

## 1. A descoberta do elétron

No texto do livro vimos que o elétron foi identificado em 1897 por meio de um experimento realizado por J. J. Thomson. Vamos agora apresentar detalhes desse experimento.

No fim do século XIX, um dos vários fenômenos que intrigavam os físicos era a **descarga elétrica em gases rarefeitos**, obtida por meio de um dispositivo semelhante ao esquematizado na figura 1. Nesse experimento, em um tubo de vidro dentro do qual havia gás rarefeito, os cientistas colocavam dois eletrodos metálicos: um catodo C e um anodo A. Ao aplicar-se aos eletrodos uma grande tensão, alguma “coisa” parecia ser emitida do catodo, e a essa “coisa” deu-se o nome de **raios catódicos**. No caso de certos valores de pressão do gás, esses raios eram percebidos como linhas luminosas, que iam do catodo à outra extremidade do tubo (fig. 2). Porém, quando a pressão era muito pequena, o raio era detectado como uma mancha brilhante na extremidade do tubo.

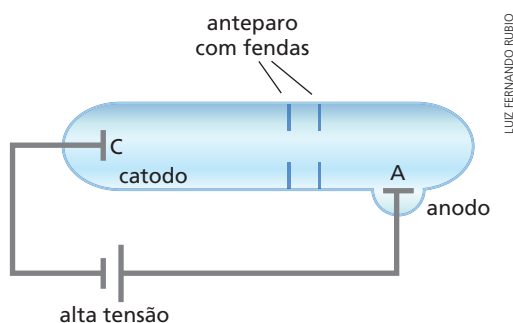


Figura 1.

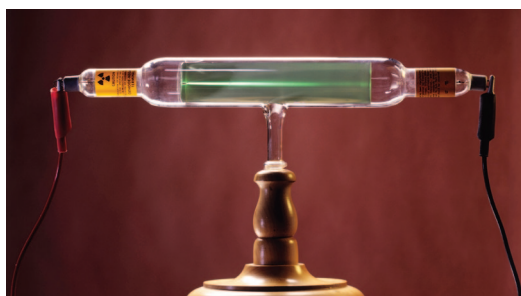


Figura 2. Os elétrons se movem do catodo para o anodo.



Figura 3. O caminho dos elétrons é desviado pelo ímã.

Alguns físicos achavam que esses raios possuíam natureza semelhante à da luz, enquanto outros defendiam que eles eram partículas com carga elétrica. A hipótese das partículas foi fortalecida quando se percebeu que a aplicação de um campo magnético (fig. 3) provocava o desvio do feixe. No entanto, quando se tentava aplicar um campo elétrico por meio de um par de placas paralelas, como ilustra a figura 4, não se conseguia obter o desvio.

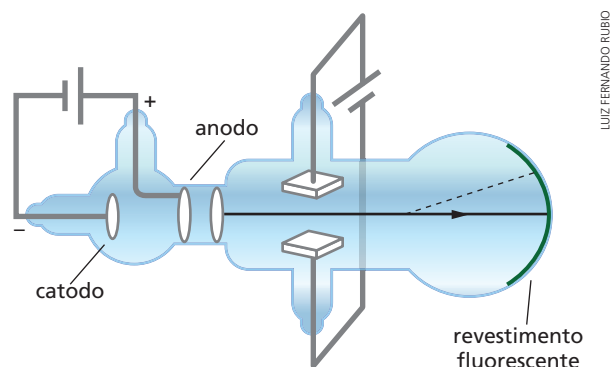


Figura 4.

A primeira contribuição importante de Thomson foi mostrar que o feixe é desviado quando a pressão do gás tem valor bem menor do que os valores experimentados antes (mais adiante discutiremos por quê). Em seguida, ele estudou o desvio produzido no feixe ao estabelecer um campo elétrico entre as placas (fig. 6).

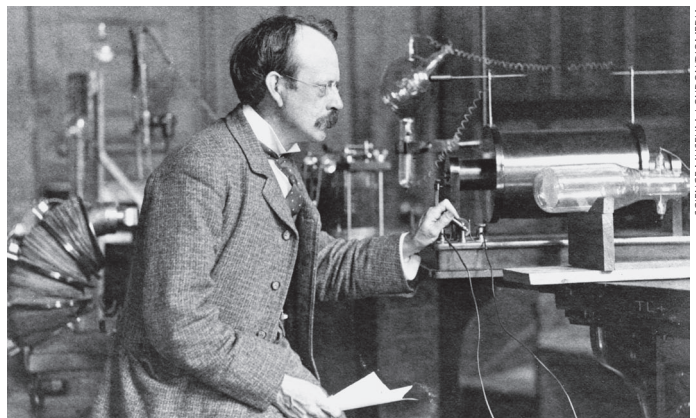


Figura 5. Thomson mostrando o funcionamento de seu equipamento.

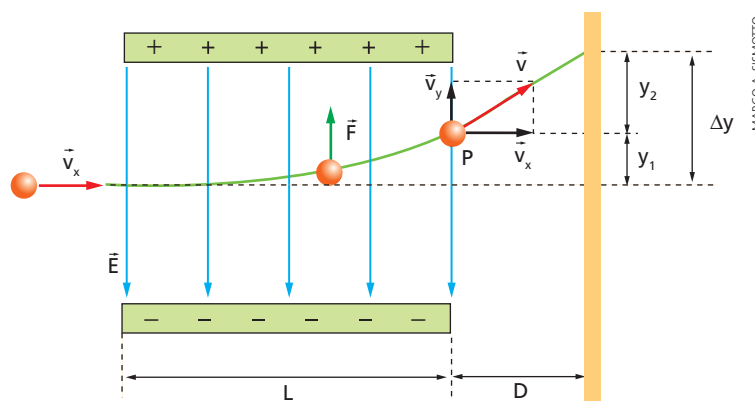


Figura 6.

Thomson notou que a partícula emitida pelo catodo penetra na região entre as placas com velocidade horizontal  $\vec{v}_x$ , a qual se mantém constante. Assim, para atravessar o trecho de comprimento  $L$ , o tempo  $t_1$  é calculado por:

$$t_1 = \frac{L}{v_x} \quad (1)$$

Na vertical, a partícula sofre a ação da força elétrica  $F$ , cujo módulo é  $F = |q| \cdot E$ , em que  $q$  é a carga da partícula. Portanto, sendo  $m$  a massa da partícula e  $a$  a aceleração do movimento vertical, podemos deduzir que:

$$F = |q| \cdot E = m \cdot a \Rightarrow a = \frac{|q| \cdot E}{m} \quad (2)$$

Quando a partícula abandona a região entre as placas (ponto  $P$ ), dizemos que ela teve um deslocamento vertical  $y_1$ , e apresenta uma velocidade vertical  $\vec{v}_y$ . Tanto  $y_1$  quanto  $\vec{v}_y$  podem ser calculados pelas equações do movimento uniformemente variado:

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{a}{2} t^2 \Rightarrow y_1 = \frac{a}{2} (t_1)^2 = \frac{|q| \cdot E}{2m} \left( \frac{L}{v_x} \right)^2$$

$$v = v_0 + a \cdot t \Rightarrow v_y = a \cdot t_1 = \frac{|q| \cdot E}{m} \left( \frac{L}{v_x} \right)$$

Ao abandonar a região entre as placas, a partícula terá velocidade constante  $\vec{v}$ , de componentes  $\vec{v}_x$  e  $\vec{v}_y$ .

O tempo gasto para percorrer o trecho de comprimento  $D$  é:

$$t_2 = \frac{D}{v_x}$$

Assim:

$$y_2 = v_y \cdot t_2 = \frac{|q| \cdot E \left( \frac{L}{v_x} \right) \cdot \left( \frac{D}{v_x} \right)}{m \cdot v_x^2} = \frac{|q| \cdot E \cdot L \cdot D}{m \cdot v_x^2}$$

Portanto, o deslocamento total na vertical ( $\Delta y$ ) pode ser determinado por:

$$\Delta y = y_1 + y_2 = \frac{|q| \cdot E}{2m} \left( \frac{L^2}{v_x^2} \right) + \frac{|q| \cdot E \cdot L \cdot D}{m \cdot v_x^2} = \frac{|q|}{m} \cdot \frac{E \cdot L}{v_x^2} \left( \frac{L}{2} + D \right) \quad (3)$$

Nessa equação são conhecidos os valores de  $\Delta y$ ,  $E$ ,  $L$  e  $D$ . O valor de  $\Delta y$  é medido no tubo e o valor de  $E$  é dado por  $E = \frac{U}{d}$ , igualdade na qual  $U$  é a tensão entre as placas e  $d$  é a distância entre elas.

Portanto, há três incógnitas:  $|q|$ ,  $m$  e  $v_x$ .

Para obter o valor de  $v_x$ , Thomson aplicou um campo magnético uniforme  $\vec{B}$  (fig. 7) perpendicular a  $\vec{E}$ , e ajustou os valores de  $E$  e  $B$  até conseguir que o feixe não sofresse desvio. Nesse caso, como vimos na teoria, temos:

$$v_x = \frac{E}{B} \quad (4)$$

Introduzindo (4) em (3), obtemos:

$$\Delta y = \frac{|q|}{m} \cdot \frac{B^2 \cdot L}{E} \left( \frac{L}{2} + D \right)$$

OU:

$$\frac{|q|}{m} = \frac{E(\Delta y)}{B^2 \cdot L \left( \frac{L}{2} + D \right)}$$

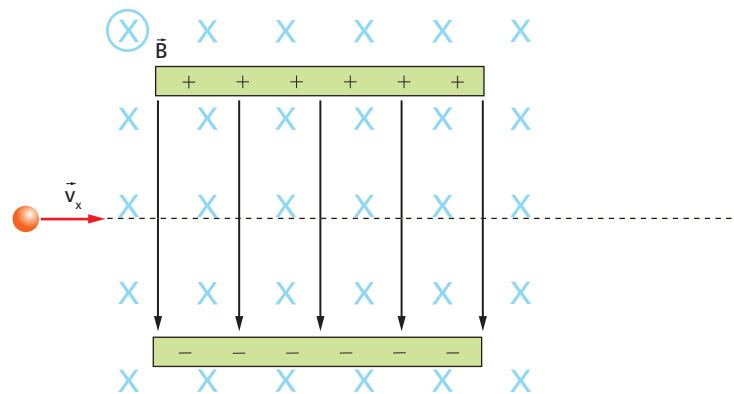


Figura 7.

Thomson repetiu o experimento várias vezes, usando gases diferentes e eletrodos de metais diferentes e obteve sempre o mesmo valor para  $\frac{|q|}{m}$ . Daí ele concluiu que partículas com carga negativa constituíam todo tipo de matéria. Nesse momento o elétron começava a ser identificado.

Os pesquisadores anteriores a Thomson não conseguiram desviar o feixe pela aplicação de um campo elétrico, pelo fato de terem usado gases não suficientemente rarefeitos. Desse modo ocorriam muitas colisões entre os elétrons do catodo e as moléculas do gás, o que provocava ionização. Esses íons neutralizavam as cargas das placas paralelas, e assim eliminavam o campo elétrico.

## 2. Auroras

Como já comentamos, em campos magnéticos não uniformes o movimento de cargas elétricas pode ser bastante complexo, fugindo ao nosso campo de estudos no momento. No entanto, há uma situação em especial que merece ser comentada aqui.

Na figura 8 temos as linhas de um campo magnético não uniforme. Em Y e Z, onde as linhas são mais próximas, o campo é mais intenso do que em W. Nesse caso, as cargas elétricas podem descrever trajetórias como a indicada na figura, de modo que, ao chegar a um extremo (Y ou Z), elas são refletidas e ficam permanentemente presas nessa região. Essa configuração, chamada de **garrafa magnética**, tem sido usada em laboratório, para aprisionar gases muito quentes (temperaturas acima de  $10^6$  K) e formados por íons positivos e elétrons. Esses gases são, na realidade, conhecidos como plasmas e têm sido muito estudados, pois possuem uma série de aplicações industriais.

A Terra é continuamente bombardeada por raios cósmicos, formados na maioria por prótons e elétrons. Esses raios vêm principalmente do Sol e são chamados de **vento solar**.

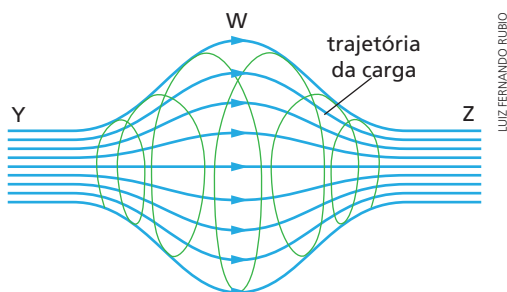


Figura 8.

Muitas dessas partículas são aprisionadas pelo campo magnético terrestre como na garrafa magnética (fig. 9) e ficam em movimento helicoidal, indo e vindo. Em 1958, o primeiro satélite artificial americano, o *Explorer 1*, coletou alguns dados que foram analisados pela equipe de pesquisadores chefiada pelo físico americano James Alfred Van Allen (1914-2006).

Essa equipe chegou à conclusão de que essas partículas ficavam aprisionadas em duas regiões em forma de “rosquinha” que envolviam a Terra (fig. 10) e que foram chamadas de **cinturões de Van Allen**.

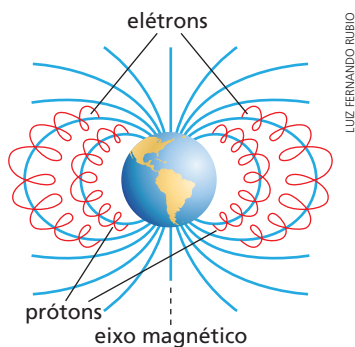


Figura 9.

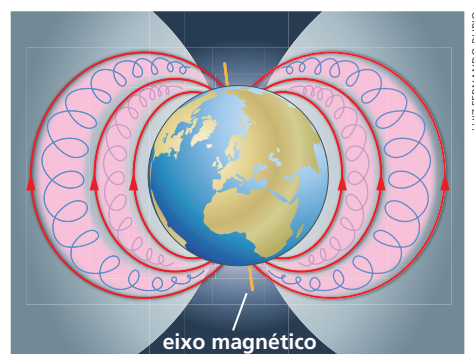


Figura 10.

Essas duas regiões situam-se, aproximadamente, a 3 000 km e 20 000 km acima da superfície terrestre. A região interior é de prótons, e a externa, de elétrons.

Às vezes ocorrem tempestades solares muito intensas, que aumentam a quantidade de partículas enviadas à Terra. Quando há um aumento grande do número de partículas dentro dos cinturões, ocorre um escape de elétrons no ponto que seria de reflexão, isto é, nos extremos da “garrafa”, que estão **próximo aos polos**. Esses elétrons colidem com os átomos e moléculas da atmosfera, os quais ganham energia. Essa energia é imediatamente devolvida na forma de luz. Esse processo de emissão de luz ocorre, por exemplo, nos raios: o relâmpago é a luz emitida pelos átomos (ou moléculas) da atmosfera ao sofrerem a colisão com as cargas elétricas que compõem o raio.

No caso das partículas que escapam dos cinturões de Van Allen, é produzido um intenso feixe de luz de várias cores (veja a figura 25 no capítulo 17 do livro) a uma altitude de aproximadamente 100 km, tendo milhares de quilômetros de extensão mas aproximadamente 1 km de espessura apenas. Sua forma é a de uma oval, como ilustra a figura 11, e esse feixe é chamado **aurora**.

Quando a aurora ocorre próximo ao polo norte, ela é chamada de **aurora boreal**; ao ocorrer próximo ao polo sul, chama-se **aurora austral**.

De modo geral, as auroras acontecem perto dos polos. No entanto, quando o vento solar é muito intenso, pode haver escape de elétrons em regiões mais próximas do equador, originando assim as **auroras tropicais**, que são fenômenos mais raros.

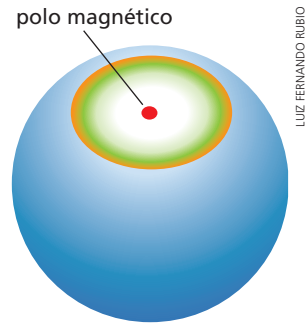


Figura 11.

