de que Thomson não levou em conta o efeito do campo magnético terrestre fora da região entre as placas.

Thomson usa diferentes gases no interior do tubo e catodos feitos de diferentes metais, mas obteve sempre o mesmo valor (dentro da incerteza experimental). Isto leva a uma forte indicação de que todos os elétrons possuem a mesma carga elétrica negativa e .

Exercício

As placas D e E, ilustradas na figura 1, estão separadas por 1,5 cm, tem 5 cm de comprimento e são mantidas a uma d.d.p. de 50 V. É dada a relação carga massa do elétron: $\frac{e}{m} \approx 1,76 \times 10^{11} C/kg$, a carga do elétron $e \approx 1,6 \times 10^{-19} C$ e a massa do elétron $m \approx 9 \times 10^{-31} kg$.

- Se os elétrons tem energia cinética igual a 2000 eV encontre a deflexão produzida em um percurso de 5 cm entre as placas.
- Qual a deflexão total da mancha na tela considerando que o feixe percorra um adicional de 30 cm na região livre de campo antes de bater na tela?
- Qual a intensidade de campo magnético que seria necessária entre as placas para que não houvesse deflexão?

Solução

a) O campo elétrico entre as placas é dado por: $E = \frac{V}{d} = \frac{50V}{0,015m}$. Deste modo, o deslocamento vertical na região onde existe o campo elétrico é dado por:

$$y_1 = \frac{1}{2} \frac{e V}{m d} \left(\frac{x}{v_x} \right)^2$$

A velocidade do elétron pode ser encontrada fazendo:

$$T = \frac{1}{2} m v^2 = 2000 eV \approx 2 \times 10^3 \times 1,6 \times 10^{-19} J = 3,2 \times 10^{-16} J$$

$$\rightarrow v^2 = \frac{2T}{m} = \frac{6,4 \times 10^{-16}}{9 \times 10^{-31}} \approx 7 \times 10^{14} m^2/s^2$$

Desse modo, inserimos os resultados na equação anterior:

$$y_1 = \frac{1}{2} (1,76 \times 10^{11}) \left(\frac{50}{0,015} \right) \frac{(0,05)^2}{7 \times 10^{14}} m = 1,04 \times 10^{-3} m = 1,04 mm.$$

b) Para obter a deflexão da mancha, é necessário determinar agora o deslocamento na região livre de campos. Para tanto, utilizamos que: $v_y = at_1 = \frac{e}{m} \mathcal{E} \frac{x_1}{v_x}$ de modo que

$$y_2 = v_y t_2 = \frac{e}{m} \mathcal{E} \frac{x_1 x_2}{v_x^2} = 1,76 \times 10^{11} \frac{50 \cdot 0,05 \cdot 0,3}{0,015 \cdot 7,1 \times 10^{14}} m = 1,34 \times 10^{-2} m = 1,24 cm$$

E, portanto, $y_1 + y_2 = 0,104 cm + 1,24 cm = 1,34 cm$.

c) Para que não haja deflexão,

$$\vec{F}_M + \vec{F}_{El} = \vec{0} \rightarrow 0 = qE - ev_x B \rightarrow E = v_x B \rightarrow B = \frac{E}{v_x} = \frac{V}{d} \frac{1}{v_x}$$

portanto $B = \frac{50}{0,015} \frac{1}{2,65 \times 10^7} T = 1,26 \times 10^{-4} T = 1,26 G$.