

Cap. 13

Elettroluminescenza - Fluorescenza - Fosforescenza - Scariche elettriche nei gas - Raggi catodici - Raggi X (Raggi Röntgen) - La scoperta dell'elettrone - Radioattività

13.1 - Introduzione¹⁾

Spettro visibile

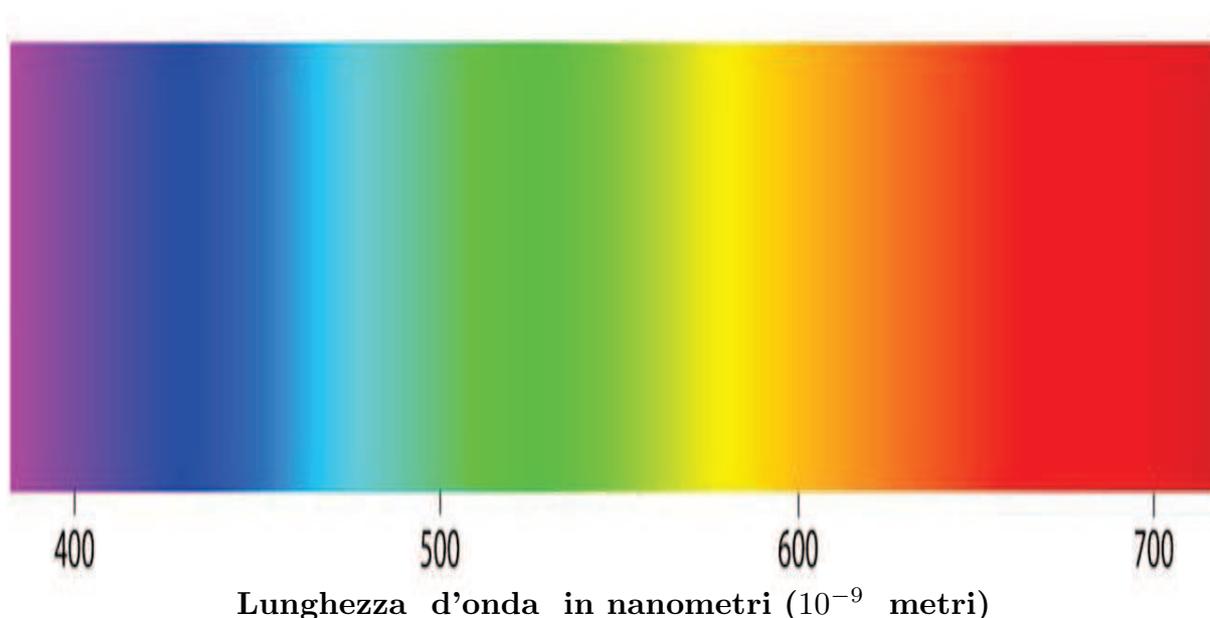


fig.13.1-1

Nei capitoli precedenti si è sempre parlato di carica elettrica senza specificare cosa fosse e soprattutto da dove potesse estrarsi ossia che legame intercorresse fra elettricità e materia. Talvolta abbiamo parlato di elettrone in quanto ormai è risaputo che la carica elettrica elementare è una particella costituente la materia. Tuttavia a questa scoperta ci si è arrivati proprio alla fine del diciannovesimo secolo. **Infatti gli anni che vanno dall'ultima decade del diciannovesimo secolo alla prima decade del ventesimo secolo sono gli anni della svolta. Anni che hanno segnato la conoscenza della costituzione intima della materia.** Essi sono stati caratterizzati da un rapido aumento della nostra conoscenza del molto importante ma poco conosciuto soggetto, la connessione fra elettricità e materia.²⁾

Dalla fine del diciannovesimo secolo una nuova era cominciò per la Fisica. Tre scoperte fatte in anni successivi furono l'origine di questa nuova era. Nel 1895 Röntgen³⁾ scoprì i

¹⁾ Nadia Robotti: Dai raggi catodici alla scoperta dell'elettrone - Relazione presentata al convegno su "J.J: Thomson e la scoperta dell'elettrone", CNR, "Sala Marconi", Roma, 4 dicembre 1997.

²⁾ E. Rutherford, Radioactivity - Cambridge University Press, 1905, Cap.I, Introduction.

³⁾ Wilhelm Conrad Röntgen (Lennep, Remscheid, Germania, 27 marzo 1845 - Monaco

raggi X, nel 1896 Becquerel⁴⁾ scoprì la radioattività e nel 1897 fu scoperto l'elettrone da parte di J. J. Thomson.⁵⁾ **Queste scoperte sono più o meno direttamente correlate agli esperimenti sulla scarica nei gas rarefatti.**⁶⁾

Infatti una delle vie intraprese per capire il legame fra elettricità e materia fu quella di studiare il comportamento di un gas rarefatto in presenza di una scarica elettrica. La motivazione per una tale scelta era duplice: da un lato, questo tipo di studi consentiva di analizzare l'interazione fra elettricità e materia nel caso in cui questa si trovava nello stato evidentemente più semplice; dall'altro lato lo stato gassoso era l'unico stato per cui esisteva allora una teoria abbastanza consolidata (la teoria cinetica) alla quale eventualmente fare riferimento.¹⁾

Gli esperimenti di scarica nei gas che iniziarono nel diciottesimo secolo divennero usuali nei laboratori di ricerca, durante il diciannovesimo secolo, specialmente dopo i lavori di J. H. Geissler (1814-1879), J. Plücker (1801-1868), J. W. Hittorf (1824-1914) e di E. Goldstein (1850-1930). I risultati ottenuti hanno interessato alcuni importanti fisici del tempo, per esempio W. Crookes (1832-1919), H. Hertz (1857-1894) e J. J. Thomson, che a loro volta, hanno contribuito allo sviluppo degli studi sulle scariche e al loro utilizzo nella produzione di nuovi ed importanti risultati scientifici.⁶⁾

Nessuno studio è stato fruttuoso di sorprese per il ricercatore, sia per la notevole natura dei fenomeni osservati sia per le leggi che li controllano. Più il tema viene esaminato, più complessa dobbiamo supporre la costituzione della materia al fine di spiegare gli effetti notevoli osservati. **Mentre i risultati sperimentali hanno dimostrato che la costituzione dell'atomo stesso è molto complessa, nello stesso tempo essi hanno confermato la vecchia teoria della struttura discontinua o atomica della materia. Lo studio della scarica elettrica attraverso i gas e in seguito della radioattività hanno fornito una forte evidenza sperimentale in supporto delle fondamentali idee della teoria atomica esistente. Esso ha anche indicato che l'atomo stesso non è la più piccola unità di materia, ma è una struttura complicata composta da un numero di corpi più piccoli.**²⁾

Un grande impulso allo studio di questo soggetto fu inizialmente dato dagli esperimenti di Lenard sui raggi catodici, e dalla scoperta di Röntgen dei raggi X. Un esame della conducibilità impartita al gas dai raggi X conduce ad una chiara visione del meccanismo del trasporto dell'elettricità attraverso il gas per mezzo di ioni carichi. Questa teoria della ionizzazione dei gas è stata mostrata in grado di fornire una soddisfacente spiegazione non solo del passaggio dell'elettricità attraverso fiamme e vapori, ma anche del complicato

di Baviera, Germania, 10 febbraio 1923). Primo vincitore del premio Nobel per la fisica nel 1901.

⁴⁾ Antoine Henri Becquerel (Parigi, 15 dicembre 1852 - Le Croisic, Francia occidentale, 25 agosto 1908). Nel 1903 condivise il Premio Nobel per la Fisica con Pierre e Marie Curie "in riconoscimento degli straordinari servizi che ha reso con la sua scoperta della radioattività spontanea".

⁵⁾ Sir Joseph John Thomson (Manchester, Gran Bretagna, 18 dicembre 1856 - Cambridge, Gran Bretagna, 30 agosto 1940). Premio Nobel per la Fisica nel 1906.

⁶⁾ Maria Elisa Mala, Isabel Marilla Peres, Isabel Serra: The Gas Discharges in History and Teaching of Physics and Chemistry - www.researchgate.net/publications257920437.

fenomeno osservato quando una scarica di elettricità passa attraverso un tubo a vuoto. Allo stesso tempo, uno studio ulteriore dei raggi catodici mostrò che essi consistevano di una corrente di piccole particelle, proiettate con grande velocità ed in possesso di una apparente piccola massa comparata a quella dell'atomo di idrogeno. È stato chiarito anche il collegamento tra i raggi catodici e i raggi Röntgen e la natura di questi ultimi. Molto di questo ammirevole lavoro sperimentale è sta fatto dal prof. J.J. Thomson e di suoi studenti al Cavendish Laboratory, Cambridge.²⁾

Wilhelm Röntgen mentre faceva esperimenti con i raggi catodici scoprì, nel 1895, una nuova radiazione, che Egli chiamò **Raggi X**. Più tardi, Egli mostrò che questa radiazione può passare attraverso differenti materiali. Fra le varie dimostrazioni della trasparenza della materia ai raggi X, questo scienziato presentò la prima e molto celebre radiografia della mano di sua moglie, dove si può osservare l'ombra delle ossa e dell'anello (vedi figura 13.1-2)⁷⁾

Radiografia della mano della moglie di Röntgen



fig.13.1-2

La scoperta dei raggi X segna l'inizio di una delle più grandi trasformazioni che avvennero in fisica teorica dalla fine del diciannovesimo secolo. Essa costituisce anche una rivoluzione nella diagnostica medica. Come già detto, questa scoperta fu seguita da altre due negli anni successivi: la radioattività nel 1896 da parte Henry Becquerel e l'elettrone nel 1897, da parte di J. J. Thomson, che può essere relazionata ad un dispositivo sperimentale correntemente usato nei laboratori di ricerca in fisica di quel periodo, i tubi per le scariche nei gas.

⁷⁾ Alexander G. Mikerov: From History of Electrical Engineering V: Electron Discovery and its Properties Estimation, 2016 IEEE NW Russia Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (EIconRusNW).

13.2 - Luminescenza, Fluorescenza, Fosforescenza¹⁾

La luminescenza è il fenomeno per cui una sostanza emette radiazione luminosa e non se sottoposta a irradiazione da parte di luce visibile o altra radiazione o flusso di particelle, come vedremo nel prossimo paragrafo. Il mezzo più comune di emissione di luce da parte della materia è l'eccitazione termica, nota col nome di incandescenza, ma vi sono altre forme di eccitazione comprese globalmente sotto la denominazione di luminescenza, che a seconda della natura dell'eccitazione si dicono più particolarmente: triboluminescenza, elettroluminescenza, termoluminescenza, fotoluminescenza, luminescenza chimica e luminescenza animale.

Ha luogo la triboluminescenza quando la luce viene emessa in seguito ad azioni meccaniche, quali l'attrito, la rottura e il clivaggio (sfaldatura). Due pezzi di quarzo strofinati nell'oscurità emettono luce per triboluminescenza, così un pezzo di zucchero emette luce alla rottura e così pure della mica nello sfaldamento.

L'elettroluminescenza ha luogo nella scarica elettrica nei gas rarefatti, come vedremo nel paragrafo seguente, e l'aspetto del fenomeno luminoso è differente a seconda del gas impiegato e della sua pressione, come si vede nei tubi al neon oggi così diffusi per la pubblicità luminosa.

La termoluminescenza consiste nell'emissione di luce per debole riscaldamento, e perciò a temperature molto inferiori a quelle necessarie per l'ordinaria emissione per temperatura.

La fotoluminescenza consiste nell'emissione di luce in seguito a eccitazione di altra luce e si distingue in fluorescenza e fosforescenza.

Per definizione la parola "fluorescenza" si riferisce ad un'emissione di luce da parte di una sostanza durante l'irradiazione di essa da qualsiasi tipo di radiazione, che cessa *immediatamente* quando viene interrotta la radiazione eccitante. Se la luminescenza *persiste* anche dopo la cessazione della radiazione eccitante essa prende il nome di "fosforescenza". Ovviamente le parole *immediatamente* e *persiste* sono termini relativi dipendenti dalla sensibilità degli strumenti usati per misurarli. **Quindi la distinzione fra fluorescenza e fosforescenza sembra piuttosto arbitraria e le due parole sono usualmente trattate insieme.** I fenomeni di fosforescenza osservati in natura sono stati descritti da tantissimi filosofi greci, Aristotele e tanti altri.

Nonostante le indubbie osservazioni sulla fosforescenza naturale menzionate in precedenza, i materiali che mostrano fosforescenza sono spesso chiamati fosfori. Il più famoso è la cosiddetta pietra di Bologna.

Fra il 1602 ed il 1604 Vincenzo Casciarolo, un calzolaio di Bologna, che si diletta in alchimia si sta recando nei pressi del rio Strione che dalla chiesa di Paderno scende verso la località di Rastignano. Costui appassionato preparatore di pigmenti, sta cercando delle pietre da macinare che possano servire come base per l'impasto bianco da verniciare sulle calzature. Ad un certo punto, giù per i caratteristici calanchi che contraddistinguono quella parte di collina bolognese vede brillare nell'ombra, delle pietruzze incastonate nell'argilla; Il calzolaio non crede ai propri occhi. Quale prodigio è mai questo? Quali pietre possono

¹⁾ E. Newton Harvey: A History of Luminescenza from the Earliest Times until 1900: Dover Phoenix Edition, 2005, Cap.XI, pag.390.

riflettere di luce propria? Il Casciarolo, incredulo ed emozionato portò a casa quelle strane pietruzze a forma di uovo e come per le altre pietre usate per la preparazione dei pigmenti, usò lo stesso procedimento insegnatogli da sua padre: le macinò e le fece cuocere dentro un piccolo fornello. Casciarolo scoprì così che la pietra, dopo essere stata calcinata nel carbone, aveva la capacità di trattenere la luce del sole e riemetterla per un certo tempo. La scoperta, datata tra il 1602 e il 1604, rappresenta la prima osservazione del fenomeno della fosforescenza. In seguito a questa scoperta, il misterioso materiale divenne noto come **Pietra di Bologna**, o meno frequentemente come, **pietra luciferina**, **pietra di luna**, **spongia lucis** (spugna di luce), **lapis illuminabilis** (pietra illuminabile) o **pietra fosforica** (in entrambi i casi, "portatrice di luce"). La pietra era costituita da barite che, una volta macinata e calcinata, si trasforma in solfuro di bario. Per circa tre secoli, dai primi del Seicento all'inizio del Novecento, la città di Bologna deve il suo posto nella storia della chimica soprattutto a una pietra, che da essa prese il nome, utilizzata per ricavarne fosfori, ossia materiali capaci di dare fosforescenza. L'attribuzione della scoperta al "chimico" Casciarolo è di Majolino Bisaccione e Ovidio Montalbani, in due lettere pubblicate nel 1634. Quest'ultimo, addirittura, propose di chiamare la pietra "**lapis casciarolanus**". La Spongia Lucis è visibile presso il museo di Mineralogia L.Bombicci a Bologna. Goethe è rimasto affascinato da questa pietra che interessò anche Galileo.

Pietra di Bologna²⁾



fig.13.2-1

Nel 1677 la scoperta del **fosforo** arrivò a dimostrare che una materia poteva produrre luce da sola, nel mezzo dell'aria, e senza l'aiuto di luce, calore o attrito, e da allora le ricerche dei chimici su questa materia fecero dimenticare parte di quelle relative a sostanze che possedevano solo temporaneamente la proprietà di brillare nel buio.³⁾

²⁾ www.appenninoweb.com/sate_2.php?id=36 (Notizie dalle Valli del Reno e del Setta: Spongia Lucis, la pietra meravigliosa che incantò Goethe).

³⁾ Edmond Becquerel: *La Lumière Ses Causes et Ses Effets*. Tome I, Sources de Lumière,

13.3 - Scariche elettriche in alto vuoto¹⁾

L'occasione che ha portato alla scoperta dei fenomeni menzionati nel paragrafo 13.1 fu ottenuta, come abbiamo detto, dallo studio delle scariche elettriche in alto vuoto; e la conoscenza acquisita da questo studio è stata indispensabile per interpretarli. È desiderabile, e davvero essenziale, quindi, rendere conto dei fenomeni che accompagnano il passaggio di elettricità attraverso gas rarefatti. Quando una scarica elettrica passa attraverso l'aria a pressione atmosferica, una stretta, ben definita scintilla è osservata passare fra gli elettrodi della bobina ad induzione o macchina elettrica usata per produrre la scarica (vedi fig. 13.3-1²⁾ e anche figg. 12.5-1 e 12.5-2).

Esempio di scintilla
Una scintilla o un arco elettrico in aria a pressione atmosferica
 $V=30\text{ KV}$, $d=1\text{ cm}$

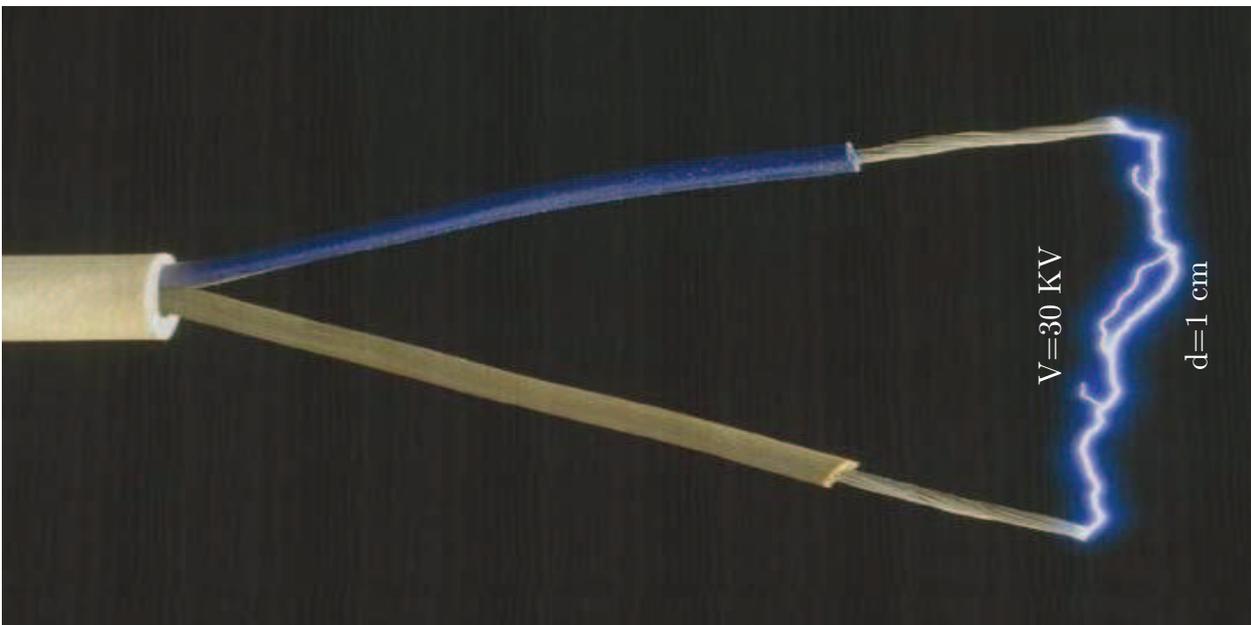


fig.13.3-1

Quando, tuttavia, questi elettrodi sono posti in un tubo chiuso pieno di aria, e l'aria viene tirata fuori per mezzo di una pompa al mercurio, avviene un cambiamento profondo nelle caratteristiche della scarica. La scintilla diventa ampia e mal definita quando la pressione dell'aria viene ridotta. Così, per esempio, se viene usato un tubo cilindrico, un bagliore si diffonde dai due elettrodi e riempie il tubo. La figura (13.3-2) rappresenta una scarica elettrica ad una moderatamente bassa pressione. L'elettrodo negativo *a* è un disco,

Paris - Librairie de Firmin Didot Frères, 1867, pag.19.

¹⁾ R.J. Strutt, Lord Rayleigh: *The Becquerel Rays and The Properties of Radium*, London, Edward Arnold, pp.1-24, 1904.

²⁾ <https://www.esperimentanda.com/studio-della-scarica-elettrica-in-un-gas-a-bassa-pressione-aria-argon-elio-neon/>.

ed è separato da un piccolo intervallo scuro da un bagliore negativo (non molto forte) blu *e*. Il bagliore lungo il resto del tubo fino all'anodo *b*, è, in aria, una banda diffusa di luce rossastra *d*. In questo caso la luminosità è diffusa su una vasta area.

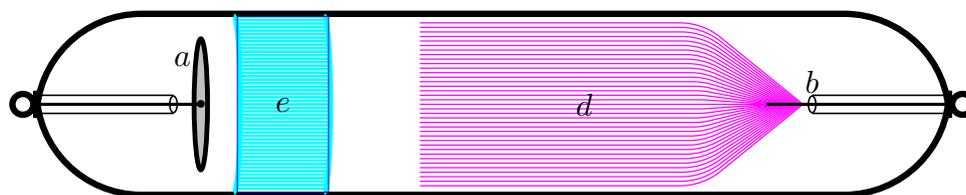


fig.13.3-2

Facendo il tubo con un restringimento nella zona centrale, il bagliore è concentrato nella parte stretta, e la sua luminosità grandemente aumentata. Tali tubi sono molto utili per esaminare lo spettro di qualunque gas sottoposto a scarica elettrica. Essi sono conosciuti con il nome di **tubi di Plücker** che fu il primo a usarli.

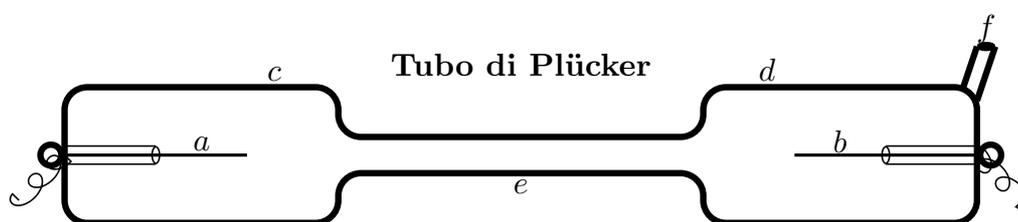


fig.13.3-3

La scarica passa fra i fili di platino *a* e *b* di figura (13.3-3). Questi sono sigillati ermeticamente all'interno dei tubi di vetro allungati *c* e *d*. La scarica è costretta, e aumenta di intensità passando attraverso il tubo stretto *e*, che connette questi bulbi. Il gas è introdotto attraverso *f*.

Nella maggior parte dei gas il bagliore è molto cospicuo ad una pressione di circa 1/200-esimo di atmosfere (3-4 mm di Hg).

Prendiamo il caso dell'aria atmosferica. In questo caso, ad 1/200-esimo della pressione atmosferica, l'elettrodo negativo è visto essere circondato da un bagliore blu, diverso dal colore rossastro lungo la lunghezza della scintilla. La stessa cosa può essere vista nella scintilla, a pressione atmosferica, sebbene in questo caso il bagliore è quasi confinato alla superficie dell'elettrodo negativo. A bassa pressione può essere visto che il bagliore blu negativo è separato da un piccolo intervallo scuro dall'elettrodo stesso (fig. 13.3-2).

Lasciamo che l'esaurimento dell'aria, ora, sia aumentato. Sarà trovato che il bagliore blu negativo si estende e che lo spazio scuro diventa più ampio. Una luminosità verde comincia ad essere visibile sulle pareti del tubo opposte all'elettrodo negativo. Ad ancora più alto esaurimento, quale possa essere ottenuto solo dal prolungato uso di pompe al mercurio, si è trovato che una precisa macchia di luce fluorescente verde è visibile sulle pareti opposte all'elettrodo negativo; questa macchia corrisponde nella forma all'elettrodo stesso, se l'elettrodo è piatto. Così un elettrodo a forma di disco rotondo produrrà una macchia rotonda solo un pò più larga di se stesso. Una debole striscia di luminosità blu appare nel gas, si estende dal catodo al punto fosforescente.

È evidente da questi fenomeni che una sorta di influenza viene propagata ad angolo retto rispetto alla superficie del catodo e viaggia attraverso il tubo fino a raggiungere la parete. **Questa influenza prende il nome di raggi catodici.**

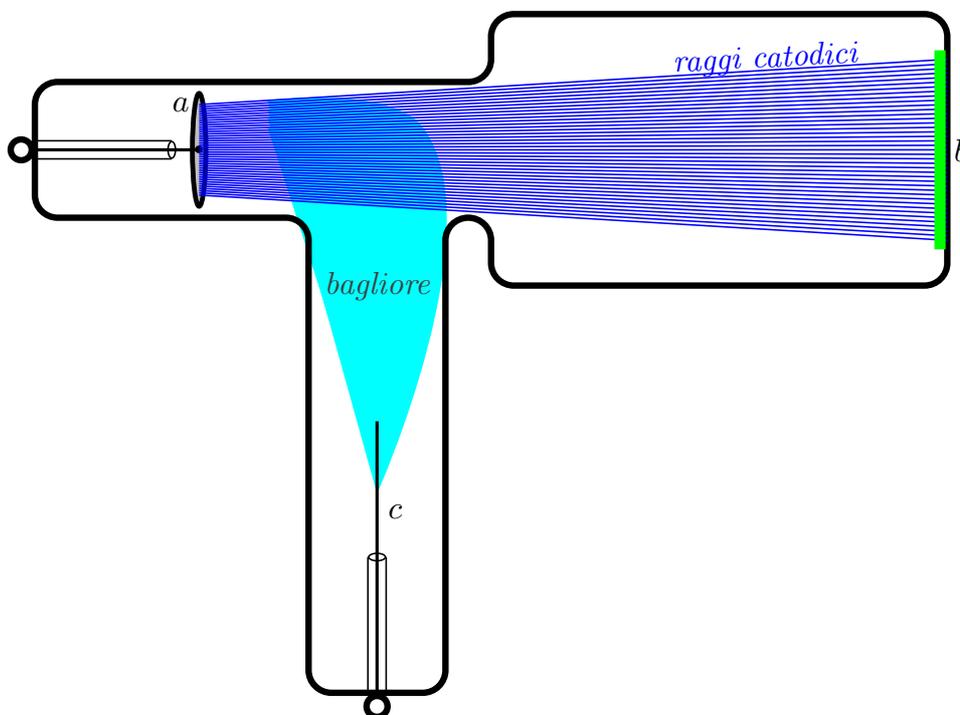


fig.13.3-4

La figura (13.3-4) illustra l'esperimento che dimostra che i raggi catodici sono sempre emessi ad angolo retto dalla superficie del catodo, e non necessariamente seguono le linee di scarica. **I raggi dal catodo piatto, a, colpiscono le pareti del tubo in b, causando fosforescenza.** Essi penetrano il bagliore della scarica principale che curva verso l'anodo, c, in un tubo laterale unito a quello principale.

I raggi catodici procedono ad angolo retto dal catodo, sia che quella è la direzione in cui giace l'anodo o no. La scintilla o la scarica a bagliore, che a queste basse pressioni, è abbastanza incospicua, naturalmente procede dall'anodo al catodo, e girerà un angolo senza difficoltà. Questo il raggio catodico non lo farà. Il loro percorso è essenzialmente rettilineo (fig.13.3-4).

Un sottile, solido ostacolo posto nel percorso dei raggi catodici proietta un'ombra perfettamente nitida e definita. Il contorno dell'oggetto è visto sulla parete del tubo come

un'ombra nera sullo sfondo fluorescente verde brillante (figura 13.3-5).

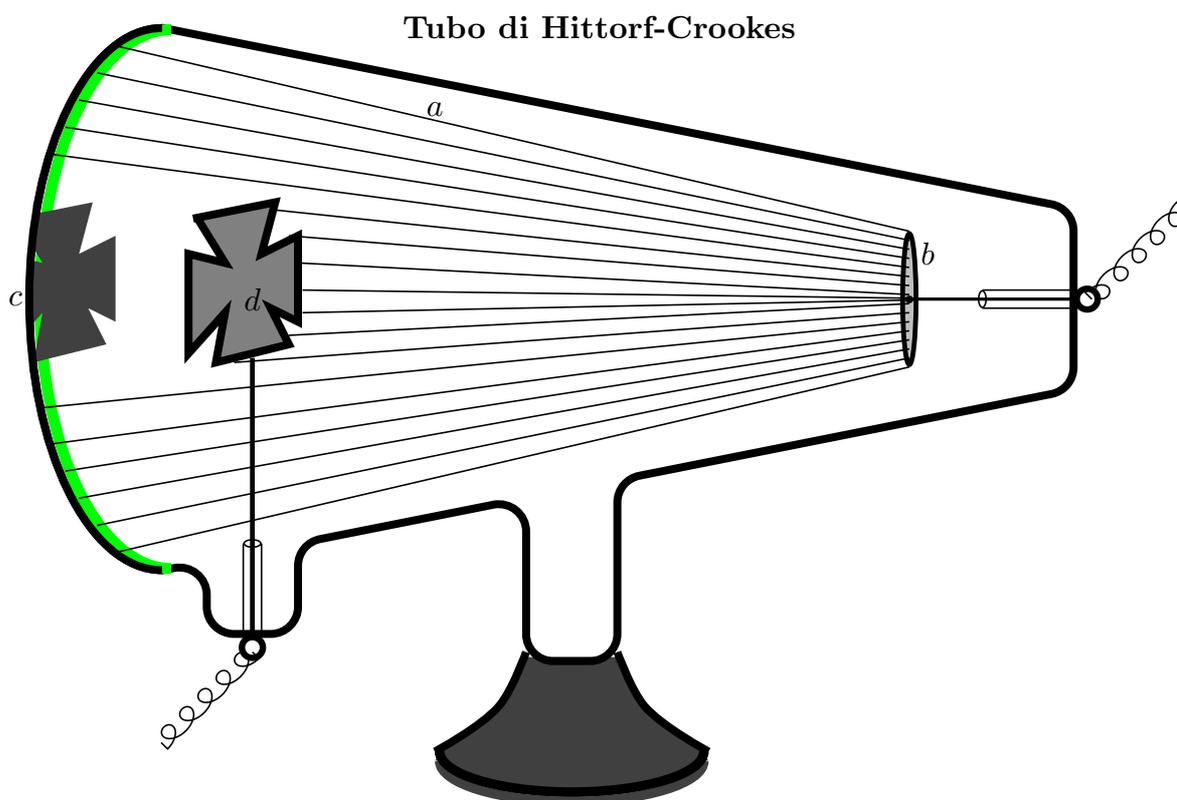


fig.13.3-5

L'apparato sperimentale della figura (13.3-5) mostra che i raggi catodici sono fermati da un ostacolo solido, e forma un'ombra precisa. Il catodo b invia i raggi, che causano una brillante luminosità fluorescente verde sullo schermo. La croce metallica d , che serve da anodo si trova sul percorso dei raggi e lancia una forte ombra nera sullo sfondo luminoso.

Il vetro non è la sola sostanza che diventa fluorescente sotto l'influenza dei raggi catodici. Molti altri materiali faranno lo stesso, e qualcuno di essi dà più effetti luminosi del vetro. Così, per esempio, il bagliore della barite (minerale di bario), con un bel colore rosso arancione (vedi pietra di Bologna nel paragrafo precedente). I rubini danno un colore rosso profondo, molto più efficace di qualsiasi cosa che essi mostrano in modo ordinario. Nessuna regola può essere data per capire se una sostanza possa essere fluorescente. Ciò può essere accertato solo per mezzo di tests.

La proprietà più caratteristica e interessante dei raggi catodici è quella di essere deflessi da un magnete come quello di figura (13.3-6). La deflessione è molto cospicua e facile da osservare. È soltanto necessario portare un magnete a forma di ferro di cavallo vicino ad uno qualsiasi dei tubi e la luminosità del vetro sarà vista muoversi, mostrando che i raggi ora cadono su un punto differente da quello di prima.

In figura (13.3-7) riportiamo la traccia in rosso dei raggi catodici. In figura a) si è in presenza di un magnete, in figura b) si è in assenza di campo magnetico, in figura c) si è

in presenza di un magnete con polarità invertite.

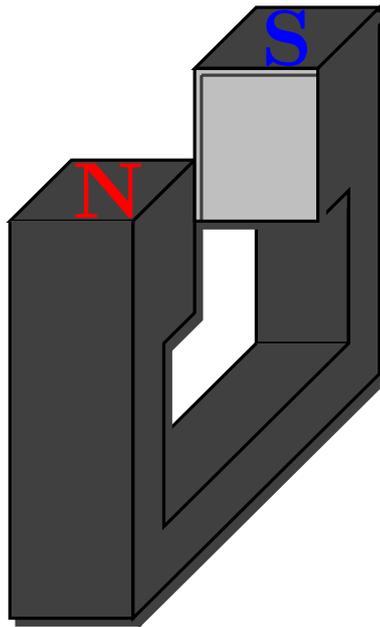


fig.13.3-6

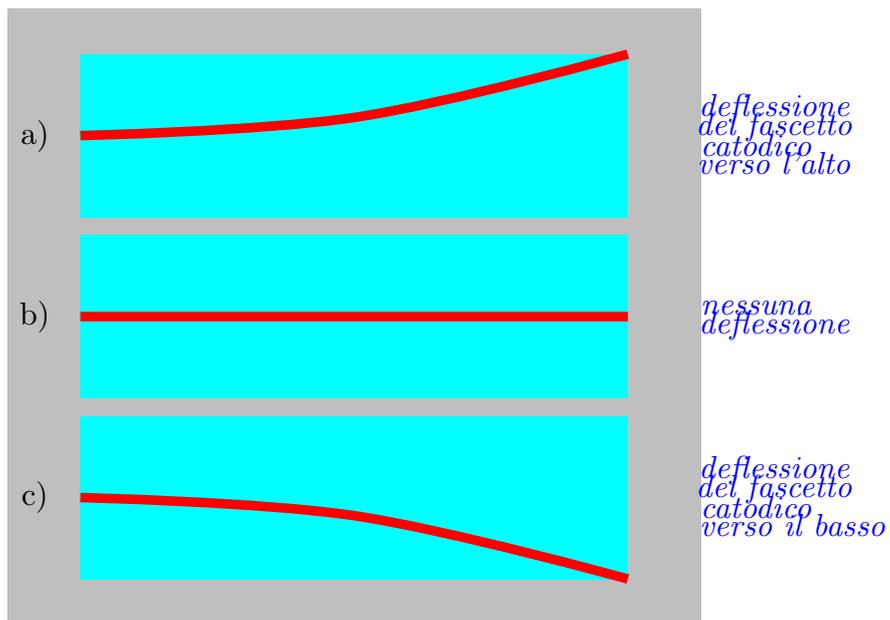


fig.13.3-7

Per studiare l'effetto in dettaglio, è desiderabile avere una forma del tubo (vedi figura 13.3-8) specialmente disegnato allo scopo. I raggi catodici da un catodo piatto passano attraverso due successivi diaframmi. In questo modo i raggi sono limitati a un fascio estremamente nitido e stretto. Essi allora passano attraverso un largo bulbo, e producono una macchia fluorescente ben definita di colore verde sulla parete finale del bulbo. La posizione di questa macchia può essere letta per mezzo di una scala fissata all'esterno del

tubo.

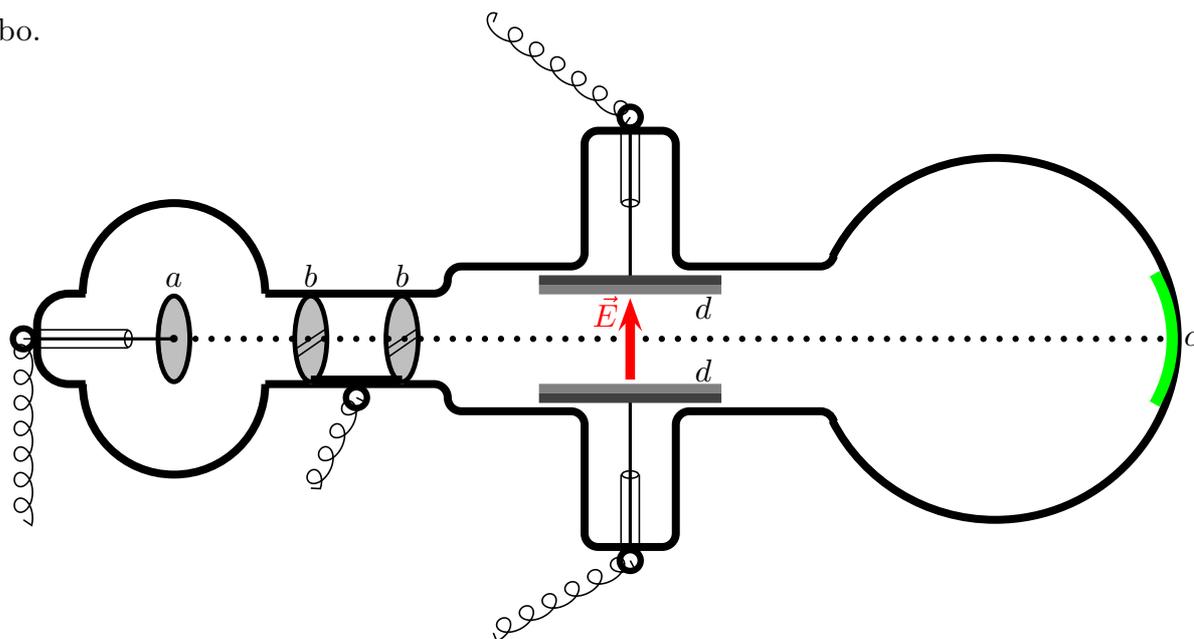


fig.13.3-8

La figura (13.3-8) rappresenta il tubo per l'osservazione e la misurazione della deflessione magnetica ed elettrostatica dei raggi catodici. Il fascio di raggi catodici dal disco piatto, a , è definito dal passaggio attraverso le due fessure nei dischi di metallo, bb . Questi dischi sono collegati all'anodo. I raggi catodici formano una fluorescente ben definita traccia sulla parete c . Possono essere deviati magneticamente per mezzo di bobine piatte di filo in cui scorre una corrente, che giace su entrambi i lati del tubo, in piani paralleli alla figura, come per esempio le bobine di Helmholtz (vedi capitolo 8, §7), o per mezzo di un magnete permanente come illustrato dalla figura (13.3.6) che genera un campo di induzione magnetica ortogonale alla pagina. La deflessione elettrostatica è prodotta dalle piastre dd , collegate ai poli di una batteria.

Prima di entrare nel bulbo, i raggi passano fra due piatti metallici paralleli, l'oggetto di cui sarà spiegato più tardi. In modo da effettuare una deflessione magnetica, il bulbo è posto fra i poli di un elettromagnete, o, che è meglio, fra due bobine di filo di grande raggio, attraverso cui scorre una corrente elettrica. Questo ultimo dispositivo permette di ottenere un campo magnetico molto uniforme su tutto il bulbo.

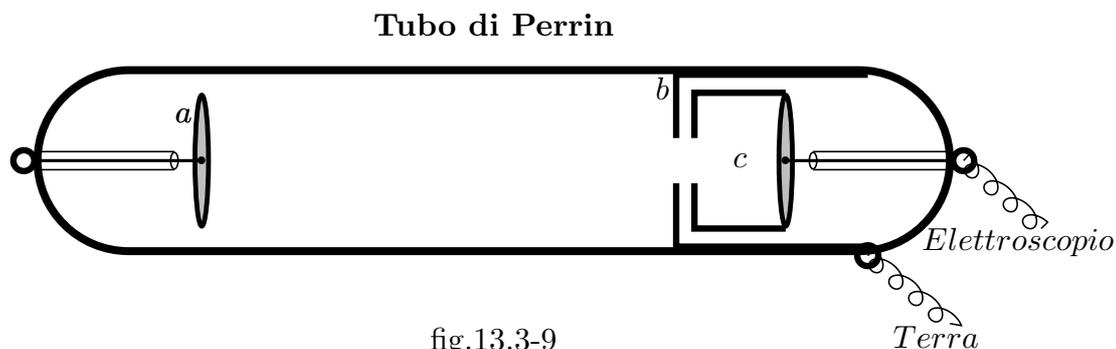
Quando la corrente fluisce, così da produrre una forza magnetica, i raggi catodici vengono deflessi. In altre parole, il loro percorso è piegato in forma curva cosicché essi colpiscono il vetro in differenti punti. La direzione in cui la deflessione prende posto è ad angolo retto alla forza magnetica, e può essere fatta cambiare da un lato all'altro, invertendo il verso della corrente attraverso le bobine magnetiche, che, naturalmente, ha l'effetto di cambiare la posizione dei poli magnetici.

Ora, quale è l'interpretazione più naturale di questo effetto magnetico? Sappiamo che un filo percorso da corrente elettrica, se libero di muoversi, viene deviato, proprio come i raggi catodici lo sono, per forza magnetica perpendicolare a esso, in una direzione perpendicolare alla corrente stessa, e alla forza magnetica. **È giusto concludere, almeno provvisoriamente, che i raggi catodici sono costituiti da una serie di particelle cariche elettricamente, sparate**

dal catodo. Questa è la spiegazione della natura dei raggi catodici che ora ha ottenuto consenso universale.

La direzione della deflessione magnetica mostra chiaramente che le particelle sono cariche negativamente. La loro velocità è dovuta all'intensa forza elettrica che li respinge dal catodo.

Possiamo dimostrare direttamente che i raggi catodici portano una carica di elettricità negativa.



La figura 13.3-9 illustra l'esperimento di Perrin³⁾ per dimostrare che i raggi catodici portano una carica elettrica negativa. I raggi dal catodo piatto, *a*, passano attraverso un foro nella parte anteriore del metallo contenitore, *b*, che è collegato a terra, e serve a proteggere il contenitore interno, *c*, da disturbi esterni. Quando i raggi penetrano in *c*, si scopre che acquisisce una carica negativa attraverso l'elettroscopio.

I raggi vengono fatti cadere in un piccolo cilindro di metallo, in cui la loro carica può accumularsi. Il cilindro è collegato a un elettroscopio e non appena i raggi arrivano, l'elettroscopio diverge rapidamente con una carica di elettricità negativa. Se i raggi sono deviati da un magnete, in modo da impedire il loro ingresso nel cilindro, nessuna deviazione è ottenuta. Questo esperimento è dovuto a Jean Baptiste Perrin.

Poiché i raggi sono carichi di elettricità negativa, saranno respinti da un corpo carico negativamente, e attratti da uno carico positivamente. Il tubo (fig.13.3-8) che è stato descritto per osservare la deflessione magnetica è anche predisposto per questo esperimento. Le due piastre di metallo tra cui i raggi passano, sono collegati, l'uno al positivo e l'altro al polo negativo di una batteria di, diciamo, 20 o 30 cellule. La macchia fluorescente viene deviata dalla forza elettrostatica, così come lo era dalla forza magnetica. Si scopre che i raggi si allontanano dalla piastra negativa verso quella positiva.

³⁾ Jean Baptiste Perrin (Lille, France, 30 settembre 1870 - New York, 17 aprile 1942), premio Nobel per la Fisica nel 1926 per il suo lavoro sulla struttura discontinua della materia.

13.4 - Massa dei corpuscoli costituenti i raggi catodici¹⁾

Possiamo ora inoltrarci a considerare la natura dei sistemi trasportanti le cariche; e, onde avere le condizioni più semplici che sia possibile, cominciamo dal caso di un gas a pressione molto bassa, talchè il moto delle particelle non sia ostacolato da collisioni con le molecole del gas medesimo. Supponiamo di avere una particella di massa m , trasportante una carica e , moventesi nel piano del foglio e sulla quale agisca, normalmente a questo piano, un campo magnetico uniforme (come quello fornito dal magnete di figura 13.3.6). Noi abbiamo visto che, in tali condizioni, la particella sarà soggetta ad una forza meccanica (formula 8.14.1) Bev (essendo la velocità delle particelle ortogonale al campo di induzione magnetica \vec{B}), dove B è l'intensità del vettore induzione magnetica e v la velocità della particella. La direzione di questa forza giace nel piano del foglio, secondo lo schema della figura 13.4-1, normalmente alla traiettoria della particella.

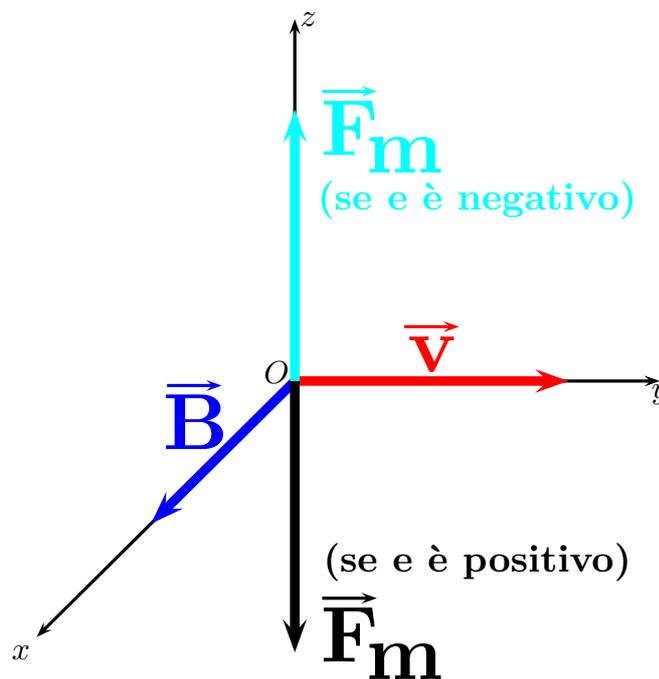


fig.13.4-1

$$\vec{F}_m = e\vec{v} \times \vec{B} = e \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ 0 & v_y & 0 \\ B_x & 0 & 0 \end{vmatrix} = -\hat{z}ev_y B_x \quad (13.4.1)$$

Come abbiamo descritto nel capitolo 8 §14, formule (8.14.5) e (8.14.32), la traiettoria

¹⁾ J.J. Thomson: Eletticità e Materia (tradotto dal Dott. Giuseppe Faè) - Milano - Ulrico Hoepli -Editore, 1905.

della particella è una circonferenza il cui raggio a è dato dalla seguente equazione:

$$\boxed{a = \frac{mv}{eB}} \quad \text{Raggio della traiet-} \quad (13.4.2)$$

toria circolare

La velocità v può essere determinata come segue. Supponendo che la particella si muova orizzontalmente nel piano del foglio, in un campo di induzione magnetica uniforme \vec{B} , normale a questo piano (vedi figura 13.4-1 e formula (13.4.1)), essa sarà soggetta ad una forza verticale, eguale a evB . Ora, se in aggiunta al campo di induzione magnetica si applica un campo elettrico verticale \vec{E} (vedi figura (13.3-8), questo eserciterà una forza meccanica verticale $e\vec{E}$ sulla particella in moto. Si scelga il verso di \vec{E} in modo che questa forza sia opposta a quella dovuta alla calamita (o alle bobine), e si vari il valore di E finché le due forze (elettrica e magnetica) risultano eguali. Possiamo sapere quando tale scopo sia raggiunto, quando la deflessione del fascetto di particelle è azzerata. Allora, allorchè le due forze sono eguali abbiamo:

$$\boxed{eE = evB} \quad \text{Condizioni di} \quad (13.4.3)$$

equilibrio

ossia:

$$\boxed{v = \frac{E}{B}} \quad \text{Condizioni di} \quad (13.4.4)$$

equilibrio

Avendo, quindi, dei metodi per tracciare il moto della particella, si potrà misurare il raggio a della circonferenza secondo cui essa viene deviata da una forza magnetica costante, e determinare il valore della forza elettrica richiesta per equilibrare l'effetto della forza magnetica. Allora, le equazioni (13.4.4) e (13.4.2) ci permettono di calcolare v ed il rapporto $\frac{e}{m}$. Risulta infatti:

$$\boxed{\frac{e}{m} = \frac{E}{aB^2}} \quad \text{Rapporto} \quad (13.4.5)$$

carica-massa

Il valore di $\frac{e}{m}$ fu determinato nel modo suddetto per particelle negativamente elettrizzate costituenti i raggi catodici, che sono una parte cospicua della scarica elettrica nei gas a basse pressioni; ed anche per particelle elettrizzate negativamente, emesse da metalli quando sono esposti alla luce ultravioletta, o quando sono portati alla temperatura dell'incandescenza.

Cotali esperienze hanno condotto al risultato molto notevole, che il valore di $\frac{e}{m}$ è lo stesso qualunque sia la natura del gas in cui si trova la particella, **o qualunque sia la natura del metallo, da cui si può supporre che essa sia**

provenuta. Infatti, in tutti i casi nei quali il valore di $\frac{e}{m}$ fu determinato per particelle elettrizzate negativamente, muovendosi con velocità considerevolmente minore di quella della luce, si trovò, che esso è rappresentato da un numero che sta intorno a 10^7 in unità C.G.S., e a $1.77 \cdot 10^{11}$ in unità M.K.S.A.

Siccome il valore di $\frac{e}{m}$ per lo ione idrogeno nell'elettrolisi di liquidi è soltanto 10^4 C.G.S., e siccome abbiamo visto che la carica sugli ioni gassosi è uguale a quella sullo ione idrogeno nell'elettrolisi ordinaria, si scorge, che la massa di una particella di carica negativa deve essere all'incirca un millesimo della massa di un atomo di idrogeno, massa che da lungo tempo è stata considerata come la più piccola suscettibile di avere un'esistenza indipendente.

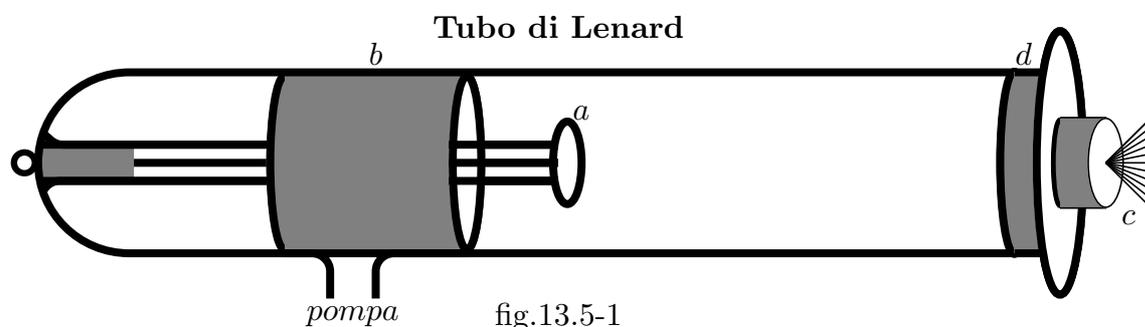
Thomson ha proposto il nome di *corpuscoli* per queste unità di elettricità negativa. Questi corpuscoli sono gli stessi, comunque lo stato elettrico possa avere origine, ed ovunque essi si trovano. L'elettricità negativa, in un gas a bassa pressione, ha quindi una struttura analoga a quella di un gas, i corpuscoli tendono il posto delle molecole. Il *fluido elettrico negativo*, per usare l'antica espressione, assomiglia ad un fluido gassoso, con struttura corpuscolare, anzichè molecolare. **Nel 1897 ad essi fu dato il nome di elettroni.**

13.5 - Raggi X (Raggi di Röntgen)¹⁾

Una importante proprietà dei raggi catodici è il loro potere di penetrazione negli ostacoli solidi sottili. Le prime osservazioni di questo tipo sono state dovute ad Hertz,²⁾ il celebre scienziato che ha scoperto le onde elettromagnetiche. Egli trovò che se un film di foglia d'oro fosse posto sulla traiettoria dei raggi catodici, essi erano in grado, ciononostante, di produrre fosforescenza sulla parete di vetro del tubo, sebbene l'intensità della fosforescenza fosse notevolmente ridotta dal passaggio dei raggi attraverso la foglia.

Lenard³⁾ fece un ulteriore passo avanti. Costruì una piccola finestra con un sottile foglio di alluminio alla fine del tubo a vuoto. Questa finestra era solo circa 1/35 di pollice di spessore (0.726 mm); l'obiettivo di renderla così piccola era di sostenere la foglia sottile il più possibile contro la pressione atmosferica, che tendeva a esplodere verso l'interno.

Con questo dispositivo (figura 13.5-1) Lenard fu in grado di inviare i raggi catodici attraverso la finestra e fuori nell'aria aperta.



La figura (13.5-1) illustra il tubo per mostrare la penetrazione dei raggi catodici all'aperto, *a* è il catodo a forma di disco; un tubo di metallo, *b*, funge da anodo. Di fronte al catodo c'è la sottile finestra in alluminio, *c*, portata dal cappuccio in ottone, *d*. I raggi escono da questa finestra.

Questo esperimento non ha successo a meno che il tubo a vuoto non sia molto esausto, quindi così da ottenere raggi di grande velocità. I raggi di piccola velocità, ottenuti a pressioni più elevate, non sono in grado di penetrare nella finestra. Gli esperimenti di Lenard, al momento in cui sono stati pubblicati per la prima volta, sono stati considerati da molti costituire un'obiezione fatale alla teoria corpuscolare dei raggi. È stato sostenuto che i corpuscoli non potevano penetrare in una solida finestra di metallo, comunque sottile. Questa non è più ritenuta seria difficoltà, come vedremo quando verremo a discutere le idee moderne della costituzione della materia.

¹⁾ R.J. Strutt, Lord Rayleigh: The Becquerel Rays and The Properties of Radium, London, Edward Arnold, pp.17-24, 1904.

²⁾ Heinrich Rudolf Hertz (Amburgo, 22 febbraio 1857 - Bonn, 1 gennaio 1894).

³⁾ Philipp Eduard Anton von Lenard (Presburgo, oggi Bratislava (Slovacchia), 7 giugno 1862 - Messelhausen, Germania, 20 maggio 1947) è stato un fisico tedesco, assistente di Heinrich Rudolf Hertz, premio Nobel per la Fisica nel 1905 per gli studi sulle proprietà dei raggi catodici.

I raggi catodici non sono in grado di andare a considerevoli distanze attraverso l'aria a pressione atmosferica. Essi sono diffusi e distribuiti a forma di ventaglio dalla finestra. Se la pressione dell'aria nello spazio esterno al tubo è ridotta, i raggi sono in grado di andare oltre, ma a pressione atmosferica si comportano come un raggio di luce in un'atmosfera fumosa. Ciò è dovuto alla collisione dei corpuscoli con le molecole dell'aria. Questa, se non li ferma del tutto, li devia in una direzione laterale.

Lenard fece una serie di determinazioni molto preziose dell'assorbimento comparativo dei raggi catodici da parte di diversi solidi e gas. Il risultato è stato aver dimostrato che le sostanze più dense sono le più assorbenti per i raggi catodici; le sostanze più leggere sono le più trasparenti. Questa regola sembra essere applicabile a tutte le sostanze, dalla più densa, ad esempio come l'oro, ai più leggeri, come l'idrogeno, ad un elevato grado di rarefazione. L'assorbimento dei raggi è proporzionale alla densità. L'oro è circa quindicimila volte più denso dell'aria; Così se i raggi fossero parzialmente assorbiti da un pezzo di foglia d'oro richiederebbe uno strato d'aria quindicimila volte più spesso per assorbirli tanto.

Probabilmente la legge della densità è solo approssimativamente vera.

La trasparenza di diverse sostanze ai raggi catodici, poichè dipende dalla densità, non ha connessione qualunque sia la loro trasparenza alla luce. Quindi, ad esempio, la mica, che non è molto diversa in densità dall'alluminio, trasmette i raggi catodici ugualmente bene, mentre la mica è trasparente alla luce e l'alluminio perfettamente opaco. **I raggi catodici, che sono penetrati all'esterno della finestra, producono un bagliore blu nell'aria vicino ad essa.** Questo bagliore è della stessa natura del bagliore dentro il tubo vicino all'elettrodo negativo, che è più evidente quando la pressione non è così bassa come negli esperimenti di Lenard. Il bagliore negativo all'interno del tubo è dovuto al passaggio dei raggi catodici attraverso il gas residuo nel tubo. Se il tubo è riempito d'aria il bagliore mostra le bande di azoto quando esaminate con lo spettroscopio.

I raggi catodici all'esterno del tubo sono in grado di impressionare una lastra fotografica. Essi sono anche in grado di rendere l'aria attraverso la quale passano un conduttore di elettricità.

Quando un tubo altamente esaurito, in cui i raggi catodici sono ben sviluppati, viene avvicinato ad uno schermo di materiale fluorescente, come platino-cianuro di bario, lo schermo si illumina, anche se il tubo a vuoto è avvolto in carta nera e non ha una finestra sottile attraverso la quale i raggi catodici possono penetrare. Questo fatto straordinario fu osservato da Rontgen nel 1896, ed era l'origine della scoperta che ha reso famoso il suo nome.

Egli presto concluse che i nuovi raggi che hanno prodotto questo effetto e che hanno preso il suo nome, veniva dal luogo in cui i raggi catodici colpiscono un ostacolo solido; dalla macchia verde fluorescente posta sul vetro. **È stato naturale collegare i raggi di Rontgen con questa fluorescenza; ma è stato trovato poco dopo un aumento dei raggi di Rontgen in quantità piuttosto che una diminuzione quando una superficie metallica è stata disposta per ricevere l'impatto dei raggi catodici. Poichè la superficie metallica non era fluorescente, è evidente che la fluorescenza non è la condizione essenziale per la produzione dei raggi Rontgen. L'essenziale è l'arresto improvviso dei raggi catodici.**

La forma del tubo che l'esperienza ha dimostrato essere il migliore per

produrre i raggi di Rontgen è questo noto come tubo di messa a fuoco (fig.13.5-2).

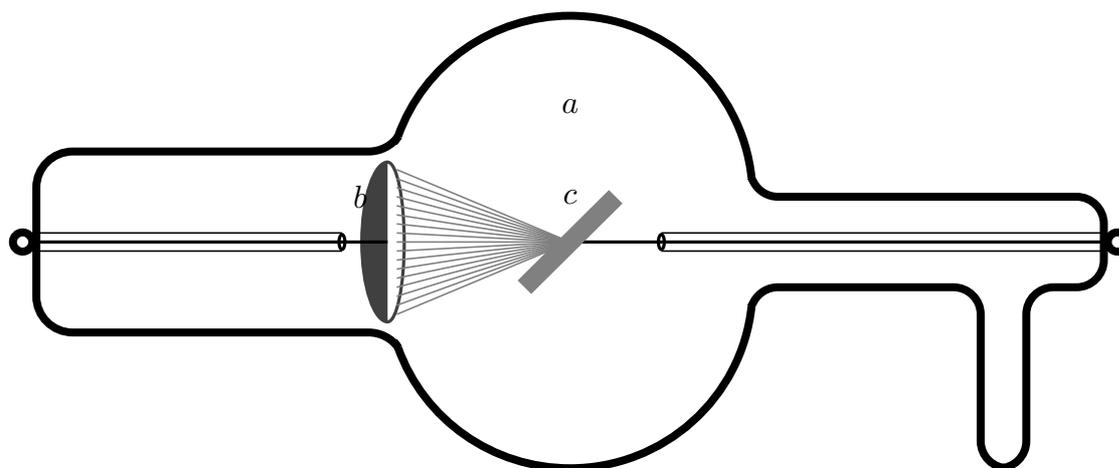


fig.13.5-2

La figura (13.5-2) illustra il bulbo, a, per la produzione di raggi di Rontgen. Il catodo, b, è a forma di coppa circolare, e i raggi catodici da esso (rappresentati dalle linee), convergono sull'anodo a piastra, c, inclinato a 45 gradi. I raggi di Rontgen escono dalla parte anteriore di questo anodo. Viene utilizzato un catodo a sfera; poichè i raggi catodici vengono sparati ad angolo retto rispetto alla superficie del catodo, essi convergono tutti al centro di curvatura della sfera di cui fa parte il catodo. **A quel punto viene posizionato un bersaglio inclinato in platino per riceverli. Intensi raggi Röntgen escono dal punto in cui colpiscono i raggi catodici.** Questi raggi, poichè escono da un unico punto, sono in grado di proiettare ombre molto nitide.

I raggi di Röntgen sono in grado di passare in una certa misura attraverso tutti i materiali solidi, ma la facilità con cui vengono trasmessi varia molto con il materiale in questione. I metalli pesanti sono i più opachi, e la loro opacità è maggiore di quella delle sostanze leggere, come il legno o l'acqua, abbastanza sproporzionata rispetto al loro peso extra. In questo i raggi di Rontgen differiscono dai raggi catodici, poichè, come abbiamo visto, l'assorbimento di questi ultimi è quasi in proporzione alla densità. Questa differenza di trasparenza per diverse sostanze è la proprietà che consente di vedere o fotografare le ossa di una persona vivente. I raggi sono in grado di penetrare nella carne, che consiste in gran parte di acqua. Le ossa, costituite da fosfato di calcio, non sono quasi così trasparenti. Il risultato è che, se la mano o altra parte del corpo è posta tra il tubo e lo schermo fluorescente, le ossa sono viste come un'ombra profonda, mentre la carne ne dà solo una debole. I raggi sono in grado di impressionare una lastra fotografica (avvolta in carta nera per prevenire l'effetto della luce ordinaria) e se quella è usata al posto dello schermo fluorescente, registrerà l'aspetto dell'ombra dell'osso permanentemente.

Si è riscontrato che i raggi di Rontgen non sono affatto influenzati da una forza magnetica. A questo proposito essi differiscono fundamentally dai raggi catodici che li ha prodotti. Sono inoltre molto più penetranti di questi ultimi.

La vista della natura dei raggi di Röntgen che ha ottenuto l'accettazione generale è ciò che è stato proposto per la prima volta da Sir George Stokes. Egli considerò che i raggi di

Röntgen erano impulsi sottili di forza elettrica e magnetica, dovuta all'improvviso arresto delle particelle di catodo. La teoria elettrica mostra che con l'interruzione di una carica in movimento ci si può aspettare che produca un tale impulso; l'impulso sarebbe della stessa natura della luce ordinaria, che ora è considerato come la propagazione dell'onda elettrica; ma con questa importante differenza, che la lunghezza delle onde che si ritiene costituiscono i raggi di Röntgen sarebbe molto più piccola di quella delle onde che costituiscono la luce visibile. Non saremo tuttavia molto interessati ai raggi di Röntgen in questo libro; ed è inutile discutere ulteriormente la difficile domanda sulla loro origine e natura.

Noi abbiamo visto che i raggi catodici sono particelle cariche negativamente respinte dal catodo. Se vengono raggiunte le giuste condizioni sperimentali, raggi positivi oppure i raggi anodici, come possono essere chiamati, sono attratti fino al catodo. Se il catodo è perforato (fig.13.3-9) il momento di questi raggi positivi è sufficiente per trasportarli attraverso di esso. Essi attaccano le pareti del tubo e, come i raggi catodici, producono fosforescenza nel punto di impatto.

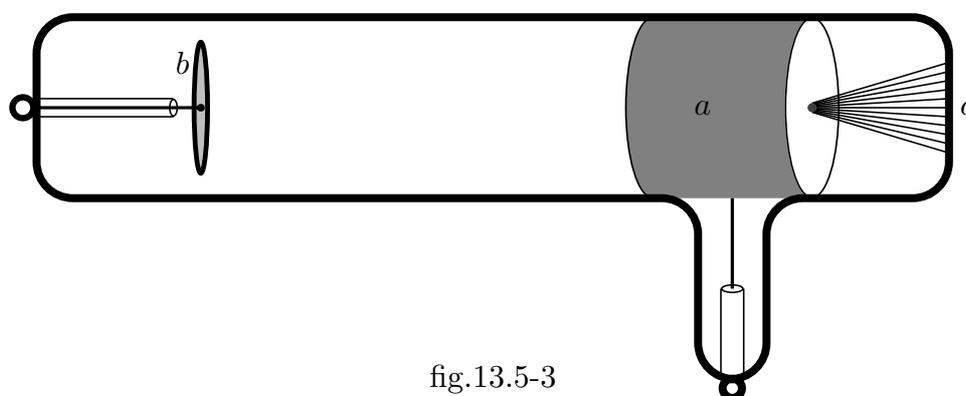


fig.13.5-3

La figura (13.5-3) illustra i raggi 'canale', *a* è il catodo (perforato) e *b* l'anodo. I raggi 'canale' sono emessi attraverso il foro sul retro del catodo e causano fosforescenza sul vetro in *c*.

I raggi positivi sono molto meno evidenti dei raggi catodici. Sono stati scoperti da Goldstein, molto tempo dopo che i raggi catodici erano ben noti. Li ha chiamati raggi canale, in allusione al fatto che sono stati ottenuti attraverso un canale nel catodo.

È stato scoperto che i raggi canale, come i raggi catodici sono deviati da un magnete; Questo deflessione è nella direzione opposta a quella dei raggi catodici ed è molto più piccola. Una forma magnetica sufficiente per far ruotare i raggi catodici in un molto piccolo cerchio deviava appena i raggi canale in qualsiasi misura misurabile. Anche i raggi canale sono deviate da un campo elettrostatico, in direzione contraria a quella dei raggi catodici.

Misure della deflessione esattamente simili a quelli per i raggi catodici sono stati realizzati da Wien per i raggi canale. I suoi esperimenti hanno dimostrato che i raggi canale non si muovono così velocemente come i raggi catodici e che il rapporto tra carica e massa. è oltre misura in meno, essendo dello stesso valore degli atomi di idrogeno o, a volte anche più piccoli, come per gli atomi più pesanti. Questo non è il posto giusto per proseguire sull'argomento, ma apparirà nel seguito a cui non sono mai associate cariche positive con masse di dimensioni inferiori a quelle atomiche. Negativi solo i corpuscoli

hanno dimostrato di esistere, e questo è probabilmente la causa del bisogno essenziale di simmetria nel comportamento di elettricità positiva e negativa verso la materia.

In questo capitolo una parte molto piccola dell'oggetto della scarica elettrica è stato toccata. Sono stati discussi solo quei fenomeni che tengono conto dell'interpretazione dei fenomeni dei raggi X, della scoperta dell'elettrone e della radioattività. Nel prossimo paragrafo riproduciamo la traduzione del primo lavoro di Röntgen sulla scoperta dei raggi X (o raggi Röntgen). La figura (13.5-4) presenta lo spettro del visibile completo della zona ultravioletta e dei raggi X.



fig.13.5-4

13.6 - Un nuovo tipo di raggi di W.C. Röntgen-Prima Comunicazione^{1),2),3)}

1. Se la scarica di una bobina di induzione abbastanza larga è fatta passare attraverso un tubo di Lenard, un tubo di Hittorf, un tubo di Crookes, o di altri simili apparati, che sono stati sufficientemente svuotati, il tubo essendo coperto di sottile cartoncino nero abbastanza aderente, e se l'intero apparato è posto in una stanza completamente buia, si osserva ad ogni scarica un'illuminazione brillante di uno schermo di carta coperto di platino-cianuro di bario, collocato in prossimità della bobina di induzione, la fluorescenza così prodotta essendo completamente indipendente dal fatto che la superficie rivestita o l'altra superficie piana sia rivolta verso il tubo di scarica. **Questa fluorescenza è visibile anche quando lo schermo di carta con il platino-cianuro di bario è ad una distanza di due metri dall'apparato.**

È facile da provare che la causa della fluorescenza proviene dall'apparato di scarica e non da qualsiasi altro punto del circuito di conduzione.

2. La caratteristica più sorprendente di questo fenomeno è il fatto che un agente attivo qui passa attraverso un involucro di cartone nero, che è opaco ai raggi visibili e ultravioletti del sole o dell'arco elettrico; un agente, anche, **che ha il potere di produrre fluorescenza attiva**. Quindi possiamo prima esaminare la domanda se anche altri corpi possiedono questa proprietà.

Noi presto scopriremo che tutti i corpi sono trasparenti a questo agente, sebbene a livelli molto diversi. Procedo a fare alcuni esempi: la carta è molto trasparente;⁴⁾ dietro un libro rilegato di circa mille pagine ho visto lo schermo fluorescente illuminarsi brillantemente, l'inchiostro della stampa offre appena un evidente ostacolo. Allo stesso modo la fluorescenza appariva dietro un doppio pacco di carte; una singola carta tenuta tra l'apparato e lo schermo è quasi impercettibile alla vista. Un singolo foglio di lamina di metallo è anche appena percettibile; è solo dopo che diversi strati sono stati posizionati uno sopra l'altro che la loro ombra è chiaramente visibile sullo schermo. Spessi blocchi di legno sono anche trasparenti, assi di pino di due o tre centimetri di spessore assorbono solo leggermente. Una lastra di alluminio di circa 15 millimetri di spessore, sebbene abbia indebolito seriamente l'azione, non ha fatto sparire del tutto la fluorescenza. Fogli di

¹⁾ George Frederick Barker, George Gabriel Stokes, Wilhelm Conrad Röntgen: Röntgen Rays: Memoirs by Röntgen, Stokes, and J.J. Thomson - Edited by George Frederick Barker, LL.D., 1899, pag.3.

²⁾ oppure: Wilhelm Conrad Röntgen: Nature, n.1369, vol.53, January 23, 1896, pag.274 - Translated by Arthur Stanton from: Wilhelm Röntgen, Ueber eine neue Art von Strahlen. Vorläufige Mitteilung. Aus den Sitzungsberichten der Würzburger, Physik medic Gesellschaft, Würzburg 1895, pp.137-147. - (Traduzione: Wilhelm Röntgen, A proposito di un nuovo tipo di raggi. Notifica preliminare. Dai rapporti sulla riunione del Würzburger, Physik medic Gesellschaft, Würzburg 1895, pag. 137-147.)

³⁾ e, ancora, Wilhelm Conrad Röntgen: Une nouvelle espèce de rayons - Revue générale des Sciences, t. VII, 1896, pag. 59-63.

⁴⁾ Per "trasparenza" di un corpo io denoto la luminosità relativa di uno schermo fluorescente posto vicino dietro il corpo, riferito alla luminosità che lo schermo mostra nelle stesse circostanze, sebbene senza l'interposizione del corpo.

gomma dura di diversi centimetri di spessore consentono ancora ai raggi di attraversarli.⁵⁾ Lastre di vetro di uguale spessore si comportano in modo abbastanza diverso, a seconda che esse contengono piombo (vetro-flint) o no; i primi sono molto meno trasparenti dei secondi. **Se la mano si tiene fra il tubo di scarica e lo schermo, l'ombra più scura delle ossa si vede all'interno dell'ombra leggermente scura dell'immagine della mano stessa.** Anche l'acqua, il disolfuro di carbonio e vari altri liquidi, quando vengono esaminati in recipienti di mica, sembrano trasparenti. Che l'idrogeno sia notevolmente più trasparente dell'aria io non sono stato in grado di scoprirlo. Dietro piastre di rame, argento, piombo, oro e platino la fluorescenza può ancora essere riconosciuta, solo se lo spessore delle piastre non è troppo grande. Il platino di spessore di 0.2 millimetri è ancora trasparente; le lastre d'argento e di rame possono anche essere più spesse. Il piombo di spessore di 1.5 millimetri è praticamente opaco; e per conto di questa proprietà questo metallo è frequentemente più usato. Una barra di legno con una sezione quadrata (20 x 20 millimetri), uno dei cui lati è dipinto di bianco con vernice al piombo, si comporta in modo diverso a seconda di come viene tenuto tra l'apparato e lo schermo. È quasi completamente senza azione quando i raggi X lo attraversano parallelamente al lato dipinto; mentre la barra lancia un'ombra scura quando i raggi sono fatti attraversare perpendicolarmente al lato dipinto. In una serie simile a quella dei metalli stessi, i loro sali possono essere disposti con riferimento alla loro trasparenza, sia in forma solida che in soluzione.

3. I risultati sperimentali che sono stati ora dati, così come altri, conducono alla conclusione che la trasparenza di sostanze differenti, assunte essere di eguale spessore, è essenzialmente condizionata dalla loro densità: nessun'altra proprietà somiglia a questa, sicuramente a un così alto livello.

I seguenti esperimenti mostrano, tuttavia, che la densità non è la sola causa che agisce. Io ho esaminato, con riferimento alla loro trasparenza, lastre di vetro, di alluminio, di calcite, e di quarzo, di quasi lo stesso spessore; e mentre queste sostanze sono quasi eguali in densità, fu molto evidente che la calcite era sensibilmente meno trasparente delle altre sostanze, che apparivano quasi esattamente identiche. Nessuna particolarmente forte fluorescenza della calcite, specialmente a confronto con il vetro, è stata notata.

4. Tutte le sostanze che aumentano in spessore diventano meno trasparenti. In modo da trovare una possibile relazione fra la trasparenza e lo spessore, ho realizzato fotografie in cui parti delle lastre fotografiche erano coperte da strati di fogli di carta stagnola, variando il numero di fogli sovrapposti. Misure fotometriche di queste saranno fatte quando io sarò in possesso di un adeguato fotometro.

5. Fogli di platino, piombo, zinco e alluminio erano di spessore tale che apparivano quasi ugualmente trasparenti. La seguente tavola contiene lo spessore assoluto di tali fogli misurato in millimetri, lo spessore relativo riferito a quello del foglio di platino, e le loro densità:

Spessore	Spessore Relativo	Densità
Pt 0.018 mm.	1	21.5
Pb 0.05 mm.	~ 3	11.3

⁵⁾ Per brevità, userò l'espressione "raggi"; e per distinguerli da altri con questo nome li chiamerò raggi X.

Zn 0.10 mm.	~ 6	7.1
Al 3.5 mm.	~ 200	2.6

Possiamo concludere da questi valori che metalli differenti posseggono trasparenze che non sono affatto uguali, anche quando i prodotti di spessore e densità sono gli stessi. La trasparenza aumenta molto più rapidamente di quanto diminuisca questo prodotto.

6. La fluorescenza del platinocianuro di bario non è l'unico effetto riconoscibile dei raggi X. Va detto che anche altri corpi sono fluorescenti; come, ad esempio, i composti di calcio fosforescenti, poi il vetro all'uranio, il vetro ordinario, la calcite, il salgemma e così via.

Di particolare significato sotto molti aspetti è il fatto che le lastre fotografiche secche sono sensibili ai raggi X. Noi siamo, quindi, in una condizione di determinare più sicuramente molti fenomeni, e quindi più facilmente evitare l'inganno; dovunque sia stato possibile, quindi, ho controllato, per mezzo della fotografia, ogni osservazione importante che ho fatto con l'occhio per mezzo dello schermo a fluorescenza.

In questi esperimenti la proprietà dei raggi di passare quasi senza ostacoli attraverso sottili fogli di legno, carta e fogli di alluminio è molto importante. Le impressioni fotografiche possono essere ottenute in una stanza non oscurata con le lastre fotografiche nei supporti o avvolte in carta. D'altro lato, da questa proprietà risulta come conseguenza che le lastre non sviluppate non possono essere lasciate per lungo tempo nelle vicinanze del tubo di scarica, se esse sono protette semplicemente dal solito rivestimento di cartone e carta.

Sembra discutibile, tuttavia, se l'azione chimica sui sali d'argento delle lastre fotografiche sia direttamente causata dai raggi X. È possibile che questa azione provenga dalla luce fluorescente che, come notato sopra, viene prodotta nella lastra di vetro stessa o forse nello strato di gelatina. Le pellicole possono essere utilizzate proprio come lastre di vetro.

Io non sono stato in grado ancora di provare sperimentalmente che i raggi X sono anche in grado di produrre un'azione riscaldante; tuttavia possiamo ben supporre che questo effetto sia presente, poichè la capacità dei raggi X di essere trasformati è dimostrata mediante i fenomeni di fluorescenza osservati. È certo, quindi, che tutti i raggi X che ricadono su una sostanza non la lasciano di nuovo come tale.

La retina dell'occhio non è sensibile a questi raggi. Anche se l'occhio viene avvicinato al tubo di scarica, non osserva nulla, sebbene, come ha dimostrato l'esperimento, i media contenuti nell'occhio devono essere sufficientemente trasparenti per trasmettere i raggi.

7. Dopo aver riconosciuto la trasparenza di varie sostanze di spessore relativamente considerevole, mi sono affrettato a vedere come si sono comportati i raggi X passando attraverso un prisma e a scoprire se fossero così deviati o meno.

Esperimenti con l'acqua e con il disolfuro di carbonio chiusi in prismi di mica di circa 30° di angolo rifrangente hanno mostrato nessuna deviazione, o con lo schermo fluorescente o su lastre fotografiche. A scopo di paragone la deviazione dei raggi di luce ordinaria sotto le stesse condizioni fu osservata; e fu notato che in questo caso le immagini deviate cadono sulla lastra a circa 10 o 20 millimetri di distanza dall'immagine diretta. Per mezzo di prismi fatti di gomma dura e di alluminio, con lo stesso angolo rifrangente di 30° , io ho ottenuto immagini sulla lastra fotografica in cui qualche piccola deviazione può forse riconoscersi.

Tuttavia, il fatto è molto incerto; la deviazione, se esiste, è così piccola che in ogni caso l'indice di rifrazione delle sostanze nominate relativo ai raggi X non può essere più di 1.05 al massimo. Con uno schermo fluorescente non sono stato in grado di osservare alcuna deviazione.

Fino ad oggi gli esperimenti con prismi di metalli più densi non hanno dato risultati definitivi, a causa della loro debole trasparenza e della conseguente diminuzione dell'intensità dei raggi trasmessi.

Con riferimento alle condizioni generali qui implicate da un lato, e dall'altro alla importanza della questione se i raggi X possano essere rifratti o meno al passaggio da un mezzo all'altro, è molto fortunato che questo argomento possa essere indagato ancora in un altro modo attraverso l'aiuto di prismi. I corpi finemente divisi in strati sufficientemente spessi disperdono la luce incidente e lasciano passare solo una parte di essa, a causa della riflessione e della rifrazione; così che se le polveri sono trasparenti ai raggi X sono le stesse sostanze presenti solide - presupponendo quantità uguali di materiale - ne consegue immediatamente che né la rifrazione né la riflessione regolare avvengono in misura ragionevole. Sono stati condotti esperimenti con polvere di salgemma, con polvere di argento elettrolitico, e con polvere di zinco, come viene utilizzato nelle indagini chimiche. In tutti questi casi nessuna differenza fu rilevata fra la trasparenza delle polveri e quella delle sostanze solide, sia dell'osservazione con lo schermo fluorescente, sia con la lastra fotografica.

Da quanto è stato detto ora è ovvio che i raggi X non possono essere concentrati da lenti; né una grande lente di gomma dura né una lente di vetro hanno alcuna influenza su di essi. L'immagine dell'ombra di un'asta rotonda è più scura nel mezzo che nel bordo; mentre l'immagine di un tubo che è riempito da una sostanza più trasparente del proprio materiale è più leggera al centro che al bordo.

8. La domanda relativa alla riflessione dei raggi X può essere considerata risolta, dagli esperimenti menzionati nel precedente paragrafo, a favore dell'opinione che nessuna delle sostanze esaminate manifesta una riflessione regolare dei raggi. Altri esperimenti, che io qui ometto, conducono alla stessa conclusione.

Un'osservazione al riguardo dovrebbe, tuttavia, essere menzionata, poichè a prima vista sembra dimostrare il contrario. Io ho esposto ai raggi X una lastra fotografica che era protetta dalla luce da una carta annerita, e il cui lato di vetro era rivolto verso il tubo di scarica che produce i raggi X. Il film sensibile è stato coperto, per la maggior parte, con lastre lucide di platino, piombo, zinco e alluminio disposte a forma di stella. Sul negativo sviluppato si è visto chiaramente che l'oscuramento sotto il platino, il piombo, e in particolare lo zinco, era più forte rispetto alle altre piastre, poichè l'alluminio non aveva esercitato alcuna azione. Sembra, quindi, che questi tre metalli riflettano i raggi. Poichè, tuttavia, sono ipotizzabili altre spiegazioni del più forte oscuramento, in un secondo esperimento, per essere sicuro, ho messo tra il film sensibile e le lastre di metallo un pezzo di sottile foglio di alluminio, che è opaco ai raggi ultravioletti, ma è molto trasparente ai raggi X. Poichè lo stesso risultato è stato sostanzialmente nuovamente ottenuto, viene provata la riflessione dei raggi X dai metalli sopra citati.

Se noi paragoniamo questo fatto con le osservazioni già menzionate che le polveri sono tanto trasparenti quanto i solidi, e con l'ulteriore fatto che i corpi con superfici rugose si

comportano come corpi lisci con riferimento al passaggio dei raggi X, come mostrato anche nell'ultimo esperimento, siamo arrivati alla conclusione già dichiarata che la riflessione regolare non ha luogo, ma quei corpi si comportano verso i raggi X come fanno i mezzi torbidi verso la luce.

Dal momento che, inoltre, non ho potuto provare la rifrazione di questi raggi durante il passaggio da un mezzo all'altro, sembrerebbe che i raggi X si muovono con la stessa velocità in tutte le sostanze; e, inoltre, che questa velocità è la stessa nel mezzo che è presente ovunque nello spazio e in cui sono incorporate le particelle di materia. Queste particelle ostacolano la propagazione dei raggi X, essendo l'effetto maggiore, in generale, più densa è la sostanza in questione.

9. Di conseguenza, potrebbe essere possibile che la disposizione delle particelle nella sostanza eserciti un'influenza sulla sua trasparenza; che, ad esempio, un pezzo di calcite potrebbe essere trasparente in gradi diversi per lo stesso spessore, in base al fatto che viene attraversato nella direzione dell'asse o ad angolo retto rispetto ad esso. Esperimenti, tuttavia, sulla calcite ed il quarzo danno un risultato negativo.

10. È ben noto che Lenard venne alla conclusione dai risultati dei suoi belli esperimenti sulla trasmissione dei raggi catodici di Hittorf attraverso una sottile lamina di alluminio, che questi raggi sono fenomeni dell'etere e che essi si diffondono attraverso tutti i corpi. Noi possiamo dire lo stesso dei nostri raggi.

Nella sua ricerca più recente, Lenard ha determinato il potere assorbente di differenti sostanze per i raggi catodici, e, fra l'altro, ha misurato la potenza assorbita per l'aria dalla pressione atmosferica a 4.10, 3.40, 3.10, riferita a 1 centimetro, secondo la rarefazione del gas contenuto nell'apparato di scarica. A giudicare dalla pressione di scarica stimata dalla distanza dei bagliori, nei miei esperimenti ho avuto da fare per lo più con rarefazioni dello stesso ordine di grandezza, e solo raramente con meno o maggiori. Sono riuscito a confrontare per mezzo del fotometro di L. Weber, io non ne possedevo uno migliore, le intensità, prese nell'aria atmosferica, della fluorescenza del mio schermo a due distanze dall'apparato di scarica, circa 100 e 200 millimetri; e io ho trovato dai tre esperimenti, che si accordano molto bene con ogni altro, che le intensità variano inversamente al quadrato delle distanze dello schermo dall'apparato di scarica. Di conseguenza, l'aria assorbe una frazione molto più piccola dei raggi X rispetto ai raggi catodici. Questo risultato è in completo accordo con l'osservazione menzionata sopra, che è ancora possibile rivelare la luce fluorescente ad un distanza di due metri dall'apparato di scarica.

Altre sostanze si comportano in generale come l'aria essi sono più trasparenti ai raggi X dei raggi catodici.

11. Una ulteriore differenza, e una più importante, fra il comportamento dei raggi catodici e dei raggi X sta nel fatto che non sono riuscito, nonostante molti tentativi, ad ottenere una deflessione dei raggi X da parte di un magnete, anche in campi molto intensi.

La possibilità di deflessione da un magnete, è stata, fino ad oggi, una proprietà caratteristica dei raggi catodici; sebbene fu osservato da Hertz e Lenard che esistono diversi tipi di raggi catodici, "che sono distinti da ogni altra produzione di fosforescenza, dalla quantità del loro assorbimento, e dall'estensione della loro deflessione da un magnete". Una deflessione considerevole, tuttavia, fu notata in tutti i casi investigati da essi; quindi

non credo che questa caratteristica verrà abbandonata se non per ragioni rigorose.

12. Secondo esperimenti appositamente progettati per testare la domanda, è certo che il punto sulla parete del tubo di scarica che fluoresce più forte deve essere considerato come il centro principale da cui i raggi X si irradiano in tutte le direzioni. I raggi X procedono da quel punto in cui, secondo i dati ottenuti da diversi investigatori, i raggi catodici colpiscono la parete di vetro. Se i raggi catodici entro l'apparato di scarica sono deflessi per mezzo di un magnete, si osserva che i raggi X procedono da un altro punto - vale a dire da quello che è il nuovo capolinea dei raggi catodici.

Per questa ragione, quindi, i raggi X, che è impossibile deflettere, non possono essere raggi catodici semplicemente trasmessi o riflessi senza cambiamenti dalla parete di vetro. La più grande densità del gas fuori del tubo di scarica certamente non può spiegare la grande differenza nella deflessione, secondo Lenard.

Io quindi giungo alla conclusione che i raggi X non sono identici ai raggi catodici, ma che essi sono prodotti dai raggi catodici sulla parete di vetro dell'apparato di scarica.

13. Questa produzione non avviene solo nel vetro, ma come io sono stato in grado di osservare in un apparato chiuso da una lamina di alluminio di due millimetri di spessore, anche in questo metallo. Altre sostanze devono essere esaminate in seguito.

14. La giustificazione per chiamare con il nome "raggi" l'agente che procede dalla parete dell'apparato di scarico deriva in parte dalla formazione del tutto regolare di ombre, che si vedono quando corpi più o meno trasparenti vengono portati tra l'apparato e lo schermo fluorescente (o la lastra fotografica).

Io ho osservato, ed in parte fotografato, molte immagini d'ombra di questo tipo, la cui produzione ha un fascino particolare. Possiedo, ad esempio, fotografie dell'ombra del profilo di una porta che separa le stanze in cui, da un lato, era posto l'apparato di scarica, dall'altro la lastra fotografica; l'ombra delle ossa della mano; l'ombra del filo coperto avvolto su una bobina di legno; di una serie di pesi racchiusi in una scatola; di un galvanometro in cui l'ago magnetico è interamente chiuso dal metallo; di un pezzo di metallo la cui mancanza di omogeneità diventa evidente per mezzo dei raggi X, ecc.

Un'altra prova conclusiva della propagazione rettilinea dei raggi X è la fotografia di un forellino che ho potuto fare dell'apparato di scarica mentre era avvolto in carta nera; l'immagine è debole ma inconfondibilmente corretta.

15. Io ho provato in molti modi di rivelare fenomeni di interferenza dei raggi X; ma, sfortunatamente, senza successo, forse solo a causa della loro debole intensità.

16. Esperimenti sono stati cominciati, ma non sono ancora finiti, per accertare se le forze elettrostatiche influenzano i raggi X in qualunque modo.

17. Considerando la questione di che cosa sono i raggi X, che come noi abbiamo visto, non possono essere raggi catodici, noi possiamo forse inizialmente essere portati a pensare che essi siano luce ultravioletta, avendo al loro attivo fluorescenza e le loro azioni chimiche. Ma così facendo ci troviamo di fronte alle considerazioni più pesanti. Se i raggi X sono luce ultravioletta, questa luce deve avere le seguenti proprietà:

a) Passando dall'aria all'acqua, disolfito di carbonio, alluminio, salgemma, vetro, zinco, ecc., non subisce alcuna notevole rifrazione.

b) Da nessuno dei corpi nominati può essere egualmente riflesso in misura apprezzabile.

c) Non può essere polarizzata da qualsiasi metodo ordinario.

d) Il suo assorbimento è influenzato da nessun'altra proprietà delle sostanze perfino dalla loro densità.

Vale a dire, dobbiamo presumere che questi raggi ultravioletti si comportino in modo completamente diverso dai raggi ultravioletti, visibili e ultravioletti che sono stati conosciuti fino a quel momento.

Non sono stato in grado di giungere a questa conclusione e quindi ho cercato un'altra spiegazione.

Sembra che esista una sorta di relazione tra i nuovi raggi e i raggi di luce; almeno questo è indicato dalla formazione di ombre, dalla fluorescenza e dall'azione chimica prodotta da entrambi. Ora sappiamo da molto tempo che ci possono essere nell'etere vibrazioni longitudinali oltre alle vibrazioni trasversali della luce; e, secondo l'opinione di diversi fisici, queste vibrazioni devono esistere. La loro esistenza, è vero, non è stata dimostrata fino ad ora, e di conseguenza le loro proprietà non sono state studiate con l'esperimento.

Non dovrebbero dunque essere attribuiti i nuovi raggi alle vibrazioni longitudinali nell'etere?

Devo confessare che nel corso dell'indagine sono diventato sempre più fiducioso della correttezza di questa idea, e quindi, mi permetto di annunciare questa congettura, anche se sono perfettamente consapevole che la spiegazione fornita necessita ancora di ulteriori conferme.

December, 1895

Würzburg, Physikalisches Institut der Universität.

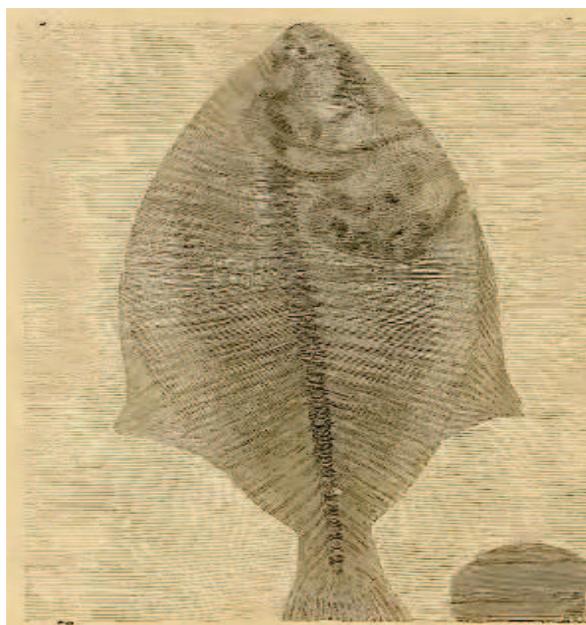


fig.13.6-1



fig.13.6-2

Le figure 13.6-1 e 13.6-2 rappresentano le immagini delle fotografie di un pesce e di una rana rispettivamente, attraversate dai raggi X, fatte da Monsieur Jean Perrin presso la Scuola Normale (Paris). H. Poincaré: *Revue générale des Sciences*, t. VII, p.60 e 61, 1896.

13.7 - La scoperta della Radioattività: Vita ed opere di Antoine Henri Becquerel^{1),2)}

Antoine Henri Becquerel fece parte di una dinastia che, di padre in figlio, diede notevole contributo al progresso della Fisica. Il nonno Antoine César Becquerel (1788-1878), contemporaneo di Ampère e Faraday, lasciò pregevoli lavori di elettricità ed elettrochimica. Egli fu per quarantanove anni professore di fisica nel Museo Nazionale di Storia Naturale di Parigi. Il padre, Alexandre Edmond Becquerel (1820-1891), forse altrettanto noto di Henri, compì importanti ricerche ottiche, principalmente sulla fosforescenza, identificandola, sotto certi riguardi, con la fluorescenza. La sua opera è raccolta in due volumi: *La lumière*. Egli fu dapprima professore al Conservatorio di Arti e Mestieri di Parigi, e poi succedette al padre Antoine nel Museo di Storia Naturale.

Fu terzo di tale dinastia, Henri Becquerel (1852-1908), che cominciò la sua carriera nello stesso anno della morte del nonno, con la qualifica di aiuto al Museo di Storia Naturale. Henri Becquerel aveva allora compiuto interessanti ricerche sul potere rotatorio magnetico, e sulla sua dispersione; osservò, persino, tale fenomeno sotto l'azione del debole campo magnetico terrestre, ed, in seguito anche nella materia tanto espansa, come nei gas. Si debbono a lui, in collaborazione con il padre, interessanti ricerche sulla temperatura del sottosuolo; e, poi, sul magnetismo temporaneo del nichel e del cobalto. Seguendo le orme del padre, negli studi della fosforescenza, scoprì che questa, dopo essere stata provocata dalle onde luminose (di solito di breve lunghezza d'onda), viene spenta dalla luce rossa od ultrarossa.

Il fenomeno è anche interessante, perchè permette lo studio di uno spettro a righe, ultrarosso, con l'illuminare con luce rossa od ultrarossa, uno schermo già reso fosforescente: le righe dello spettro in esame vi vengono segnate in nero su fondo chiaro. Tale applicazione perdette in seguito d'importanza, per l'invenzione del bolometro di Langley. Successe alla morte del padre, nel 1891, nell'insegnamento nel Museo di Storia Naturale.

Veniamo così al lavoro che ha dato luogo, con la scoperta della radioattività, alla maggiore celebrità di Henri Becquerel. Era avvenuta sul finire del 1895, ad opera di Wilhelm Conrad Röntgen, la scoperta dei raggi che portano il suo nome, ossia dei raggi X; e ciò, in modo del tutto inaspettato ed impreveduto. Come si sa, non si seppe comprendere subito, quale fosse la vera natura di tali raggi: lo stesso Röntgen, in linea di pura e da nulla giustificata ipotesi, pensò potere trattarsi di vibrazioni longitudinali dell'etere cosmico, la cui ammissione dominava allora la fisica. E si sa ancora, come ciò fu riconosciuto non vero.

Ricordo ancor oggi, a quale fervore di nuove speculazioni scientifiche, diede luogo la scoperta del fisico tedesco, in tutti i laboratori fisici del mondo. In particolare, avendo

¹⁾ Antoine Henri Becquerel (Parigi, 15 dicembre 1852 - Le Croisic, Francia, 25 agosto 1908). Nel 1903 condivise il Premio Nobel per la Fisica con Pierre e Marie Curie in riconoscimento degli straordinari servizi che ha reso con la sua scoperta della radioattività spontanea.

²⁾ Quirino Majorana (Catania, 28 ottobre 1871- Roma, 31 luglio 1957): Conferenza tenuta in occasione del cinquantenario della scoperta della Radioattività, nell'Istituto Superiore di Sanità, Roma il 17 Ottobre 1946. Rendiconti Accademia dei XL, 1947, Serie 3, volume XXVI, pagg.125-159.

Röntgen, mandato al mio maestro Blaserna,³⁾ alcune delle fotografie ottenute coi suoi raggi, qui in Roma, fummo tutti interessati al nuovissimo e strano fenomeno, non assimilabile ad altri sino ad allora sconosciuti. Furono così iniziate ricerche svariate, al fine di studiare altre caratteristiche di tali raggi. Così, il compianto e già valoroso fisico Alfonso Sella⁴⁾ ed io, in collaborazione, scoprimmo l'azione dei raggi X sulle scintille elettriche. Questo fatto fu messo in relazione dallo stesso Röntgen (venuto in visita dal Blaserna verso l'aprile del 1896) con altra scoperta poco prima da lui compiuta, e cioè della proprietà dei raggi X, di scaricare i corpi elettrizzati.

I fisici si domandavano, fra l'altro, come avvenisse la produzione dei raggi X, nei tubi di Crookes, che allora venivano adoperati a tale scopo. Fu così emessa, da H. Poincaré,⁵⁾ l'ipotesi che il fenomeno fosse connesso con la fluorescenza, della parete anticatodica (opposta al catodo) di quei tubi; e più propriamente che il vetro, eccitato dall'arrivo del fascio catodico, venisse ad emettere, oltre che luce comune (di fluorescenza), la nuova specie di raggi. Per verificare l'esattezza di una simile ipotesi, fu pensato di sostituire alla sorgente eccitatrice data dai raggi catodici, la luce comune, ed al vetro, una sostanza per essa fosforescente. Una esperienza fondata su una tale concezione, fu provata da altri fisici, usando del solfuro di zinco o di calcio; ma inutilmente.

H. Becquerel ebbe allora l'idea di verificare se i nuovi raggi si formassero proprio durante l'eccitazione della fluorescenza, mediante la luce comune. Disposero così su di una lastra fotografica, protetta da carta nera, uno strato di polvere di solfato doppio di uranio e potassio; esponeva poi il tutto alla luce del sole, per delle ore o giorni. Constatava, così, che la lastra veniva impressionata. Da questa esperienza, Becquerel fu dapprima indotto a ritenere che la luce solare fosse la causa del fenomeno. Oggi, qualcuno potrebbe sorprendersi del suo equivoco. Ma, ben riflettendo, si comprende la perfetta logicità del suo giudizio, che, allora, nell'ignoranza delle leggi del nuovo fenomeno, lo spingeva a metodici tentativi. Tanto Egli era convinto della giustezza di tale giudizio, che, essendosi accorto come l'annerimento della lastra fotografica si manifestasse anche in giorni nuvolosi (26, 27 Marzo 1896), ammise che le nuove radiazioni così scoperte, dovessero persistere anche molto tempo dopo che era cessata l'azione della luce; e ciò in modo analogo, ma molto più spiccatamente, di quanto avviene nel caso della comune fosforescenza.

Sarebbe molto istruttivo, ai fini di valorizzare l'acume e la correttezza del metodo sperimentale adottato da Becquerel, seguire passo a passo i resoconti delle Sue scoperte ulteriori. **Qui, mi limito a dire che fu soltanto verso la fine del 1896, che Becquerel si convinse della indipendenza del fenomeno da Lui scoperto, dalla luce solare. Il sale di uranio da Lui usato, aveva dunque la proprietà di emettere continuamente radiazioni di nuovo tipo, paragonabili, grosso modo, ai raggi X. Ma**

³⁾ Pietro Blaserna (Fiumicello, Italia, ex Austria, 22 febbraio 1836 - Roma, 26 febbraio 1918) è stato un fisico italiano, professore di Fisica Sperimentale presso l'Università di Roma.

⁴⁾ Alfonso Sella (Biella, 25 settembre 1865 - Roma 25 novembre 1907) è stato un fisico italiano, professore di Fisica Complementare presso l'Università di Roma.

⁵⁾ Henri Poincaré (Nancy, Francia, 29 aprile 1854 - Parigi, 17 luglio 1912), fisico teorico francese.

mentre in questo caso si ha una causa palese del fenomeno (la scarica elettrica attraverso il tubo di Crookes); nella nuova esperienza di Becquerel non poteva dirsi altrettanto. Appariva che quel fenomeno dovesse ascrivarsi ad una strana, nuova proprietà, caratteristica della materia. La **radioattività**, ossia i **raggi Becquerel** (così, presto chiamati, in di Lui onore), erano stati scoperti.

13.8 - Descrizione originale della scoperta della Radioattività scritta da Antoine Henri Becquerel¹⁾

Nella sessione dell'Accademia delle Scienze del 20 gennaio del 1896, quando il Prof. Henri Poincaré aveva appena mostrato le prime radiografie inviate dal Prof Röntgen, ho chiesto quale fosse, nell'ampolla vuota produttrice dei raggi X, il luogo di emissione di questi raggi. **Mi é stato risposto che l'origine della radiazione era la porzione luminosa della parete che riceveva il flusso catodico. Ho pensato subito di ricercare se la nuova emissione fosse una manifestazione del movimento vibratorio che dava origine alla fosforescenza, e se tutti i corpi fosforescenti emettessero raggi simili.** Ho condiviso questa idea e questo progetto con il Prof. Poincaré e il giorno dopo ho iniziato, lungo queste linee, una serie di esperienze di cui parlerò dopo; **queste non hanno confermato la previsione che li aveva fatte intraprendere.**

Poincaré scriveva allora nel numero del 30 gennaio del 1896 della *Revue générale des Sciences*, un articolo sui raggi di Röntgen; seguendo varie ipotesi che gli sono venuti in mente per capire la natura di questi raggi ha aggiunto:²⁾ **”Così è il vetro che emette i raggi di Röntgen, e li emette diventando fluorescente. Ci si può allora domandare se tutti i corpi la cui fluorescenza é sufficientemente intensa emettono, oltre ai raggi luminosi, anche i raggi X di Röntgen, qualunque sia la causa della loro fluorescenza. Questi fenomeni, allora, non saranno più legati a una causa elettrica. Questo non è molto probabile, ma è possibile e probabilmente abbastanza facile da verificare”.** La pubblicazione di questa correlazione suscitò immediatamente un gran numero di esperienze.

Se seguiamo l'ordine delle pubblicazioni, dobbiamo menzionare prima un esperimento di Monsieur Ch. Henry³⁾ che ha messo su una lastra fotografica avvolta in carta nera un filo di ferro, poi sul filo diverse monete, e su una di esse un pò di solfuro di zinco fosforescente preparato da lui. Egli espose tutto ai raggi X; quindi, sviluppando la radiografia, constatò che l'ombra del filo appariva leggermente sotto la parte coperta di solfuro zinco fosforescente. Conclude che questo corpo aveva emesso raggi che attraversavano il metallo e impressionavano la lastra fotografica. L'esperimento che ho avuto l'opportunità di vedere non mi ha convinto, tanto più che una leggera pressione sarebbe stata sufficiente per dare

¹⁾ Antoine Henri Becquerel: Recherches sur une Propriété Nouvelle de la Matière, Activité Radiante Spontanée ou Radioactivité de la Matière - Memoires de l'Académie des Sciences de L'Institut de France, Tome quarante-sixieme, Paris, Typographie de Firmin-Didot et C^{ie}, Imprimeurs de l'Institut, rue Jacob, 56, MDCCCIII, pag.3.

²⁾ H. Poincaré: Revue générale des Sciences, t. VII, p. 56, 1896.

³⁾ Charles Henry: Augmentation du rendement photographique des rayons Röntgen par le sulfure de zinc phosphorescent - Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, Tome 122, n.6, p. 312, 10 février 1896.

un risultato simile. Nessuna esperienza è arrivata poi a confermare questa osservazione. Un'altra esperienza di Monsieur Ch. Henry in relazione all'azione dei raggi emessi dalla blenda esagonale (solfuro di zinco: ZnS ; $S = 33\%$, $Zn = 67\%$, classe esagonale) attraverso un foglio di alluminio e cartone presenta non abbastanza nitidezza perchè si possa affermare che si tratti dello stesso fenomeno.

Dobbiamo menzionare qui, per non tornarci più, essendo state erroneamente collegate al nuovo fenomeno, vari esperienze di Monsieur G. Le Bon.⁴⁾ Queste erano impressioni fotografiche attribuite ai raggi di fonti luminose e che l'autore ha chiamato "luce nera"; questi raggi, in grado di passare attraverso schermi metallici, sono fermati da un foglio di carta nera.

La maggior parte di queste esperienze influisce su una complicazione che maschera la vera causa dei fatti osservati. In casi semplici questi appaiono come conseguenze di fenomeni noti.

Le conclusioni sono espresse in termini imprecisi e di tale generalità che potrebbero eventualmente applicarsi a fenomeni di un ordine completamente diverso. L'autore ha creduto di poter fare affidamento su queste conclusioni per sollevare rivendicazioni di priorità in diverse scoperte che furono fatte più tardi nel campo che ci occupa. È sufficiente leggere nei *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences* le prime pubblicazioni di Monsieur G. Le Bon per convincersi che nel momento in cui li ha fatti, l'autore non aveva alcuna idea dei fenomeni di radioattività.

Le conclusioni degli esperimenti di Monsieur Le Bon furono confutate prima da Monsieur Niewenglowski,⁵⁾ poi da Messieurs Lumière.⁶⁾ Più tardi, Monsieur Perrigot⁷⁾ ha dimostrato che diversi esperimenti sulla "luce nera" erano degli effetti dovuti ai raggi infrarossi che attraversano l'ebanite, corpi che si comporta come un vetro rosso molto scuro. Io ho avuto l'opportunità⁸⁾ di verificare e completare questa osservazione.

Di tutte queste pubblicazioni una sola merita di attirare particolarmente l'attenzione, è una nota di Monsieur Niewenglowski⁹⁾ contenente la seguente osservazione: uno schermo rivestito con polvere di solfuro di calcio fosforescente (al bismuto), dopo essere stato esposto, emetteva radiazioni che hanno impressionato una lastra fotografica attraverso car-

⁴⁾ Gustave Le Bon: Lumière noire - Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, t. CXXII (1896), p. 188, 27 janvier; p. 233, 3 février; p. 386, 17 février; et p. 462, 24 février.

⁵⁾ H. Niewenglowski: Observations sur la Lumière noire - Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, t. CXXII (1896), p. 232, 3 février; p. 385, 17 février.

⁶⁾ August et Louis Lumière: Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, t. CXXII (1896), p. 463, 24 février.

⁷⁾ Perrigot: Sur la lumière noir - Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, t. CXXIV (1897), p. 857 et p. 1087.

⁸⁾ Henri Becquerel: Sur la lumière noir - Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, t. CXXIV (1897), p. 984.

⁹⁾ H. Niewenglowski: Observations sur la Lumière noire - Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, t. CXXII (1896), p. 385, 17 février.

tone e carta nera.

Sono stato portato a ripetere un'esperienza simile le cui notevoli anomalie saranno sviluppate dopo; ma questo fenomeno non sembra essere lo stesso di quello che sarà discusso in questo lavoro e che costituisce la radioattività.

Queste furono le pubblicazioni che precedettero la prima osservazione che ho fatto sulle proprietà radianti dei sali di uranio e che è stata pubblicata nella sessione dell'Accademia delle Scienze dell'11 febbraio 1896.

In una prima serie di esperimenti delle lastre fotografiche, avvolte in carta nera, furono esposte all'irraggiamento di sostanze fosforescenti racchiuse in tubi in cui il gas era molto poco rarefatto per evitare raggi X. La durata dell'esposizione, limitata dall'obbligo di mantenere la scarica all'interno del tubo, era di quindici minuti, e l'esperienza ci ha insegnato che quella esposizione non era sufficiente per rivelare un effetto debole, un effetto che sarebbe stato almeno in parte intercettato attraverso il vetro del tubo.

In un'altra serie, la fosforescenza corporea inalterabile nell'aria, come fluorite, blenda esagonale fosforescente, era stata eccitata dalle scintille e in questi esperimenti, fatti con tutte le cure possibili, nessuna azione è stata presa depositando queste sostanze su una lastra fotografica avvolta in carta nera, sia eccitandole durante l'esposizione sia lasciando che l'azione presunta continui molto tempo dopo che l'eccitazione era cessata. Sebbene l'esposizione fosse stata estesa per diverse ore questa durata è stata ancora troppo corta. Inoltre, ero riluttante a esporre all'aria le belle preparazioni di solfuro fosforescente che io possedevo perchè si deteriorano in queste circostanze; lo era allo stesso modo per i sali deliquescenti di uranio.

Tuttavia, nonostante le esperienze negative con gli altri corpi avevo grandi speranze nella sperimentazione con sali di uranio, che avevo avuto una volta l'opportunità, a seguito del lavoro di mio padre, di studiarne la fosforescenza. Questi corpi che emettono e assorbono un'intera serie di radiazioni luminose armoniche, sembrano avere una costituzione molecolare particolarmente notevole, almeno dal punto di vista della fosforescenza e assorbimento.

Fra i preparati di sali di uranio che avevo, vi erano delle belle lamelle di doppio solfato di uranile e potassio che avevo preparato una quindicina di anni fa. Questi cristalli, inalterabili in aria, erano perfettamente adatti per gli esperimenti pianificati; ma non li avevo allora a mia disposizione, li avevo prestato al mio collega Monsieur Lippmann in vista di ottenere una fotografia interferenziale che ha dato, inoltre, ottime prove.

Lo stesso giorno in cui Monsieur Lippmann mi ha restituito queste stecche cristalline ho fatto la prima osservazione da cui fluisce tutta la ricerca che seguirà.

Tutti gli esperimenti tranne una serie di misurazioni elettriche, sono stati eseguiti nel laboratorio di fisica del Museo di Storia naturale.

Citiamo nel seguito i primi esperimenti di Becquerel descritti nelle sue pubblicazioni.

1) **Antoine Henri Becquerel:** *Sur les radiations invisibles émises par phosphorescence* pubblicato nei *Compte Rendus*, Tome 122, 1896, pp.420-421.

In una precedente seduta, Monsieur Ch. Henry ha annunciato che il solfuro di zinco fosforescente interposto sulla traiettoria dei raggi emessi da un tubo di Crookes aumentava

l'intensità delle radiazioni che attraversavano l'alluminio.

D'altra parte Monsieur Niewenglowski ha riconosciuto che il solfuro di calcio fosforescente commerciale emette delle radiazioni che attraversano i corpi opachi.

Questo fatto si estende a diversi corpi fosforescenti ed, in particolare, ai sali di uranio di cui la fosforescenza ha una durata molto corta.

Con il solfato doppio di uranio e di potassio, di cui io possiedo dei cristalli formanti una crosta sottile e trasparente, io ho potuto fare la seguente esperienza:

Si avvolge una lastra fotografica "Lumière", al gelatino-bromuro, con due fogli di carta nera molto spessa, in modo tale che la lastra non si veli dall'esposizione al sole, durante una giornata.

Si ponga sui fogli di carta, all'esterno, una lastra del materiale fosforescente, e il tutto si esponga al sole, durante più ore. Quando dopo si sviluppò la lastra fotografica, si riconobbe che la sagoma della sostanza fosforescente apparisse in nero sulla fotografia. Se si interpone fra la sostanza fosforescente e la carta una moneta o uno schermo metallico traforato da un disegno vediamo l'immagine di questi oggetti apparire sulla fotografia.

Si possono ripetere le stesse esperienze interponendo fra la sostanza fosforescente e la carta una sottile lamina di vetro, che esclude la possibilità di un'azione chimica dovuta a vapori che potrebbero emanare dalla sostanza riscaldata dai raggi del sole.

Si deve dunque concludere da queste esperienze che la sostanza fosforescente in questione emette delle radiazioni che attraversano la carta opaca alla luce e riducono i sali d'argento.

2) **Antoine Henri Becquerel:** *Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescentes* pubblicato nei *Compte Rendus*, Tome 122, 1896, pp.501-503.

Nell'ultima seduta io ho indicato sommariamente le esperienze che ero stato condotto a fare per mettere in evidenza le radiazioni invisibili emessi da certi corpi fosforescenti, radiazioni che attraversano diversi corpi opachi per la luce.

Io ho potuto estendere queste osservazioni, e, benchè mi propongo di continuare e di sviluppare lo studio di questi fenomeni, la loro attualità mi conduce ad esporre, oggi, i primi risultati che io ho ottenuto.

Le esperienze che descriverò sono state fatte con le radiazioni emesse da lamine cristalline di solfato doppio di uranile e di potassio:



corpi di cui la fosforescenza é molto intensa e la durata di persistenza luminosa inferiore a 1/100 di secondo. I caratteri delle radiazioni luminose emesse da questa sostanza sono state studiate tempo fa da mio padre, e io ho avuto, da allora, l'occasione di segnalare delle particolarità interessanti che presentano queste radiazioni luminose.

Si può verificare molto semplicemente che le radiazioni emesse da questa sostanza, quando essa è esposta al sole o alla luce diffusa del giorno, attraversano, non solamente dei fogli di carta nera, ma ancora diversi metalli, per esempio una lastra di alluminio ed un sottile foglio di rame. Io ho fatto in particolare l'esperienza seguente:

Una lastra alla gelatina bromuro d'argento, è stata racchiusa in una cornice di tela nera opaca, chiusa da un lato da una lastra di alluminio; se si espone il telaio in pieno sole, anche durante una giornata intera, la lastra non sarà velata; ma, se si fissa sulla lastra

d'alluminio, all'esterno, una lamina di sale di uranio, che lo si può, per esempio, fissare con strisce di carta, e se si espone il tutto durante più ore al sole, si riconosce, quando dopo si sviluppa la lastra con le ordinarie procedure, che il profilo della lamina cristallina appare in nero sulla lastra sensibile e che il sale d'argento è stato ridotto davanti alla lamina fosforescente. Se la lamina di alluminio è un pò spessa, l'intensità dell'azione è inferiore che attraverso i due fogli di carta nera.

Se, fra la lamina del sale di uranio e la lamina di alluminio o la carta nera, si interpone uno schermo, costituito da una lamina di rame, di 0.1 mm di spessore circa, per esempio a forma di croce, si osserva nell'immagine la sagoma di questa croce, in modo più chiaro, ma con un colore indicante tuttavia che le radiazioni hanno attraversato la lamina di rame. In un'altra esperienza, una lamina di rame più sottile (0.04 mm) ha indebolito molto meno le radiazioni attive.

La fosforescenza provocata, non più dai raggi solari diretti, ma dalle radiazioni solari riflesse sullo specchio metallico di un eliostato, poi rifratti da un prisma e da una lente di quarzo, ha dato luogo agli stessi fenomeni.

Io insisterò particolarmente sul seguente fatto che mi sembra assolutamente importante e al di fuori dei fenomeni che ci si poteva attendere di osservare: le stesse lamine cristalline poste in prossimità delle lastre fotografiche, nelle stesse condizioni e attraverso gli stessi schermi, ma al riparo dell'eccitazione delle radiazioni incidenti e mantenute nell'oscurità producono ancora le stesse impressioni fotografiche. Ecco come io sono stato condotto a fare questa osservazione: fra le esperienze che precedono, qualcuna era stata preparata mercoledì 26 e giovedì 27 febbraio e, siccome in quei giorni, il sole appariva solo in modo intermittente, avevo tenuto tutti gli esperimenti preparati e riportato il telaio nell'oscurità all'interno di un cassetto di un mobile, lasciando al loro posto (nel telaio) le strisce di sale all'uranio. Il sole non si era mostrato nei giorni seguenti, ed io ho sviluppato le lastre il primo marzo (domenica), attendendomi di trovare delle immagini molto deboli. Le sagome apparirono al contrario, con una grande intensità. Ho immediatamente pensato che l'azione doveva essere continuata nel buio e ho preparato la seguente esperienza:

Nel fondo di una scatola di cartone opaco, ho posto una lastra fotografica, poi, sulla faccia sensibile, una lamina di sale di uranio, lamina convessa che toccava la gelatina-bromuro solamente in qualche punto; poi, a lato, ho posto sulla stessa lastra un'altra lamina dello stesso sale, separata dalla superficie gelatino-bromuro da una sottile lamina di vetro; questa operazione essendo eseguita nella camera nera, la scatola è stata chiusa, poi rinchiusa in un'altra scatola di cartone, poi dentro un cassetto.

Ho anche operato con il telaio chiuso da una lamina di alluminio, nella quale ho messo una lastra fotografica, poi all'esterno una lamina di un sale di uranio. Il tutto è stato rinchiuso in un cartone opaco, poi in un cassetto. Dopo cinque ore, ho sviluppato le lastre e le sagome delle lamine cristalline sono apparse in nero, come nelle esperienze precedenti e come se esse fossero state rese fosforescenti dalla luce. Per la lamina posta direttamente sulla gelatina c'era a mala pena una differenza di azione fra i punti di contatto e le parti della lamina che si discostavano di un millimetro circa dalla gelatina; la differenza può essere attribuita alla diversa distanza delle sorgenti delle radiazioni attive. L'azione di

una lamina posta sulla lamina di vetro é stata leggermente indebolita, ma la forma della lamina é stata ben riprodotta. Infine, attraverso il foglio di alluminio, l'azione è stata considerevolmente più debole, ma tuttavia molto netta.

Una ipotesi che si presenta assai naturalmente in mente sarà di supporre che queste radiazioni, i cui effetti hanno una grande analogia con gli effetti prodotti dalle radiazioni studiate dai Messieurs Lenard e Röntgen, saranno radiazioni invisibili emessi dalla fosforescenza, e la cui durata di persistenza sarà infinitamente più grande della durata di persistenza delle radiazioni luminose emesse da questi corpi. Tuttavia, le esperienze presentate, senza essere contrarie a questa ipotesi, non autorizzano a formularle. Le esperienze che sto continuando in questo momento potranno, io spero, apportare qualche chiarimento su questo nuovo ordine di fenomeni.

13.9 - Sistema periodico ed elementi chimici all'epoca della scoperta della radioattività

L'uranio è stato scoperto nel 1789 dallo scienziato tedesco bavarese Martin Heinrich Klaproth, che lo individuò in un campione di uraninite. L'elemento prese il nome dal pianeta Urano, che era stato scoperto otto anni prima dell'elemento.

Il torio venne scoperto nel 1828 da Jöns Jacob Berzelius (chimico svedese), che lo battezzò così in onore di Thor, il dio norreno del tuono. Esso riuscì a scoprirlo in un campione di un minerale che gli fu dato lui dal Reverendo Morten Thrane Esmark, che sospettò che esso contenesse una sostanza sconosciuta.