

La scoperta dell'elettrone

Il più spettacolare tipo di scarica elettrica è naturalmente il fulmine, la cui natura venne riconosciuta verso la metà del settecento da B. Franklin, l'inventore del parafulmine. Il fulmine, però, è un fenomeno incontrollabile col quale si possono eseguire solo osservazioni e non esperimenti. In realtà già nella prima metà del diciottesimo secolo si era osservato che quando veniva strofinato un recipiente di vetro in cui la pressione era stata ridotta ad un sessantesimo di quella atmosferica si producevano strani lampi di luce (se volete potete ripetere l'osservazione strofinando con un panno un tubo al neon). La natura del fenomeno a quel tempo non venne compresa, oggi sappiamo che si tratta di un fenomeno secondario: quando strofiniamo il recipiente gli atomi del gas si ionizzano perdendo elettroni che poi emettono una parte della loro energia sotto forma di luce. Comunque, fintanto che le pompe riuscivano a fare questa misera depressione non furono fatti significativi passi in avanti nella comprensione del fenomeno. La svolta si ebbe quando le pompe divennero realmente efficienti non perdendo più aria dalle guarnizioni intorno ai pistoni. Nel 1855 J. H. Geissler inventò una pompa che utilizzava al posto dei pistoni colonne di mercurio e, non necessitando di guarnizioni, poteva arrivare a vuoti molto spinti dell'ordine di 10^{-4} Atmosfere. J. Plücker, negli anni 1858-59, in una serie di esperimenti all'Università di Bonn osservò che quando si toglieva tutta l'aria dal tubo la luce all'interno scompariva ed appariva invece un bagliore verdastro sul vetro di fronte al catodo, in una posizione che non dipendeva dalla posizione dell'anodo. A questi strani raggi E. Goldstein diede, qualche anno più tardi, il nome di raggi catodici. Oggi sappiamo tutti che sono elettroni ma allora non fu affatto banale riconoscerne la natura. Per esempio lo stesso Plucker rimase ingannato notando che quando il catodo era di un certo materiale, per esempio platino, si depositava sulle pareti del tubo una pellicola di questo materiale. Gli venne spontaneo quindi ipotizzare che i raggi consistessero di piccoli corpuscoli del catodo stesso. Oggi sappiamo che questo fenomeno non c'entra nulla con i raggi catodici ma è un effetto secondario della repulsione elettrostatica subita dal materiale di cui è fatto il catodo. Una osservazione giusta comunque la fece: avvicinando un magnete si accorse che i raggi si spostavano. Questa sembrava una prova inequivocabile che i raggi dovessero essere formati da qualcosa di carico. Negli anni 1878-79 l'ecclettico Sir W. Crookes, fisico, chimico e spiriti-

sta inglese, riprese lo studio dei raggi catodici, spingendo ancor di più la rarefazione dell'aria e foggiando i tubi in forme diversissime. Vi introdusse un radiometro e lo vide ruotare quando si trovava sul cammino dei raggi: dedusse quindi che i raggi avevano azione meccanica; vi mise una croce di malta in metallo e vide che si formava l'ombra sul vetro: dedusse che i raggi si propagano in linea retta; avvicinò anche lui una calamita e vide che la macchia sul vetro si spostava: dedusse che il campo magnetico incurva i raggi. Ma che cosa sono questi raggi? Sono, rispose Crookes, "materia radiante", quarto stato della materia o stato ultragassoso, sono costituiti dalle molecole residue del gas contenuto nel tubo che, venute a contatto col catodo, si sono elettrizzate negativamente e ne sono state respinte. I caratteri particolari che essi presentano non dipendono dalla loro natura, che rimane quella delle altre sostanze conosciute, ma dal loro stato di aggregazione estremamente rarefatto. La teoria di Crookes fu però decisamente respinta da Goldstein il quale fece notare che in un tubo in cui era stato fatto un vuoto di 10^{-5} Atmosfere i raggi percorrevano almeno 90 centimetri, mentre il cammino libero di una tipica molecola nell'aria alla stessa pressione doveva essere, secondo le previsioni, di circa 6 millimetri. All'ipotesi materiale Goldstein, Weidemann, Hertz e Lenard contrapposero una teoria ondulatoria dei raggi catodici. Hertz nel 1883, mentre era assistente al Laboratorio di fisica di Berlino, non riuscendo a deviare i raggi mediante lastre metalliche elettrizzate concluse che fossero costituiti da qualche tipo di onda, come la luce. L'ipotesi fu avvalorata nel 1891 da un'ulteriore osservazione: i raggi erano in grado di attraversare sottili lamine di alluminio e altri metalli, proprio come la luce attraversa il vetro¹. Ma anche questa ipotesi aveva le sue magagne, in quanto i raggi catodici erano piegati da una calamita mentre quelli luminosi non subiscono l'azione del campo magnetico. Insomma, erano insoddisfacenti tanto l'ipotesi corpuscolare di Crookes quanto quella ondulatoria di Goldstein: per uscire dall'empasse si doveva interrogare la natura con un altro esperimento. Se ne occupò il giovane fisico francese J. B. Perrin, il quale pose a circa 10 cm di distanza dal catodo un cilindro metallico tutto chiuso, tranne una piccolissima apertura di fronte al catodo stes-

¹Lenard utilizzò la scoperta per portare i raggi fuori dal tubo attraverso una particolare finestra che porta il suo nome: essa è praticata in uno schermo metallico posto di fronte al catodo nel quale è praticato un forellino del diametro di circa 1,7 mm coperto da una lamina di alluminio dello spessore di 2,7 μ , ancora abbastanza resistente per tenere la pressione atmosferica.

so, e lo collegò con un elettroscopio. Quando il tubo era in funzione un fascetto di raggi catodici penetrava nel cilindro e invariabilmente questo si caricava di elettricità negativa. Come controprova bastava deviare i raggi catodici con una calamita e non farli penetrare nel cilindro per non vedere l'elettroscopio caricarsi. Perrin concluse che i raggi catodici sono carichi di elettricità negativa per cui appare molto più probabile la loro natura corpuscolare. Come capita frequentemente nella storia della scienza i sostenitori della teoria rivale non si arresero tanto facilmente. Essi furono costretti ad ammettere che particelle cariche uscivano dal catodo ma si ostinarono ad affermare che esse non costituivano in realtà i raggi catodici che producevano la fluorescenza sul vetro. Come il proiettile che esce da un fucile è diverso dal lampo che l'accompagna, anche in questo caso le particelle elettrizzate rappresenterebbero i proiettili e i raggi catodici i lampi. È a questo punto che ha inizio la storia di J. J. Thomson. Thomson falsificò questa spiegazione mettendo il cilindro di Perrin non di fronte al catodo, ma di lato in modo da non impedire la formazione della fluorescenza sul vetro. Notò che il cilindro si caricava e allo stesso tempo si spostava la fluorescenza soltanto quando una calamita curvava i raggi catodici in modo da farne imboccare la fessura: si dimostrava così che la carica era indissolubilmente connessa con i raggi. Ma se i raggi catodici erano particelle cariche perchè non subivano deflessione da parte delle lastre cariche? Nel 1897 Thomson riuscì anche là dove Hertz aveva fallito. S'accorse infatti che le forze elettriche a cui erano sottoposte le particelle costituenti i raggi erano troppo deboli per procurare una deflessione sufficiente per poter essere osservata. Inoltre i raggi catodici urtando le molecole d'aria residue nel tubo le ionizzavano, queste una volta cariche venivano attratte dalle lastre che quindi si scaricavano. L'assenza di deflessione era dovuta in definitiva alla conducibilità conferita al gas residuo dai raggi, la quale diminuisce rapidamente col diminuire della pressione interna nel tubo. Insomma bisognava fare un vuoto molto più spinto². Era presto detto, ma a quei tempi, non presto fatto. Thomson, come abbiamo detto, ci riuscì, ed ottenne una deflessione dei raggi verso la lastra carica positivamente ogni qual volta questa veniva collegata ad una batteria di pile: era in grado di apprezzare la deflessione, proporzionale alla tensione della pila, anche quando questa scendeva sotto i 2 Volt. Questo risultato confermava la conclusione di Perrin

²Come al solito l'ultima parola spetta sempre al fisico sperimentale.

che i raggi trasportano una carica elettrica negativa. Una volta provato sperimentalmente che i raggi catodici sono cariche di elettricità negativa trasportate da particelle di materia resta ancora da stabilire in definitiva che cosa siano: molecole, atomi, o materia in un più sottile stato di divisione. Ci pensò lo stesso Thomson analizzando quantitativamente la natura delle misteriose particelle mediante due metodi di misura del tutto differenti. Il primo metodo, che si trova in tutti i manuali, consiste nell'applicare ai raggi campi elettrici e magnetici in modo da poter misurare le deflessioni subite dalle particelle e quindi ricavare il rapporto e/m fra la carica elettrica di ogni particella e la sua massa³. Nel secondo si misurava l'energia termica e la carica elettrica depositata all'estremità del tubo dalle particelle cariche. Gli esperimenti di Thomson davano con entrambi i metodi i seguenti risultati: la velocità delle particelle è elevatissima, circa un decimo di quella della luce; aumenta con l'aumentare della rarefazione nel tubo e con la differenza di potenziale fra gli elettrodi. Il valore non è compatibile con la velocità media che la teoria cinetica dei gas prevede per le molecole d'aria residua nel tubo. Il rapporto e/m non dipende dalla natura del gas residuo nel tubo, né dalla sua forma. Soprattutto non dipende dal materiale con cui sono fatti gli elettrodi e neanche dalla velocità dei raggi finché questa non raggiunge valori prossimi a quella della luce. Insomma e/m come la velocità della luce, sembra essere una costante universale e le particelle sembrano possedere una propria individualità. Il valore misurato da Thomson, $1,7 \cdot 10^{11}$ C/kg confrontato con il valore oggi accettato $(1,760 \pm 0,002) \cdot 10^{11}$ C/kg ci da un'idea della grande precisione dei metodi impiegati. (a cura del prof. M. Savarese)

Riferimenti bibliografici

- [1] S. Weinberg - *La scoperta delle particelle subatomiche* - Zanichelli, 1986
- [2] M. Gliozzi - *Storia della fisica* - Boringhieri, 2005

³Eccolo: in presenza del solo campo elettrico gli elettroni sono sottoposti ad una accelerazione $a = \frac{e}{m}E$ per un tempo $t = \frac{l}{v}$ dove v è la velocità degli elettroni, l la lunghezza delle placchette di deflessione. La deflessione y verso la placchetta positiva è data da: $y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{eEl^2}{2mv^2}$ che si può ricavare sperimentalmente dallo spostamento del punto luminoso sullo schermo nota la geometria del tubo e sapendo che al di fuori delle placchette gli elettroni si muovono di moto rettilineo. Il rapporto e/m è dato da tutte grandezze note tranne v , che Thomson determinò applicando un ulteriore campo magnetico perpendicolare tanto al fascio degli elettroni quanto al campo elettrico. Regolando l'intensità dei due campi in modo da non ottenere alcuna deflessione si avrà: $evB = eE$ da cui: $v = \frac{E}{B}$