

# Capitolo 2

## Gli albori

### 2.1 Il tubo catodico

Molte delle scoperte che, a cavallo del secolo, pongono le basi della moderna fisica atomica, sono legate allo sviluppo delle tecniche dei tubi a vuoto, ed in particolare al tubo catodico. A partire dal 1857, Geissler aveva cominciato ad utilizzare tubi di vetro, dotati di due elettrodi alle estremità, con i quali studiava la scarica elettroluminescente nei gas. Utilizzando una pompa a vuoto, poteva studiare la scarica in funzione della pressione del gas. Ma anche con pressioni bassissime, applicando un'alta tensione tra gli elettrodi, dal lato dell'anodo positivo compariva una luminescenza verdastra. Il fenomeno era indipendente dal gas residuo presente nel tubo o dal materiale con cui erano realizzati gli elettrodi. Nel 1878 Crookes, attraverso l'uso di uno schermo fluorescente in prossimità dell'anodo, dimostrò che la luminescenza doveva essere associata alla propagazione di una forma di raggio, che poteva essere assorbito da un ostacolo, generando un'ombra sullo schermo. Inoltre stabilì che questi *raggi catodici* venivano deviati da un campo magnetico.

Prima ancora che Thomson comprendesse la natura dei raggi catodici, Röntgen, l'8 novembre del 1895, scoprì che questi, colpendo strati di materiali diversi, producevano un altro tipo di radiazione penetrante ed invisibile ad occhio nudo, a cui diede il nome di *raggi X*. Questi, a differenza dei raggi catodici, potevano attraversare la materia, impressionando selettivamente schermi fluorescenti o lastre fotografiche. I raggi X divennero immediatamente noti al grande pubblico proprio per la capacità di rendere visibili le ossa all'interno del corpo umano, fenomeno che Röntgen sperimentò su se stesso



Figura 2.1: Un tubo catodico utilizzato da Crookes: la croce maltese di metallo all'interno serviva per dimostrare l'assorbimento dei raggi catodici, con formazione di un'ombra sullo schermo fluorescente (a sinistra).

in maniera quasi casuale. Oggi sappiamo che i raggi catodici sono costituiti da elettroni e che i raggi X sono fotoni, che possono essere irraggiati dagli elettroni incidenti, a causa delle forti deflessioni nel campo dei nuclei atomici dell'anodo (spettro continuo) oppure, nel caso gli elettroni incidenti strappino degli elettroni dagli strati più interni, possono essere emessi da transizioni di elettroni esterni verso le lacune così create, con energia corrispondente alla differenza tra i due stati elettronici (spettro a righe).

## 2.2 La radioattività

Un anno più tardi rispetto alla scoperta dei raggi X, nel 1896, un'altra impressione casuale di una lastra fotografica lasciava la prima traccia di un fenomeno apparentemente simile, ma che si rivelò di origine piuttosto diversa. Becquerel, preparando un'esperienza sulla fosforescenza dei sali di uranio, fenomeno che sospettava essere in qualche relazione con i raggi X di Röntgen, si accorse che il materiale era in grado di impressionare una lastra fotografica anche senza essere preventivamente esposto alla luce. La conclusione era che il materiale doveva emettere spontaneamente una radiazione con proprietà simili ai raggi X. Becquerel aveva scoperto la *radioattività* naturale, come

venne successivamente chiamata da Maria Sklodowska-Curie. In collaborazione col marito Pierre Curie, nel 1898 Maria dimostrò che una radioattività molto più intensa di quella dovuta all'uranio era associata a due elementi chimici fino ad allora sconosciuti, a cui diede il nome di polonio e radio. Fu però Rutherford nello stesso anno a dimostrare che la radioattività naturale allora osservata era dovuta a radiazioni diverse dai raggi X, denominate quindi raggi  $\alpha$  e  $\beta$ , che venivano deviate in direzioni opposte da un campo magnetico esterno. A questi si aggiungono nel 1900 i raggi  $\gamma$ , scoperti da Villard come componente non “deviabile” della radioattività. Nel 1909 Rutherford identifica i raggi  $\alpha$  come nuclei di elio ionizzati, di carica pari a  $2e$ .

## 2.3 La scoperta dell'elettrone

Nel frattempo, nel 1897, J.J. Thomson, studiando la deflessione dei raggi catodici sottoposti all'effetto combinato di campi elettrici e magnetici (come schematicamente illustrato nella figura 2.2), dimostrò che questi non solo erano associati a cariche elettriche negative, ma dovevano essere costituiti da corpuscoli con un rapporto ben definito tra carica e massa, gli elettroni (questo nome era stato proposto da G.J. Stoney nel 1891 per indicare l'unità elementare di carica elettrica).

Con riferimento alla figura 2.2 valutiamo prima di tutto la deflessione  $y_1$  prodotta su una carica  $e$  da un campo elettrico  $E$  ortogonale alla velocità  $v$  della carica, che agisce lungo un tratto  $x_1$  della traiettoria con una forza data da  $eE$  e quindi imprime una accelerazione  $eE/m$  che agisce per un tempo  $t_1 = x_1/v$ :

$$y_1 = \frac{1}{2} \frac{eE}{m} t^2 = \frac{1}{2} \frac{eE}{m} \left( \frac{x_1}{v} \right)^2. \quad (2.1)$$

Proseguendo ora per un tratto  $x_2$  fino allo schermo con una componente  $y$  della velocità che è quella di uscita dalla zona di campo elettrico,  $v_y = eE/m \cdot t_1 = eE/m \cdot x_1/v$ , la coordinata  $y_2$  sullo schermo sarà data da:

$$y_2 = y_1 + v_y t_2 = \frac{eE}{m} \cdot \frac{x_1}{v^2} \left( \frac{x_1}{2} + x_2 \right). \quad (2.2)$$

Il valore del rapporto  $e/m$  può essere successivamente determinato applicando contemporaneamente un campo magnetico  $B$  ortogonale ad  $E$  e a  $v$ , fino a riportare il fascetto nella posizione indeflessa  $y = 0$ . La condizione per

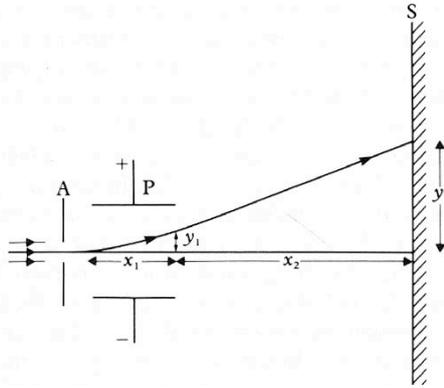


Figura 2.2: Schema della traiettoria degli elettroni nel dispositivo utilizzato da Thomson: gli elettroni emessi dal catodo (sulla sinistra) sono accelerati da un elettrodo A e collimati attraverso un foro in esso; le placche P generano un campo elettrico ortogonale alla direzione degli elettroni; all'uscita della zona di campo elettrico, gli elettroni procedono in linea retta fino allo schermo fluorescente S.

cui questo accada è che  $eE = evB$ , da cui si ricava il valore di  $v = E/B$  che, inserito nella (2.2), permette di calcolare  $e/m$ . Se un unico valore di  $B$  riporta tutti i raggi catodici a  $y = 0$ , si deve concludere che il rapporto  $e/m$  deve essere lo stesso per tutti i raggi, che sono quindi presumibilmente costituiti da un unico tipo di particella.

Il valore misurato da Thomson era  $e/m = 1.76 \cdot 10^{11} \text{ C kg}^{-1}$ . Questo rapporto risultava molto maggiore di quelli precedentemente misurati per atomi ionizzati, per cui se i raggi catodici erano costituiti dagli elettroni, questi dovevano essere molto leggeri rispetto alle masse atomiche. Becquerel, tra il 1899 e il 1900, verificherà poi che il rapporto  $e/m$  dei raggi catodici e dei raggi  $\beta$  è lo stesso, per cui anche questi ultimi devono essere costituiti da elettroni.

La misura della carica, e quindi della massa, dell'elettrone è invece dovuta a Millikan (1907), attraverso lo studio del moto in aria di goccioline d'olio finemente nebulizzate. Le goccioline si caricano per frizione sul becco del nebulizzatore. Come è noto dalla meccanica, il moto di un corpo sferico in un fluido raggiunge una velocità di regime che è proporzionale alla forza applicata e inversamente proporzionale al raggio del corpuscolo, secondo la

formula  $f = 6\pi\eta rv$ , dove  $\eta$  è la viscosità del mezzo. In assenza di campo elettrico, la forza è dovuta alla gravità, corretta per la spinta di Archimede, e dipende quindi dalle dimensioni della goccia e dalle densità dell'aria e dell'olio. Essendo il raggio molto piccolo a causa della nebulizzazione, la velocità di regime è piuttosto piccola e può agevolmente essere stimata osservando la caduta di ogni singola goccia attraverso un microscopio. La misura di questa velocità permette allora di determinare le dimensioni della goccia. Se si applica ora un campo elettrico opposto alla gravità, la forza  $qE$  rallenta la caduta. Dalla misura della nuova velocità di regime, essendo ormai noto il raggio della goccia, si ricava la carica elettrica di ciascuna goccia. Misurando molte di queste cariche, si può assumere che la carica elementare sia il minimo comun denominatore delle varie misure. In questo modo Millikan stabilì per la carica elementare il valore  $e = 1.59 \cdot 10^{-19}$  C, solo leggermente inferiore al valore oggi noto,  $e = 1.60 \cdot 10^{-19}$  C. Dal rapporto  $e/m$  così determinato si ricava il valore della massa dell'elettrone:  $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31}$  kg, pari a  $0.511 \text{ MeV}/c^2$ .