

# FISICA/ MENTE

## LA FISICA ALL'INIZIO DEL NOVECENTO

di Roberto Renzetti

### PARTE II: RUTHERFORD

#### BIOGRAFIA SCIENTIFICA DI ERNEST RUTHERFORD

Ernest Rutherford, figlio di immigrati scozzesi, nacque in Nuova Zelanda nel 1871. Studiò nelle scuole pubbliche e poi passò all'Università di Wellington dove ottenne il Master in matematica e fisica nel 1893. Le prime ricerche di Rutherford in Nuova Zelanda riguardarono le proprietà magnetiche del ferro sottoposto ad oscillazioni di alta frequenza (e la sua tesi fu appunto *Magnetization of Iron by High-Frequency Discharges*) e la viscosità magnetica sulla quale pubblicò *Magnetic Viscosity*<sup>(1)</sup>. Dopo questo breve periodo di lavoro presso l'Università, nel 1894 vinse una borsa di studio da ricercatore che gli permise (di smettere di raccogliere patate e) di recarsi, con il prestito dei denari del biglietto, al Trinity College di Cambridge, presso i laboratori Cavendish dove divenne allievo di J. J. Thomson e con il quale iniziò ad occuparsi di raggi X. Durante il viaggio, ad Adelaide in Australia, andò a trovare W. H. Bragg (1862-1942) un eminente fisico che avrà successivamente rapporti con Rutherford. Nel 1897 ottenne il titolo di ricercatore BA al Cavendish e si mise subito al lavoro mettendo a frutto la sua esperienza sui raggi X per studiare i fenomeni di ionizzazione prodotti dalle emanazioni dell'uranio. I suoi interessi furono indirizzati da J.J. Thomson ed egli realizzò subito un rivelatore di onde elettromagnetiche<sup>(1)</sup> e passò quindi a studiare il comportamento degli ioni nei gas sottoposti a raggi X, la mobilità degli ioni in funzione dell'intensità di un campo elettrico ed argomenti come l'effetto fotoelettrico. Nel 1898, al Cavendish, Rutherford riconobbe due tipi differenti di raggi emessi dall'uranio che chiamò raggi  $\alpha$  e raggi  $\beta$ . Essi si distinguevano per la loro diversa assorbibilità da parte della materia attraversata. Nel 1898 accettò la cattedra di fisica presso l'Università McGill di Montreal in Canada dove restò fino al 1907. Ebbe, in quella Università dotata di laboratori offerti generosamente da un mecenate, il riconoscimento del suo capo Dipartimento che, vistolo lavorare in laboratorio, lo esonerò dalle lezioni per non distrarlo.

Con l'ingegnere elettrico R.B. Owens (1870-1940) ed il chimico Ernest Dorn (1848-1916), osservò che le correnti d'aria influenzavano la ionizzazione dovuta alle sostanze radioattive. Studiando meglio il fenomeno i tre scoprirono (1899-1901) che le sostanze radioattive emettono dei gas radioattivi (tra cui il famoso radon ed il toron). L'altra questione che occupò Rutherford in questi anni canadesi fu il tentare di capire cosa fossero i raggi  $\alpha$  e, in particolare, se fossero anche essi una sorta di gas emanato dalle sostanze radioattive. Scartata subito questa seconda ipotesi ebbe differenze di vedute con Becquerel fino a quando i due convennero che i campi magnetici agivano su tali raggi. Quindi si trattava di corpuscoli carichi. Rutherford tra il 1903 ed il 1904 passò a misurarne il rapporto  $q/m$  e trovò che esso era praticamente identico a quello degli atomi di elio ionizzati da cui sembrò naturale la conclusione che i raggi  $\alpha$  fossero proprio ioni di elio. Restava da provare ciò.

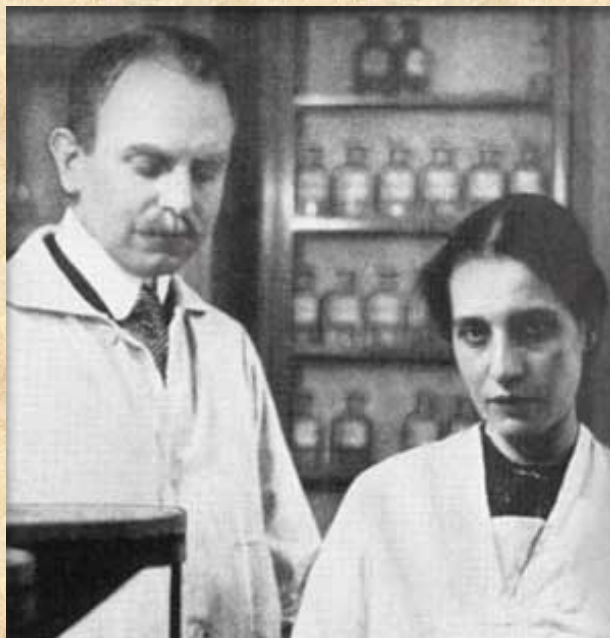
Nel frattempo la chimica faceva altre scoperte nell'ambito della radioattività. Alcune sostanze radioattive, mescolate con altre non radioattive, originavano strani fenomeni. Crookes nel 1900 aveva scoperto che precipitando un poco di idrossido di ferro da una soluzione di un sale di uranio, la radioattività dell'uranio scompariva ed era acquistata dal precipitato. Ma, dopo un certo tempo (il tempo dipendendo dalle sostanze in considerazione), scompariva la radioattività del precipitato e ricompariva la radioattività dell'uranio. Le cose si erano messe in modo che, quasi in ogni ricerca, occorrevano le competenze congiunte di un fisico ed un chimico. Fu allora che arrivò a Montreal il giovane Frederick Soddy (1877-1956) proveniente, con una laurea in chimica, da Oxford. Rutherford lo prese a lavorare con lui ed il sodalizio si mantenne dal 1900 al 1903. E furono Rutherford e Soddy che interpretarono correttamente il fenomeno delle radioattività che sparivano e ricomparivano in termini di trasmutazioni delle sostanze radioattive.



Soddy

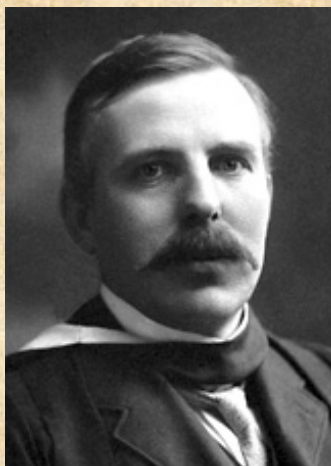
Quando Soddy andò via (1904) per diventare lettore all'Università di Glasgow, tra gli studenti che arrivarono a Montreal vi era un altro chimico, il tedesco Otto Hahn (1879-1968). Egli si era occupato in Europa, con il chimico William Ramsay (premio Nobel nel 1904), di ricerche su sostanze radioattive ed era stato presentato a Rutherford in modo non lusinghiero perché alcuni suoi risultati erano stati messi in discussione dal radiochimico Boltwood della Yale University (USA). In breve: Hahn credeva di aver scoperto una nuova sostanza radioattiva, il *radiotorio*, in realtà si trattava di un *isotopo* del torio che all'epoca non poteva





**Otto Hahn e Lise Meitner**

essere conosciuto come tale perché l'isotopia fu scoperta più tardi, nel 1913, da Soddy. In ogni caso dal 1905 lavorò con Rutherford convincendo lui e Boltwood della correttezza delle sue precedenti ricerche. La collaborazione finì un anno dopo quando Hahn tornò in Germania a lavorare all'Università di Berlino con al fianco la fisica viennese Lise Meitner, giovane assistente di Max Planck.



**Rutherford nel 1908**

Nel 1907 Rutherford tornò in Gran Bretagna con una cattedra di fisica all'Università di Manchester al posto che era stato di Arthur Schuster (1851-1934). Nel 1919 passò, infine, a sostituire J.J. Thomson presso i laboratori Cavendish.

## **ALTRI LAVORI DI RUTHERFORD SUI FENOMENI RADIOATTIVI**

Nel 1906, quando ancora si trovava in Canada, Rutherford pubblicò una memoria<sup>(2)</sup> in cui, discutendo alcuni risultati di W. H. Bragg e R. D. Kleeman (1875-1932)<sup>(3)</sup>, mostrò che

le traiettorie seguite dalle particelle  $\alpha$  dipendevano da cosa incontravano nel loro tragitto, non risultando rigorosamente rettilinee ed il fenomeno fu interpretato da Rutherford come prova che le particelle  $\alpha$  fossero soggette a fenomeni di diffusione. A questo lavoro ne seguì subito un altro<sup>(4)</sup> nel quale affrontò il problema della diminuzione delle velocità delle particelle  $\alpha$  nel passaggio attraverso la materia.

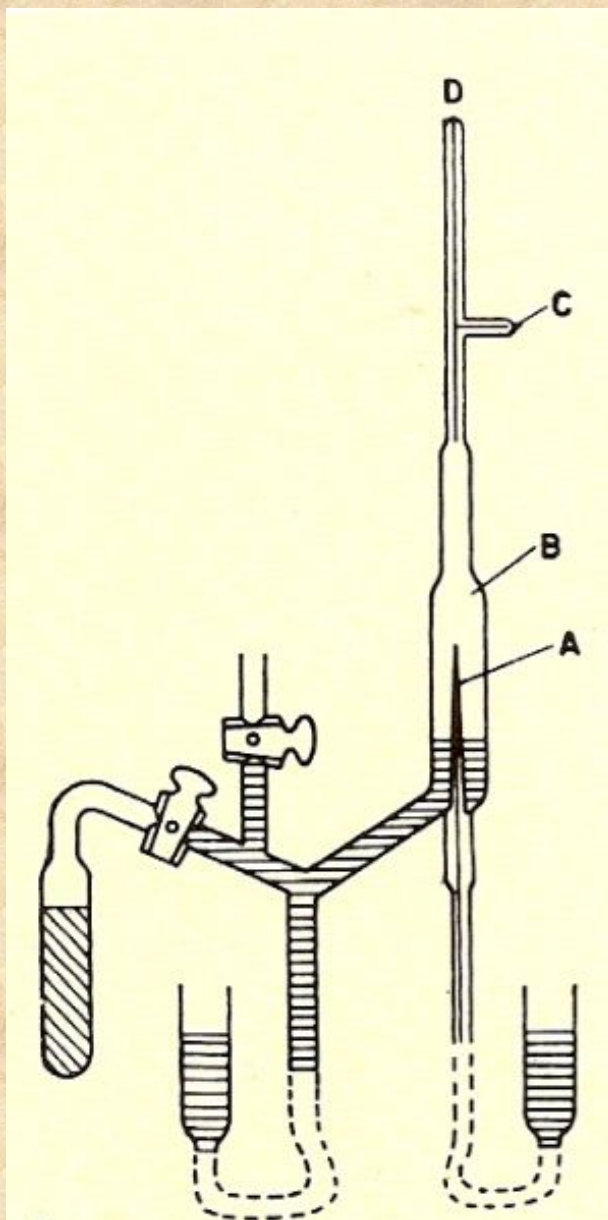
Quando Rutherford arrivò a Manchester nel 1907, su forti sollecitazioni di Schuster, che lo voleva lì a succedergli anche se differivano gli ambiti di ricerca (Schuster era uno spettroscopista che abbiamo visto occuparsi anche di raggi catodici), trovò un assistente di grande levatura, il fisico tedesco Hans Geiger (1882-1945) e la disponibilità di Schuster, che era molto ricco, di attrezzargli il laboratorio.

Appena giunto a Manchester, Rutherford si dedicò a risolvere quel problema che aveva lasciato in sospenso a Montreal: la conferma che le particelle  $\alpha$  erano proprio nuclei di elio o, che è lo stesso, atomi di elio ionizzati. Su questa esperienza riporto il resoconto che ne fa Pietr L. Kapica in *Scienziati e Tecnologi*:

[A Manchester Rutherford] poté disporre di condizioni materiali di lavoro migliori che non in Canada e di scorte di radio ragguardevoli per quell'epoca. Ciò gli diede la possibilità di mostrare in modo incontrovertibile che i raggi  $\alpha$  sono effettivamente atomi di elio<sup>(5)</sup>.

Anche l'apparato da lui impiegato per compiere questi esperimenti (vedi figura seguente) è di una straordinaria semplicità. In un piccolo e sottilissimo tubo di vetro A viene introdotta una emanazione di radio. Lo spessore delle pareti del tubo è di soli 0,01 mm e i veloci raggi  $\alpha$  possono attraversare il vetro, mentre l'emanazione viene isolata. Il tubo è collocato nel vaso di vetro B, che termina con un cannello capillare di scarico provvisto degli elettrodi C e D. Mediante il sollevamento e l'abbassamento del mercurio nel vaso B, nello spazio che circonda il tubo viene creato il vuoto. Il tubo con l'emanazione resta nell'apparato per due giorni e in seguito il gas, formato dalle particelle  $\alpha$  che lo attraversano, viene compresso dall'abbassamento del mercurio nel cannello di scarico. In caso di luminescenza del tubo risultano visibili righe dell'elio, che dimostrano la presenza di tale elemento. Che questo elio non si sia diffuso dal tubo con l'emanazione è facilmente dimostrabile per mezzo di un esperimento di controllo, nel quale il tubo viene riempito di elio.



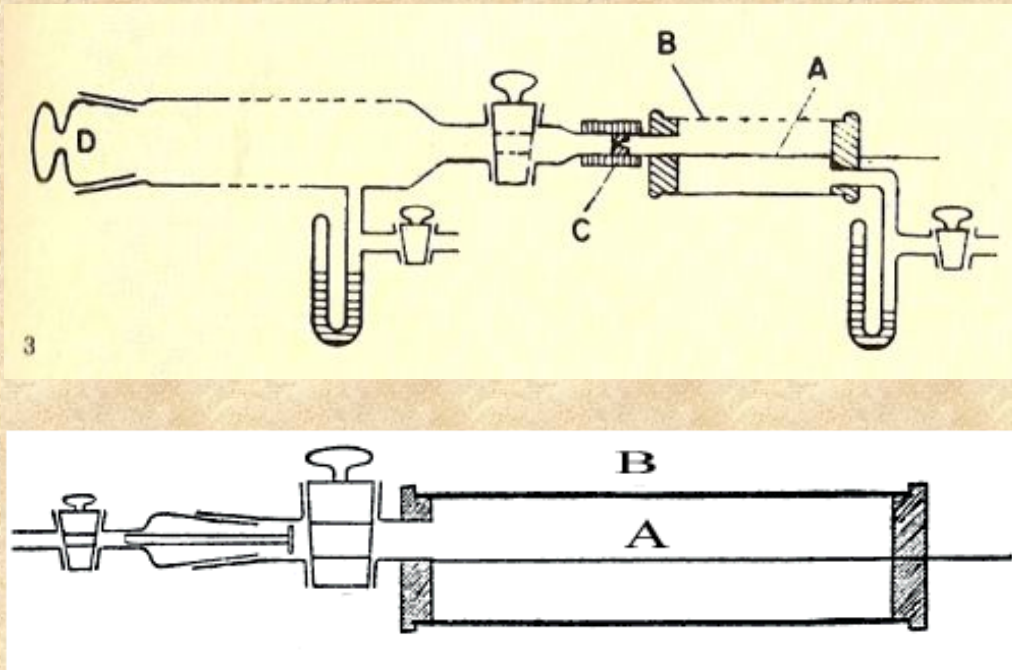


Intanto nel 1908 era arrivato il premio Nobel per la chimica in occasione del quale presentò nella sua *Nobel Lecture*<sup>(6)</sup> una ricerca nella quale aveva effettuato un conteggio delle particelle  $\alpha$  emesse da sostanze radioattive eseguito con un microscopio che gli permetteva di contare una ad una le singole scintille provocate dalle particelle nel solfuro di zinco. Questa operazione, faticosissima perché si fa al buio per molte ore, serviva per la determinazione del numero di Avogadro, della carica dell'elettrone e di altre costanti che occorreva conoscere sempre con maggiore precisione per verificare l'eventuale accordo con quanto la fisica teorica stava producendo. E l'accordo c'era, tanto che queste misure convinsero sempre più i fisici britannici ad aver fiducia nella teoria dei quanti proveniente dalla Germania.

Questa operazione del contare è facile da dirsi ma complessa da realizzarsi e vale quindi la pena di dedicare qualche riga alla questione.

Nel 1902 J. S. Townsend aveva scoperto<sup>(7)</sup> che se si dispone un conduttore metallico in un gas a bassa pressione e fortemente ionizzato è possibile regolare il potenziale ad un valore di soglia in corrispondenza della quale **non** avviene la scarica elettrica. Da questo punto in poi, basta una piccolissima variazione di potenziale per superare la soglia e provocare la scarica. Quindi se nel gas si genera un'ulteriore ionizzazione, anche di una sola

particella  $\alpha$ , si ha immediatamente una scarica che dura un breve intervallo di tempo. Partendo da questo fenomeno nel 1908 Rutherford e Geiger costruirono insieme il primo contatore (vedi figura seguente) con il quale riuscirono a misurare il numero delle particelle  $\alpha$  emesse da determinate sostanze radioattive. Riporto, anche qui, quanto scrive Pietr L. Kapica in *Scienziati e Tecnologi* a proposito dell'esperienza di conteggio:



**Dettaglio della figura precedente.**

[Come conduttore] essi si servirono di un sottile filo, A, teso lungo l'asse del vaso cilindrico B. Nello spazio intercorrente tra il filo e il cilindro viene applicata una tensione continua, prossima al potenziale critico. Attraverso l'apertura C, chiusa da un sottilissimo foglio di mica, possono penetrare i raggi  $\alpha$ , la cui sorgente si trova nel vaso D. Gli impulsi di scarica della corrente dal filo A vengono registrati da un galvanometro a filo. In tal modo, sulla base del numero di scarti del galvanometro, risulta possibile calcolare il numero delle singole particelle  $\alpha$  che attraversano la finestrella e vanno a finire nella camera del contatore.



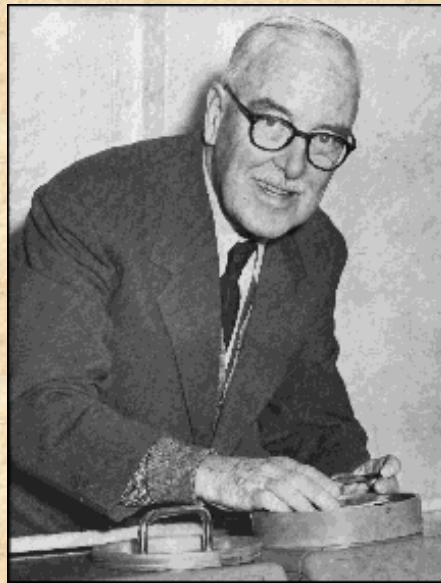


### Geiger

Rutherford e Geiger contarono le particelle  $\alpha$  emesse da un'emanazione di radio, dopo essere passate attraverso un lungo tubo e dopo appropriate moltiplicazioni dovute all'angolo solido, e trovarono che un grammo di radio emette  $3,4 \cdot 10^{10}$  particelle al secondo. Rutherford commentò: *E' la prima volta che è stato possibile contare un singolo atomo.*

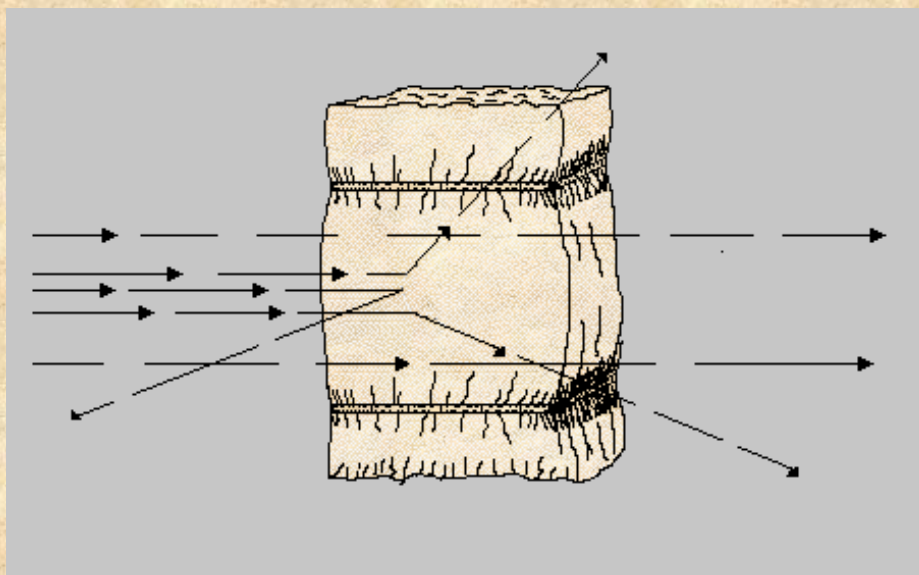
Restava in sospeso la comprensione del comportamento delle particelle  $\alpha$  quando attraversavano la materia. Vi erano i lavori di Bragg e Kleeman del 1904<sup>(3)</sup> che avevano studiato i percorsi (lunghezze in funzione dell'energia) di queste particelle e la ionizzazione che provocavano. Ma non bastava.

Nel 1909 dalla Nuova Zelanda arrivò nel laboratorio di Rutherford un brillante studente di fisica, Ernest Marsden (1889-1970), per lavorare con il suo



**Marsden**

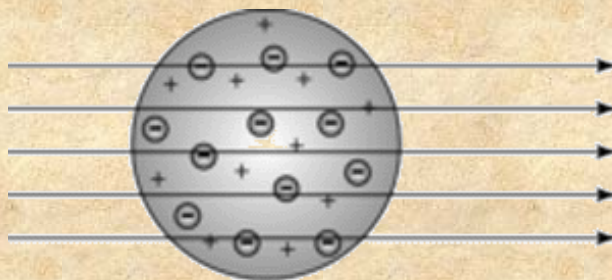
illustre compatriota. Fu proprio Marsden che nell'anno in cui arrivò a Manchester, coadiuvato da Geiger, osservò un fatto di grande rilievo: quando le particelle  $\alpha$  attraversano la materia, qualche volta subiscono delle notevoli deflessioni dal loro cammino, fin oltre i  $90^\circ$ , che era pensato dover essere rettilineo. Informato di ciò, Rutherford restò molto colpito e volle che l'esperienza fosse ripetuta con ogni cura. Dalle misure di Geiger di cui disponeva aveva dedotto che la probabilità di piccole deflessioni che andassero oltre i  $90^\circ$  dovevano essere meno di una su un miliardo. Nei nuovi conti che svilupparono Geiger e Marsden trovarono invece che le deflessioni superiori ai  $90^\circ$  erano di circa una su 8000 (alcune vengono diffuse ad angoli fino a  $140^\circ$ ). Il fenomeno fu quindi confermato. Era come sparare proiettili giganteschi e questi venivano bloccati e respinti da una palla di fieno ! Era un fatto straordinario che fece pensare molto Rutherford.



## L'ESPERIENZA DI GEIGER E MARDSEN

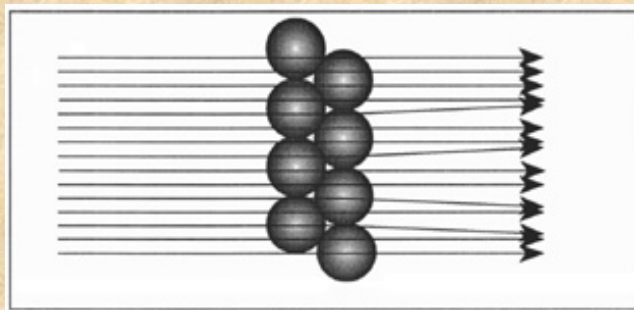
E' utile iniziare con il capire perché i primi risultati di Geiger e Mardsen erano così straordinari.

Nei circoli scientifici che si occupavano dei problemi originati dalla radioattività, e particolarmente negli ambienti britannici in cui l'influenza di J.J. Thomson era grande a seguito del suo prestigio, si era accettato il modello atomico che lo stesso Thomson aveva proposto nel 1904, cioè alcuni elettroni all'interno di una uniforme carica negativa gelatinosa, evanescente. Se si considerava allora una fogliolina di una sostanza (ad esempio, oro) e si sparava su di essa con delle particelle  $\alpha$  ci si sarebbe dovuto aspettare che tutte le particelle attraversassero l'ostacolo per poterle ritrovare al di là della fogliolina d'oro. Non vi era infatti alcun ostacolo duro dentro gli atomi che costituivano il materiale in considerazione e gli elettroni erano ben poca cosa rispetto ai possenti raggi  $\alpha$ . Questi ultimi erano cariche positive molto grandi al confronto della carica negativa dell'elettrone. L'urto meccanico sarebbe stato poca cosa, l'urto coulombiano avrebbe potuto vedere leggere deviazioni delle particelle  $\alpha$  dalle loro traiettorie rettilinee. Ci si aspettava più o meno quanto mostrato nella figura seguente per un singolo atomo e quanto mostrato nella successiva per la deviazione massima di una particella  $\alpha$



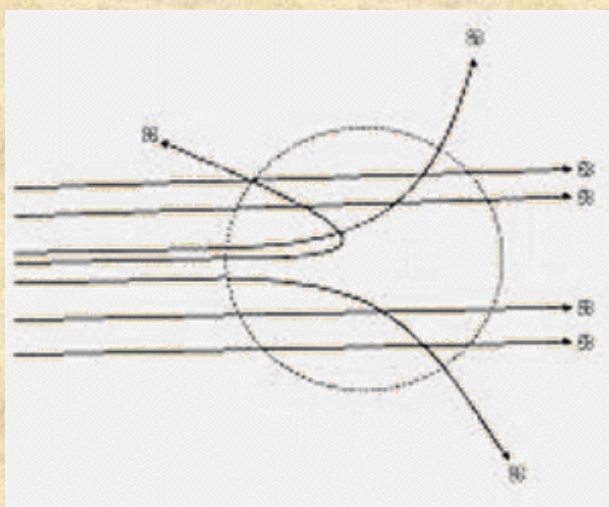
Cosa ci si aspettava (singolo atomo)



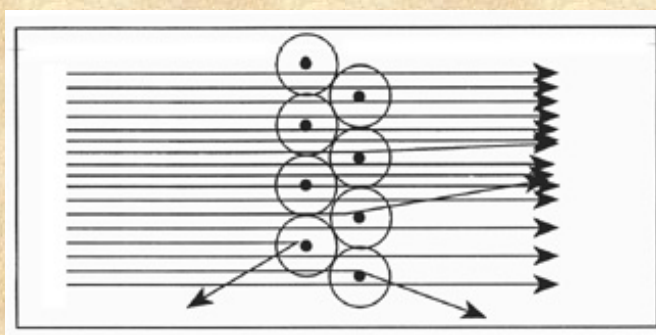


**Massima deviazione aspettata nell'attraversamento di una fogliolina d'oro da parte di una particella  $\alpha$**

che attraversasse la fogliolina d'oro e si aveva invece quanto mostrato in quest'altra figura per un singolo atomo e, di seguito, per ciò che accadeva per le deviazioni prodotte dalla fogliolina d'oro.



**Cosa si trovava (singolo atomo)**



**Cosa si trovava nell'attraversamento di una fogliolina d'oro da parte di molte particella  $\alpha$ .**

Vediamo allora nei dettagli l'esperienza di Geiger e Marsden del 1909<sup>(8)</sup> dalla quale i risultati più clamorosi erano quelli accennati. Scrivevano Geiger e Marsden:

*Nel seguente esperimento si è trovata un'evidenza definitiva dell'esistenza di una riflessione diffusa delle particelle  $\alpha$ . Una piccola frazione delle particelle  $\alpha$  che colpiscono una placca metallica hanno le loro direzioni cambiate in modo tale che esse tornano dal lato in cui sono arrivate. Per dare un'idea del modo in cui questi effetti hanno luogo sono stati investigati i seguenti tre punti:*

(I) La quantità relativa di riflessioni da differenti metalli

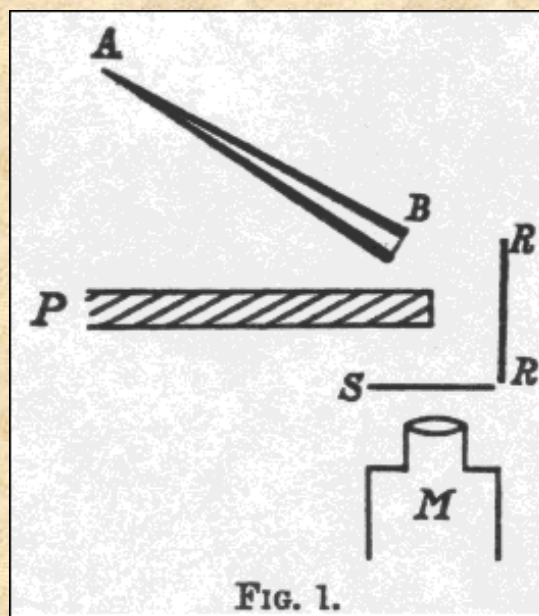
(II) La quantità relativa di riflessioni al variare dello spessore di un metallo

(III) La frazione di particelle  $\alpha$  incidenti che sono riflesse.

Per osservare le particelle riflesse si è utilizzato il metodo della scintillazione in tutti gli esperimenti.[...]

Tenendo conto del fatto che la quantità di riflessioni è molto piccola è stato necessario usare una sorgente molto intensa di raggi  $\alpha$ .

A questo punto passavano a descrivere i dettagli sperimentali riferendosi alla figura seguente.

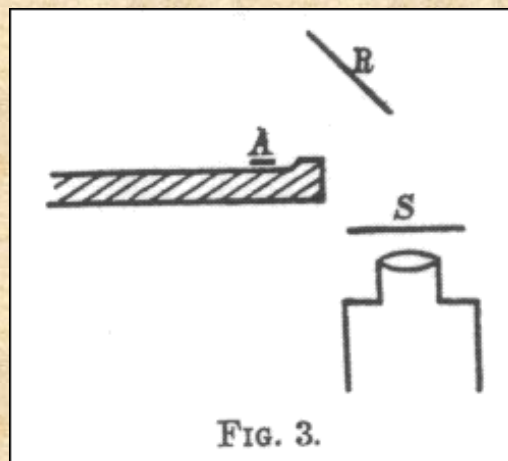


AB è un tubo conico di vetro dentro cui vi è la sorgente radioattiva che è un'emanazione del radio. La parte terminale del tubo B è chiusa con una finestra di mica equivalente allo spessore di circa 1 cm d'aria in modo che le particelle  $\alpha$  potevano uscire con facilità.

S è uno schermo ricoperto di solfuro di zinco che era sistemato al di là di una placca di piombo P, in modo che su di esso non potessero andare particelle  $\alpha$  in modo diretto. Disponendo un riflettore RR a circa 1 cm da B, si potevano osservare scintillazioni su S e, mediante un microscopio M, si poteva contare il numero di scintillazioni al minuto su un definito millimetro quadro dello schermo al variare dei materiali del riflettore (sempre sistemato nella medesima posizione) e del loro spessore.

Per misurare invece le particelle che non attraversavano il riflettore ed erano riflesse (ad un angolo di circa  $90^\circ$ ) l'apparato sperimentale era sistemato come nella figura seguente.





La sorgente era sistemata direttamente dietro la placca di piombo P, di modo che S non poteva che scintillare solo per particelle che tornavano indietro dopo aver urtato il riflettore R (fatto di platino e con un'area di 1 centimetro quadrato). La quantità di radio posto in A era determinata dalla radiazione  $\gamma$  che veniva emessa. Assumendo i dati trovati da Rutherford e Geiger l'anno precedente e cioè che da un grammo di radio sono espulse  $3,4 \cdot 10^{10}$  particelle al secondo, risultava determinato il numero delle particelle emesse da A. Il numero di particelle che cadevano su R era calcolato dalla distanza esistente tra A ed R e dall'area di R. Per trovare l'intero numero di particelle riflesse si era fatta l'ipotesi che esse fossero distribuite in modo uniforme in una semisfera con centro nel centro del deflettore R.

Tre differenti misure hanno mostrato che, nelle condizioni descritte, una su 8000 particelle risultavano riflesse.

Ci troviamo di fronte ad un problema che richiede una spiegazione ed essa non poteva che venire da chi su questo lavorava da molti anni e conosceva nei dettagli ogni risultato offerto dalle molte esperienze.



Rutherford (a destra) con Geiger

## LA SPIEGAZIONE TEORICA DEI RISULTATI SPERIMENTALI: IL MODELLO ATOMICO DI RUTHERFORD

Rutherford restò un paio di anni a riflettere su questi risultati che sconvolgevano il quadro esplicativo esistente e generalmente accettato. Vi era un motivo teorico che voleva sviluppare ed era relativo ad eventuali fenomeni di scattering multipli (molte piccole deflessioni che sommate davano un grande angolo di deflessione) che si verificavano e, nel loro complesso, davano i risultati trovati. Poi, nel 1911 sciolse ogni riserva e pubblicò una memoria fondamentale nella quale proponeva il suo modello atomico come una spiegazione dei dati sperimentali. Già sei mesi dopo l'esperienza di Geiger e Marsden ebbe modo di dire in una sua lezione alla Clark University che i dati sperimentali mostravano che *intorno o dentro l'atomo vi deve essere un campo elettrico di enorme intensità*. Ma la prima menzione ad una struttura atomica differente da quella accettata, la troviamo in una sua lettera del 14 febbraio 1910 a B.B. Boltwood (il chimico americano che aveva conosciuto quando lavorava a Montreal) nella quale afferma di *essere a buon punto nei calcoli dello scattering*. Da questo momento fino al febbraio 1911 in 9 lettere parlerà dei suoi calcoli relativi allo scattering. E siamo ormai al maggio, quando uscirà la sua memoria, *Lo scattering da parte della materia delle particelle  $\alpha$  e  $\beta$  la struttura dell'atomo*<sup>(10)</sup>.

La memoria inizia con le parole di rito: *E' ben noto che le particelle  $\alpha$  e  $\beta$  subiscono deflessioni dalle loro traiettorie rettilinee incontrandosi con atomi di materia* facendo riferimento sia alla memoria di Geiger e Marsden appena discussa sia ad altri due lavori di Geiger del 1909 e 1910<sup>(11)</sup> sia infine ad una memoria di J.J. Thomson in cui spiegava lo scattering di particelle cariche passanti attraverso piccoli spessori di materia<sup>(12)</sup>. Rutherford prima mostrava come i dati di Geiger e Marsden negassero la teoria dello scattering di Thomson, quindi definiva i due tipi di scattering, il singolo ed il multiplo, per introdurre varie ipotesi che rendevano possibile trattare i fenomeni dell'esperienza di Geiger e Marsden come un fenomeno di scattering singolo che provocava i grandi angoli di deflessione delle particelle  $\alpha$ . In queste discussioni, a margine dello studio centrato sullo scattering, Rutherford dichiarava che non era interessato al problema della stabilità dell'atomo in quanto *a questo stadio della teoria non è necessario prendere in esame la questione della stabilità dell'atomo proposto, in quanto essa dipenderà in modo ovvio dalla struttura interna dell'atomo stesso e dal moto delle sue parti cariche*.

Rutherford faceva l'ipotesi che all'interno dell'atomo vi fosse un forte campo originato dalla concentrazione della carica positiva (non parla di nucleo) in una zona con un diametro più piccolo di  $10^{-12}$  cm. Si può quindi dire che si supponeva una carica positiva puntiforme all'interno dell'atomo. Dice Rutherford:

*Consideriamo un atomo che contenga una carica  $Ne$  al suo centro circondata da una sfera elettrificata contenente una carica  $-Ne$  supposta uniformemente distribuita in una intera sfera di raggio  $R$ , dove  $e$  è l'unità di carica fondamentale [...]*

*Al fine di farsi un'idea delle forze richieste per deflettere una particella  $\alpha$  di un grande angolo, consideriamo l'atomo [ora descritto], la forza elettrica  $X$  ed il potenziale  $V$  ad una distanza  $r$  dal centro in un punto interno all'atomo, sono dati da*

$$X = Ne \cdot \left( \frac{1}{r^2} - \frac{r}{R^3} \right)$$



$$V = Ne \cdot \left( \frac{1}{r} - \frac{3}{2R} + \frac{r^2}{2R^3} \right)$$

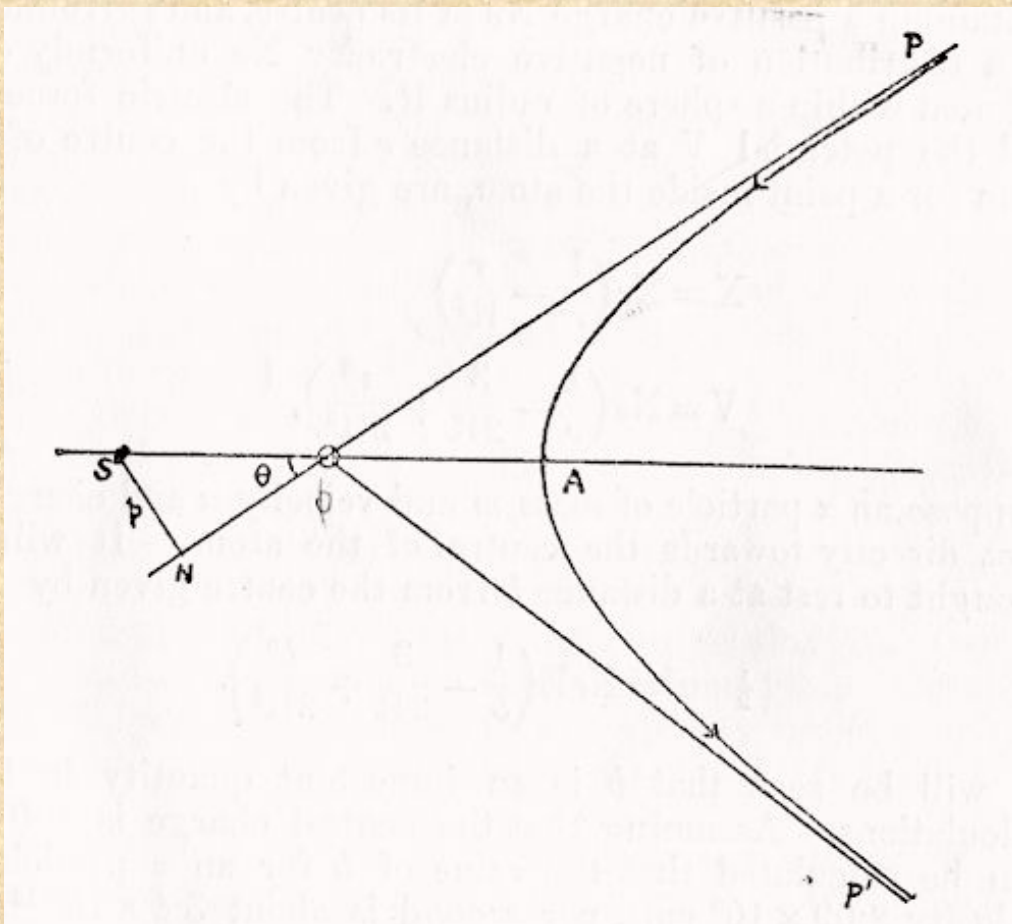
Supponiamo ora una particella  $\alpha$  di massa  $m$ , velocità  $u$  e carica  $E$  lanciata direttamente verso il centro dell'atomo. Essa sarà costretta a arrestarsi ad una distanza  $b$  dal centro data da

$$\frac{1}{2}mu^2 = NeE \cdot \left( \frac{1}{b} - \frac{3}{2R} + \frac{b^2}{2R^3} \right)$$

E  $b$  sarà una quantità importante nei successivi calcoli. Assumendo che la carica centrale sia di  $100e$ , si può calcolare che il valore di  $b$  per una particella  $\alpha$  di velocità  $2,09 \cdot 10^9$  cm al secondo è circa  $3,4 \cdot 10^{-12}$  cm. Ed in questi calcoli  $b$  diventa trascurabile rispetto ad  $R$ . Poiché poi  $R$  è supposto essere dell'ordine di grandezza del raggio dell'atomo, cioè  $10^{-8}$  cm, è ovvio che la particella  $\alpha$ , prima di essere respinta, arriva così vicino alla carica centrale che il campo elettrico negativo può essere trascurato [...].

Fatte queste approssimazioni, se una particella  $\alpha$  si avvicina al centro di un atomo,

il suo tragitto sarà soggetto ad una forza repulsiva pari all'inverso del quadrato della distanza e sarà quindi una iperbole con il centro  $S$  dell'atomo come fuoco esterno. Supponiamo che la particella entri nell'atomo in direzione  $PO$  (vedi figura) e che la direzione del moto allontanandosi dall'atomo sia  $OP'$ .  $OP$  ed  $OP'$  formano angoli uguali con la retta  $SA$ , dove  $A$  è l'intersezione dell'iperbole con l'asse della



medesima e  $p = SN$  è la perpendicolare alla iniziale direzione della particella. Sia  $POA = \theta$ . Sia  $V$  la velocità della particella entrante nell'atomo,  $v$  la sua velocità al punto  $A$ , da considerazioni sul momento angolare abbiamo:

$$pV = SA \cdot v$$

Dalla conservazione dell'energia:

$$\frac{1}{2}mV^2 = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{NeE}{SA}$$

Da ciò si ricava che:

$$b = 2p \cdot \cot g \vartheta$$

ed indicando con  $\phi = \pi - 2\theta$ , si ricava anche che l'angolo di deflessione della particella vale:

$$\cot g \frac{\phi}{2} = \frac{2p}{b}$$

Supponendo ancora che la radiazione  $\alpha$  colpisce una foglia di metallo di spessore  $t$  e contenente  $n$  atomi per unità di volume, il numero di particelle diffuse per unità di superficie risultava essere:

$$y = \frac{nb^2Q \cdot \operatorname{cosec}^4 \frac{\phi}{2}}{16 \cdot r^2}$$

dove  $r$  era la distanza dello schermo di solfuro di zinco dal punto in cui i raggi  $\alpha$  incidevano,  $Q$  il numero di particelle incidenti e  $b = 2NeE/(mu^2)$ .

Erano degli importanti risultati che Rutherford commentava così:

*Da questa equazione possiamo osservare che il numero di particelle  $\alpha$  rilevate sullo schermo [...] è proporzionale:*

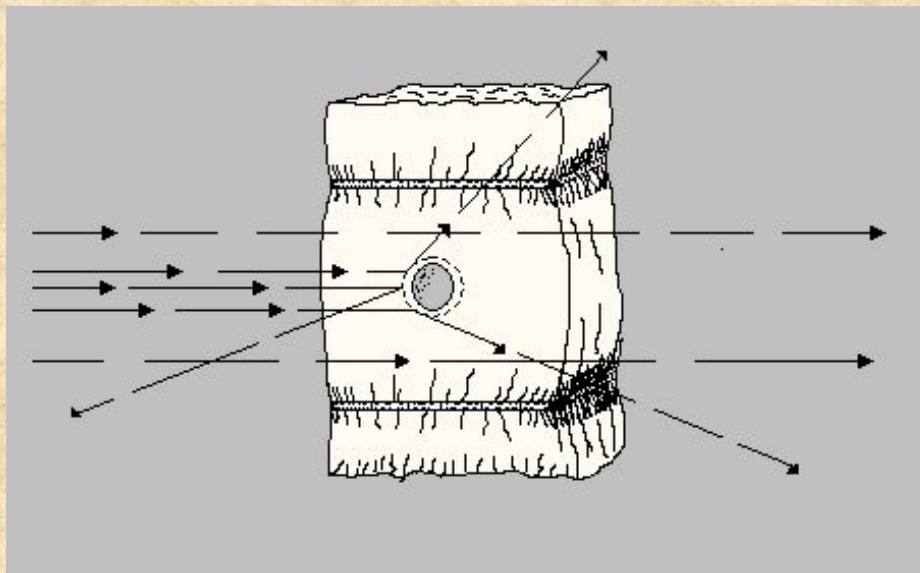
- 1) a  $\operatorname{cosec}^4(\phi/2)$  oppure, se  $\phi$  è piccolo, a  $1/\phi^4$
- 2) allo spessore  $t$  del materiale diffusore (per piccoli valori)
- 3) alla grandezza della carica centrale  $Ne$
- 4) oppure è inversamente proporzionale a  $(mu^2)^2$ , o alla quarta potenza della velocità se  $m$  è costante.

*[...] La distribuzione angolare delle particelle  $\alpha$  diffuse da un sottile strato metallico rappresenta uno dei metodi più semplici per verificare la correttezza di questa teoria. Questo è stato fatto dal dottor Geiger (Manchr. Lit. Phil. Soc., 1910), il quale ha trovato che la distribuzione delle particelle deflesse tra  $30^\circ$  e  $150^\circ$  da una sottile foglia d'oro è in accordo con la teoria.*

Fatti altri conti per ulteriori confronti fra dati sperimentali e conseguenze teoriche,



Rutherford conclude la sua memoria dicendo che *i dati disponibili indicano che il valore di questa carica centrale per differenti atomi è approssimativamente proporzionale ai loro pesi atomici [...].* Aggiungendo qui una frase che indica molto bene le grandi idee che aveva ma che non era in grado di mostrare sperimentalmente: *Va sottolineato che il valore approssimato trovato per la carica centrale dell'atomo d'oro ( $100e$ ) è circa quello che ci si dovrebbe aspettare se esso consistesse di 49 particelle  $\alpha$ , ciascuna delle quali dovrebbe essere dotata di carica  $2e$ . Questo fatto può essere soltanto una coincidenza, ma è certamente suggestivo se correlato all'espulsione di atomi di elio trasportanti due unità di carica, dalle sostanze radioattive.* E, con un vago riferimento all'atomo saturniano di Nagaoka, rimanda la discussione sulla struttura dell'atomo a successive memorie ed a dati sperimentali sui quali sono impegnati Geiger e Marsden.

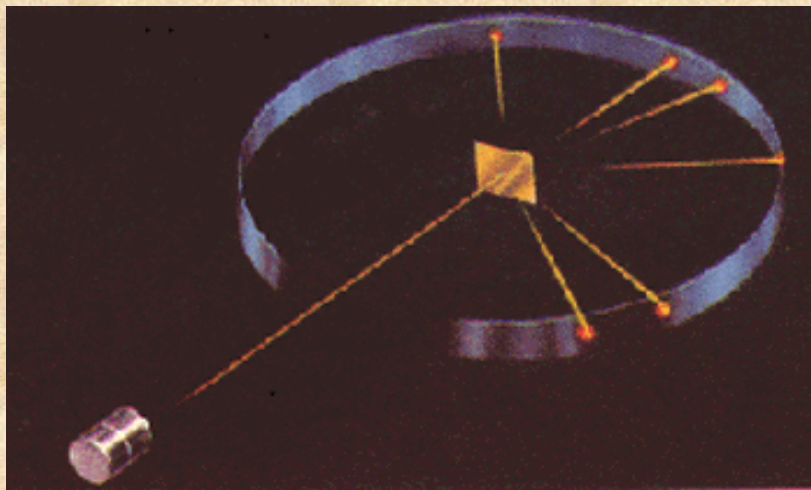


**Ecco cosa c'era dentro la palla di fieno**

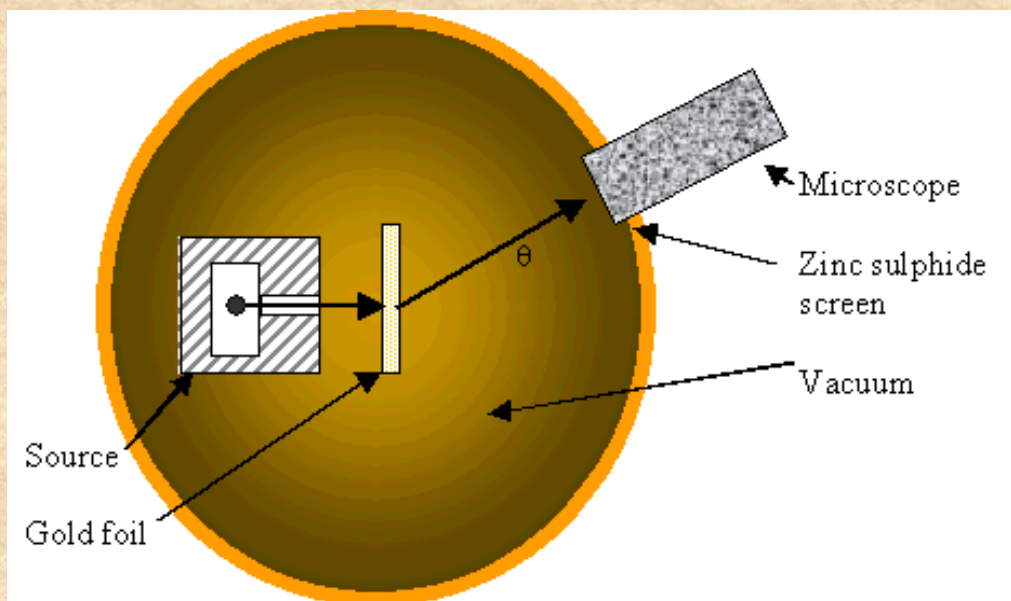
## **RIPETIZIONE DELL'ESPERIENZA DI GEIGER E MARSDEN**

Geiger e Marsden nel 1913<sup>(9)</sup> ripeterono l'esperienza ed estesero lo studio ad angoli di riflessione maggiori.

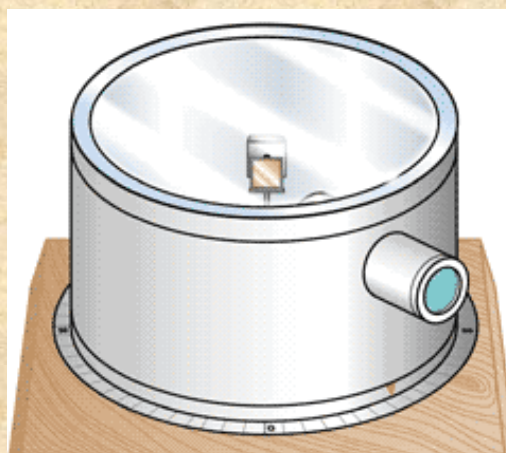
Anche qui si trattava di bombardare con particelle  $\alpha$  una fogliolina d'oro e misurare lo *scattering* di tali particelle nell'impatto con la materia. Per far ciò serviva una fonte di particelle  $\alpha$ , una lamina d'oro, uno strumento in grado di rilevare la traiettoria delle particelle  $\alpha$  dopo l'impatto con la lamina d'oro, un recipiente dentro cui chiudere l'intero apparato per evitare impatti con l'aria ed occorreva lavorare al buio.



Schema di principio dell'esperienza.

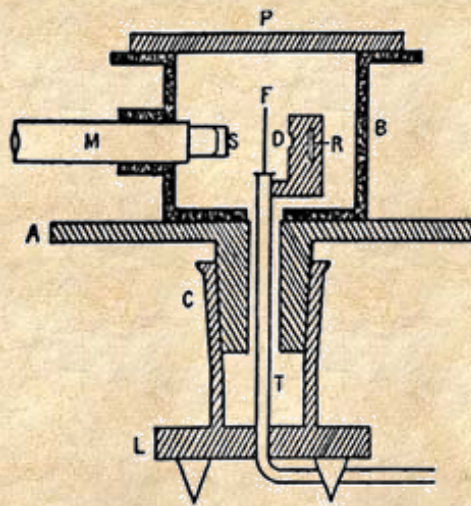


Schema (visto dall'alto) dell'esperienza montata dentro un contenitore in cui si può fare il vuoto. Il microscopio ha un'ottica fatta in modo che s'illumina quando viene colpito da una particella  $\alpha$ . Tale microscopio può ruotare tutt'intorno a circa  $360^\circ$ . La sorgente radioattiva è radio che (decadendo) ha come emanazione il radon che emette particelle  $\alpha$ .



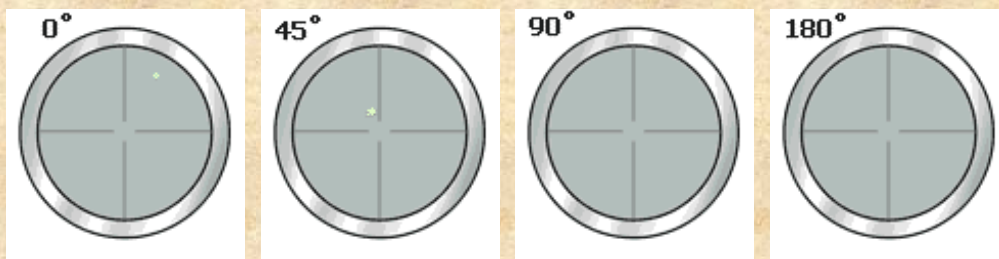
Contenitore dell'esperienza.





**Sezione del contenitore mostrato nella figura precedente. Il tubo T serve per fare il vuoto.**

Le particelle  $\alpha$ , dopo aver subito lo scattering sulla fogliolina d'oro, erano individuate mediante scintillazione (piccoli lampi di luce) che si produceva su una schermo incorporato nel microscopio ricoperto di una sostanza sensibile (solfuro di zinco).



**Le figure mostrano ciò che si vedeva al microscopio al variare dell'angolo rispetto al quale esso era disposto rispetto all'asse del sistema (si osservi il numero in alto a sinistra che è qui fissato a  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  e  $180^\circ$ ).**

A proposito di questa esperienza Bruzzaniti scrive:

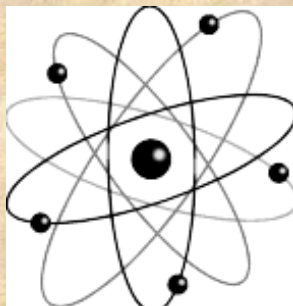
La verifica delle ipotesi di Rutherford costituì il principale obiettivo di uno studio di Geiger e Marsden del 1913<sup>(9)</sup>. In esso venivano poste sotto esame tutte le relazioni individuabili, in base alle equazioni stabilite da Rutherford, tra il numero di particelle diffuse e altre grandezze fisiche. L'analisi riguardava le variazioni dello scattering in funzione dell'angolo, dello spessore del centro diffusore, del peso atomico del centro diffusore e della velocità delle particelle a incidenti. I risultati erano favorevoli sia alla conformità tra il modello di Rutherford e i dati di laboratorio sia alla possibilità di valutare la grandezza della carica centrale. Ammettendo infatti la validità della teoria di Rutherford era possibile determinare, nei limiti degli errori sperimentali, i valori dei parametri che comparivano nelle equazioni della teoria stessa. Bastava introdurre in quelle equazioni i valori ottenuti in laboratorio.

E Geiger e Marsden concludevano la loro memoria affermando:

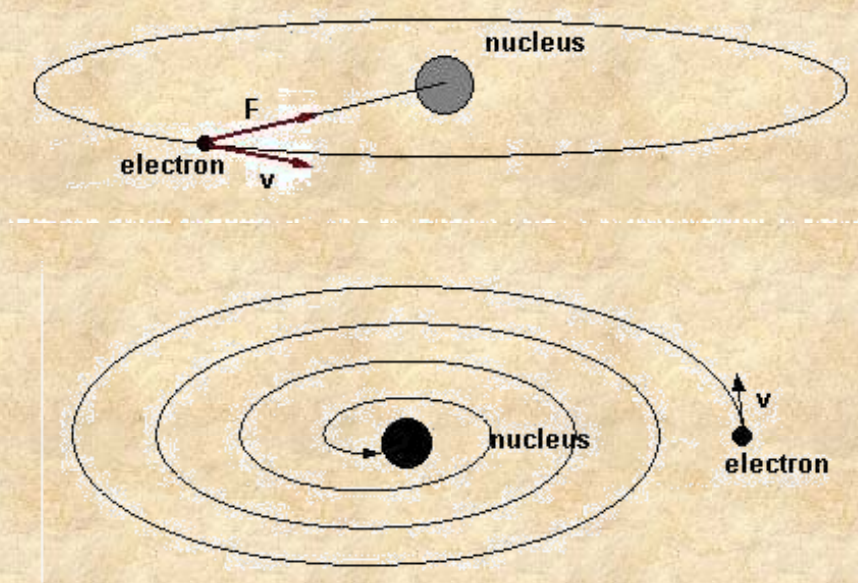
*Abbiamo verificato in modo completo la teoria avanzata dal professor Rutherford. In accordo con questa teoria, la grande deflessione di una*

*particella  $\alpha$  è il risultato di un incontro tra la particella e un singolo atomo della materia. E' quindi possibile calcolare, una volta determinata la frazione di particelle  $\alpha$  diffuse in condizioni ben definite, il valore della carica centrale dell'atomo.*

Il lavoro di Rutherford apriva quindi una mole infinita di problemi sperimentali e teorici. Lo stesso atomo era lasciato volutamente da Rutherford in posizione instabile senza neppure dire cosa facessero gli elettroni dentro di esso ma, presumibilmente ruotando per evitare la possente attrazione di quella carica centrale. Da qui il nome di *modello atomico planetario* che venne assegnato al



modello di Rutherford. E Rutherford sapeva perfettamente che una struttura che prevedesse cariche accelerate in moto non reggeva le più avanzate teorie elettromagnetiche, come più volte detto. Quegli elettroni in moto avrebbero caduti piuttosto in fretta sul nucleo per la loro perdita di energia, con la conseguenza del collasso dell'intero edificio atomico e quindi della materia nel suo insieme.



E tutti questi fatti dovevano esseri inseriti in un contesto teorico che a questo punto doveva rivedere gran parte dell'impianto classico sia della meccanica che dell'elettromagnetismo. Non bastavano più le invocazioni di Poincaré al cambiare sì ma con moderazione. Il punto su questa situazione, quando già da 11 anni vi erano i quanti di Planck e da 6 erano entrati nella spiegazione dell'effetto fotoelettrico da parte di Einstein, quando sempre da 6 anni vi era quella revisione di meccanica ed elettromagnetismo chiamata relatività e realizzata da Einstein, anche se i due nuovi strumenti esplicativi erano mal digeriti da quasi l'intera vecchia scuola dei fisici, questo punto fu fatto al Congresso



Solvay del 1911, all'Hotel Metropole di Bruxelles.



**Congresso Solvay del 1911 a Bruxelles. I presenti sono: (seduti da sinistra) Nernst, Brillouin, Solvay, Lorentz, Warburg, Wien, Perrin, Madame Curie, Poincarè (e, in piedi da sinistra) Goldschmidt, Planck, Rubens, Sommerfeld, Lindemann, De Broglie, Knudsen, Hasenöhrl, Hostelet, Herzen, Rutherford, Kamerlingh Onnes, Einstein, Langevin. [Informazioni sui Congressi Solvay, primi congressi di fisica finanziati dall'industriale illuminato Solvay, si possono trovare in [http://en.wikipedia.org/wiki/Solvay\\_Conference](http://en.wikipedia.org/wiki/Solvay_Conference) ]**

## ALTRI LAVORI DEGLI ULTIMI ANNI

Il fondamentale lavoro di Rutherford venne sistemato, alla luce dei quanti di Planck ed Einstein, da un giovane fisico danese, Niels Bohr, che aveva preso il dottorato all'Università di Copenhagen nel 1911 e si era recato ad approfondire la sua preparazione a Manchester, prima con J.J. Thomson e quindi con lo stesso Rutherford. Ma di questo parlerò in un prossimo articolo.



**Bohr**

Il giovane quarantaduenne Rutherford continuava senza sosta i suoi lavori ed anche se i fisici a quest'età diventano degli organizzatori di laboratori e mettono su scuole, egli continuava a produrre ricerca di frontiera con continue scoperte derivanti dalla sua feconda inventiva. Una piccola osservazione va comunque fatta a questo proposito. Rutherford ebbe il Nobel nel 1908 per aver scoperto le trasmutazioni nucleari ma i suoi lavori successivi ne avrebbero meritati altri.

Nel 1913, insieme al fisico inglese Henry Gwyn Moseley (1887-1915), il suo allievo che darà una sistemazione adeguata alla tavola periodica utilizzando per primo la spettroscopia a raggi X a diverse frequenze scoprendo la relazione



**Moseley**

esistente tra lunghezza d'onda e numero atomico<sup>(13)</sup>, usò i raggi catodici per bombardare gli atomi di vari elementi e trovò che ad ogni elemento deve essere assegnato un diverso numero atomico e che le proprietà di tale elemento dipendono proprio da questo numero.

Ma la guerra era imminente ed essa, come dice Jungk, aveva fatto bruscamente irruzione anche nel laboratorio di Rutherford. E merita proprio leggere qualche pagina di Jungk sulla guerra:

E anche nel laboratorio di Rutherford la guerra aveva fatto bruscamente



irruzione. I suoi *boys*, come egli chiamava i suoi assistenti e studenti affezionati a lui come a un padre, furono quasi tutti richiamati alle armi, e Moseley, il più bravo dei suoi collaboratori, già nel 1915 cadeva sui Dardanelli. Perfino il radio con cui compiva tutti i suoi esperimenti atomici, gli venne sequestrato poiché - ironia della sorte - era *enemy alien property*, un bene nemico. Prima dell'inizio della guerra, il Radium-Institut di Vienna aveva difatti concesso in prestito al collega Rutherford 250 milligrammi della preziosa sostanza: gesto non gravoso per gli austriaci prima del 1914, poiché i giacimenti del Joachimsthal boemo, i soli allora conosciuti in Europa, appartenevano ancora alla imperial-regia duplice monarchia. Rutherford non riconobbe mai la confisca di questo radio ad opera del suo governo. E non si considerò per niente soddisfatto neppure quando le autorità inglesi gli riconsegnarono il pregiatissimo materiale perché provvisoriamente potesse continuare a servirsene. Famoso per la sua inflessibilità e saldezza di principi, lo studioso insisté: intendeva restituire personalmente quel prestito personale ai suoi amici sul Danubio, una volta finite le ostilità, o almeno indennizzarli nella dovuta misura. E con la sua risolutezza nei confronti delle autorità, la spuntò. Il 14 aprile 1921, egli poté finalmente scrivere a Stefan Meyer, che per anni era stato suo collega, nella Vienna travagliata dall'inflazione:

*«Sono molto in pena per le notizie che Lei mi ha dato sullo stato delle finanze del Radium-Institut. Ma non dubito di poter ottenere il denaro per acquistare al suo prezzo, qualunque esso sia, la piccola quantità di radio che con tanta generosità mi fu prestata dall' Accademia Viennese, e che mi è stata così utile nelle mie ricerche».*

Meyer gli comunicò che il prezzo del radio sul mercato mondiale era per il momento «mostruosamente alto», ma ciò non sgomentò Rutherford. Il quale riuscì a raccogliere molte centinaia di sterline: con esse il Radium-Institut viennese superò i peggiori anni dell'inflazione.

Anche durante la guerra, Rutherford era stato in contatti almeno per lettera, attraverso paesi neutrali, con i suoi allievi e amici in Germania e nell'impero austroungarico, e in particolare col suo vecchio e fedele assistente Hans Geiger, inventore di quel «contatore» che è oggi adottato in tutto il mondo per la misurazione della radioattività. La «famiglia dei fisici» internazionale nonostante tutto restò in piedi, meglio certo di quella dei letterati e dei filosofi, che si bombardavano reciprocamente con manifesti carichi di odio. Degli uomini che prima della guerra avevano collaborato, spesso per anni, per via epistolare o fianco a fianco in un laboratorio non potevano divenire «nemici» per un ordine dall'alto. Comunque andasse, continuavano ad aiutarsi. Così, James Chadwick - uno stretto collaboratore di Rutherford e più tardi premio Nobel, internato dall'inizio della guerra nel campo di concentramento di Ruhleben presso Berlino - grazie all'aiuto dei suoi maestri tedeschi Nernst e Rubens poté installare in quel campo un piccolo laboratorio, dove, assieme ad altri prigionieri, continuò a svolgere interessanti esperimenti. Nel maggio 1918, quando le terribili offensive nella Francia del nord costavano quotidianamente tante vite umane inglesi e tedesche, Chadwick scriveva al suo maestro Rutherford:

*«Ora lavoriamo ... alla formazione di sostanze di carbonio mediante radiazioni luminose ... In questi ultimi mesi ho visitato Rubens, Nernst e Warburg. Sono stati di una cordialità straordinaria e hanno promesso di prestarci tutto quello che potranno. Davvero non c'è persona che non ci abbia prestato strumenti ».* Non appena un tenue spiraglio si riaprì sulle frontiere, i fisici di tutto il mondo ripresero subito i contatti tra loro, comunicandosi reciprocamente i progressi

compiuti durante gli anni di guerra. Non soltanto il comune servizio postale, ma anche quello telegrafico fu chiamato a collaborare alla ripresa più rapida possibile degli scambi di esperienze. Le telegrafiste di Copenaghen si trovarono spesso in difficoltà, per trasmettere correttamente i messaggi irti di formule matematiche che dall'istituto del professor Niels Bohr venivano inviati in Inghilterra, Francia, Olanda, Germania, Stati Uniti e Giappone.

Tre erano allora sulla carta geografica della ricerca atomica i centri di attrazione principali: Cambridge, da dove Rutherford dominava come un monarca brontolone e facilmente irascibile sul regno delle dimensioni minime da lui primamente dischiuso; Copenaghen, che per bocca del saggio Niels Bohr promulgava le leggi di questo così nuovo e misterioso territorio del microcosmo; e Gottinga, dove il triumvirato costituito da Max Born, James Franck e David Hilbert rimetteva in questione tutto ciò che in Inghilterra si credeva di aver scoperto e in Danimarca si credeva di aver giustamente risolto.



**Nell'ottobre del 1933 Einstein, in una manifestazione tenuta a Londra, chiede il sostegno ai rifugiati in fuga dal regime nazista. Dietro di lui Rutherford.**

Nel 1919, alla ripresa ordinaria dei lavori, durante il suo ultimo anno a Manchester (prima di passare alla direzione dei laboratori Cavendish, al posto di J.J. Thomson), egli scoprì che i nuclei di certi elementi leggeri come l'azoto, potevano essere *disintegrati* dall'impatto di particelle  $\alpha$  molto energetiche e che, durante tali processi si aveva l'emissione di molte particelle cariche positivamente. Il fenomeno fu successivamente spiegato dal suo allievo e premio Nobel nel 1948,



**Blackett**



Patrick M.S. Blackett (1897-1974), che dimostrò con uno strumento realizzato (1899) e perfezionato (1912) dal fisico britannico C.T.R. Wilson (1869-1959), la *camera a nebbia*, che l'azoto si era trasformato in un isotopo dell'ossigeno. Rutherford aveva provocato una trasmutazione artificiale ed iniziato l'era della radioattività prodotta artificialmente.



**Wilson**

Egli non smise mai di lavorare e fu un motore di idee per tutta la sua vita. Ogni ricerca a Manchester se non era da lui fatta o diretta era da lui ispirata. Ebbe una gran quantità di alunni che divennero celebri nel mondo della ricerca in fisica e scrisse vari libri. Fu riempito di onori da tutto il mondo e, alla sua morte a Cambridge, nel 1937, gli fu reso l'ultimo onore essendo sepolto nella navata centrale dell'abbazia di Westminster, accanto a Newton e Kelvin.



**Rutherford (a destra) con J.J. Thomson**

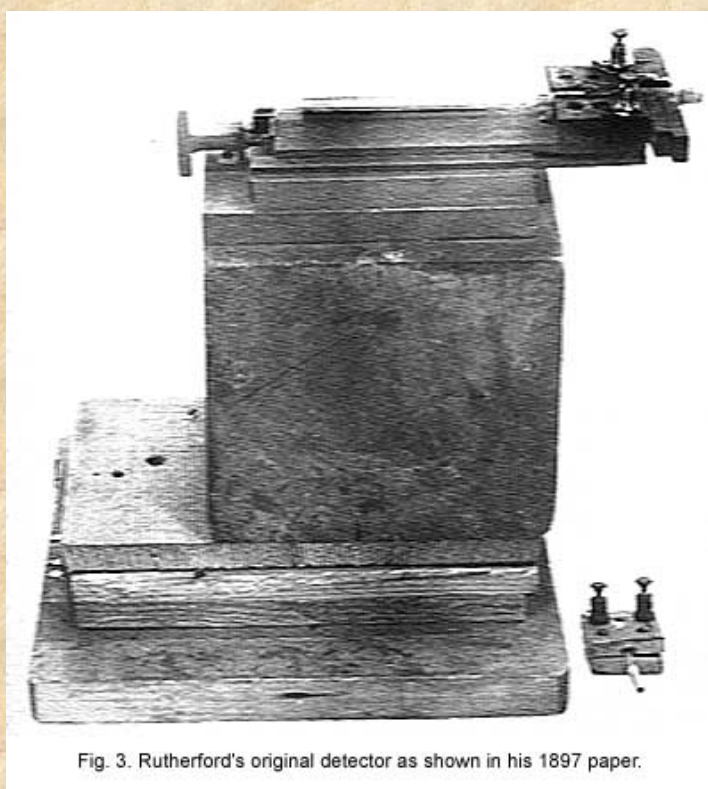
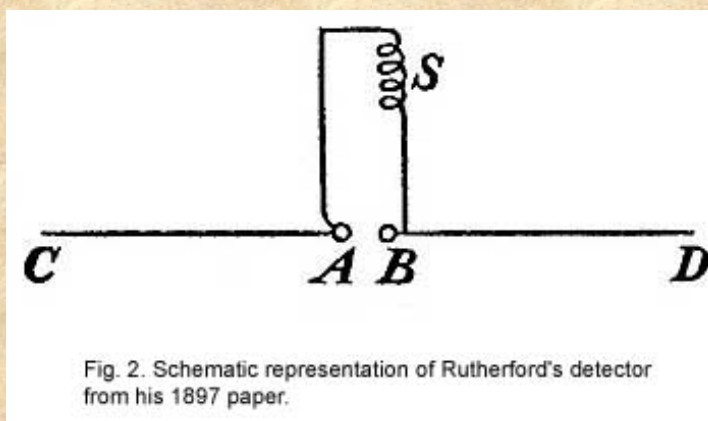
---

**NOTE**

(1) E. Rutherford, *Magnetization of Iron by High Frequency Discharges Transactions of the New Zealand Institute*, **27**, 481-513, 1894.

E. Rutherford, *Magnetic Viscosity, Transactions of the New Zealand Institute*, **28**, 182-204, 1895.

(1') Rutherford, E., *A Magnetic Detector of Electrical Waves and Some of its Applications.*" *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 1897; ser. A, 189: 1-24. Nel seguito riporto due figure del *detector* di onde elettromagnetiche di Rutherford tratte dalla sua memoria. Vi è anche da dire che su queste vicende del detector vi furono dei problemi di priorità e brevetti con [Guglielmo Marconi](#).



(2) Ernest Rutherford, *Some Properties of the  $\alpha$  Rays from Radium*, *Phil. Mag.*, Vol. 11, 166, 1906.

(3) W.H. Bragg, Kleeman, *On the ionization curves of radium*, *Philosophical Magazine*, S.6, 8,, 726-738, 1904.

Kleeman, *On the absorption and classification of the alpha rays of radium*, *Adelaide University. Scientific Society. Proceedings.*, 17-23, 1904-05,



W.H. Bragg, Kleeman, *On the alpha particles of radium, and their loss of range in passing through various atoms and molecules*, *Philosophical Magazine*, S.6, 10 (1905), 318-340.

W.H. Bragg, Kleeman, *On the recombination of ions in air and other gases*, *Royal Society of South Australia. Transactions and Proceedings.*, 29 (1905), 187-206; *Philosophical Magazine*, S.6, 11 (1905), 466-484.

(4) Ernest Rutherford, *Retardation of the  $\alpha$  Particle from Radium in passing through Matter*, *Phil. Mag.*, Vol. 12, 134, 1906.

(5) Ernest Rutherford, Thomas Royds, [\*The Nature of the  \$\alpha\$  Particle from Radioactive Substances\*](#), *Philosophical Magazine* **17**, 281-286, 1909.

(6) Ernest Rutherford, [\*The Chemical Nature of the Alpha Particles from Radioactive Substances\*](#), Nobel Lecture 11 dicembre 1908.

Rutherford, Geiger, *A Method of Counting the Number of Alpha Particles from Radioactive Matter*, *Memoirs of the Manchester Literary and Philosophical Soc* **52**, No **9**, 1-3, 1908.

Rutherford, Geiger, *An Electrical Method of Counting the Number of Alpha Particles from Radioactive Substances*, *Proc Roy Soc*, **A 81**, 141-61, 1908.

Geiger, *On the Scattering of the alpha-particles by Matter*, *Proceedings of the Royal Society*, Series A 81:174, 1908.

(7) J. S. Townsend, *The Conductivity produced in Gases by the Aid of Ultra-Violet Light*, *Phil. Mag.* 3, 557-576, 1902.

(8) Geiger, Marsden, [\*On a Diffuse Reflection of the  \$\alpha\$ -Particles\*](#), *Proc. Roy. Soc.*, vol. 82, p. 495-500, 1909.

(9) Geiger, Marsden, [\*The Laws of Deflexion of a Particles through Large Angles\*](#), *Philosophical Magazine*, Series 6, Volume 25, Number 148 April 1913.

(10) Rutherford, E., *The Scattering of Alpha and Beta Particles by Matter and the Structure of the Atom*, *Proceedings of the Manchester Literary and Philosophical Soc.* **IV**, **55**, 18-20, 1911

Rutherford, E. [\*The Scattering of Alpha and Beta Particles by Matter and the Structure of the Atom\*](#), *Philosophical Magazine*, S. 6, V. 21, 669-688, May 1911.

Sull'argomento Struttura dell'Atomo, Rutherford intervenne ancora in molti suoi lavori ed in particolare nella memoria, [\*The Structure of the Atom\*](#), *Philosophical Magazine*, Series 6, Volume 27, p. 488 - 498, March 1914. Ma eravamo vicini alla Grande Guerra ed iniziava la pratica, in queste occasioni, di smettere di pubblicare memorie scientifiche ormai intese come strumento strategico. Durante la Prima Guerra Mondiale Rutherford fece *il suo dovere* come scienziato e si occupò dello studio e realizzazione di sistemi acustici per scoprire sommergibili.

(11) Geiger, *Proc. Roy. Soc.*, **82**, p. 495, 1909  
Geiger, *Proc. Roy. Soc.*, **83**, p. 492, 1910.

- (12) J.J. Thomson, *Camb. Lit. & Phil. Soc.*, **15**, pt. 5, 1910.
- (13) H. G. J. Moseley, *The High Frequency Spectra of the Elements*, *Phil. Mag.*, p. 1024, 1913.
- 

## **BIBLIOGRAFIA**

- (1) AA. VV. - *Scienziati e Tecnologi dalle origini al 1875* - EST Mondadori 1975
- (2) Emilio Segrè - *Personaggi e scoperte nella fisica contemporanea* - EST Mondadori 1983
- (3) E. Whittaker - *A History of Theories of Aether and Electricity* - Nelson and Sons 1952
- (4) Articoli di Enrico Bellone in: Paolo Rossi (diretta da) - *Storia della scienza* - UTET 1988
- (5) Max Born - *Atomic Physics* - Blackie & Son, London 1962
- (6) Max Born - *La sintesi einsteiniana* - Boringhieri 1969
- (7) Guido Tagliaferri - *Storia della fisica quantistica* - Franco Angeli 1985
- (8) Mario Gliozzi - *Storia della fisica* - in: N. Abbagnano (diretta da) - *Storia delle Scienze*, UTET 1965
- (9) René Taton (diretta da) - *Storia generale delle scienze* - Casini 1965
- (10) John L. Heilbron - *I dilemmi di Max Planck* - Bollati Boringhieri 1988
- (11) Piero Caldirola - *Lezioni di fisica teorica* - Viscontea, Milano, dopo 1950
- (12) Samuel Tolansky - *Introduzione alla fisica atomica* - Boringhieri 1966
- (13) Giuseppe Bruzzaniti - *Dal segno al nucleo* - Bollati Boringhieri 1993
- (14) A. Baracca, S. Ruffo, A. Russo - *Scienza e industria 1848 - 1915* - Laterza 1979
- (15) Enrico Persico - *Gli atomi e la loro energia* - Zanichelli 1970
- (16) Jean Perrin - *Les atomes* - Gallimard 1970
- (17) D. ter Haar - *The Old Quantum Theory* - Pergamon Press 1967.
- (18) Robert Jungk - *Gli apprendisti stregoni. Storia degli scienziati atomici* - Einaudi 1958.
- (19) [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/1908/rutherford-bio.html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1908/rutherford-bio.html)
-



[Torna alla pagina principale](#)

