

L'atomo di Rutherford e la scoperta del neutrone

A P P R O F O N D I M E N T O

Alla fine dell'Ottocento i fisici, come Marie Curie (premio Nobel per la Fisica nel 1903 e per la Chimica nel 1911), Pierre Curie (premio Nobel per la Fisica nel 1903) e Henri Becquerel (premio Nobel per la Fisica nel 1903), avevano scoperto che alcuni elementi pesanti emettevano naturalmente **radiazioni** che provocavano la ionizzazione dei gas e penetravano la materia.



Figura 1
Marie Skłodowska Curie (1867-1935) e Pierre Curie (1859-1906)

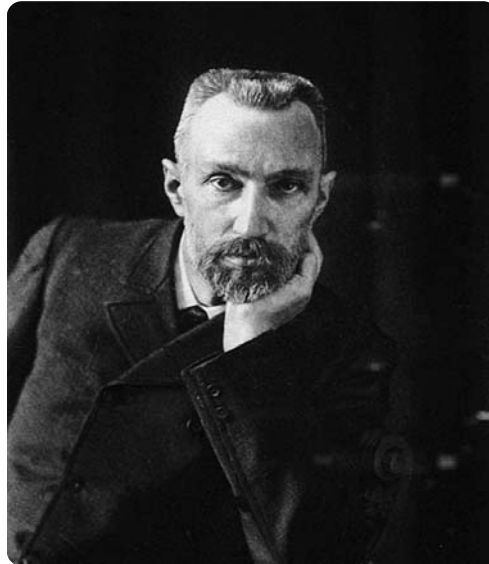


Figura 2
Henri Becquerel (1852-1908)

Per rendere visibili i fasci di alcune di queste radiazioni venne costruito un semplice ma importante strumento: la **camera a nebbia**, composta da un contenitore a forma di parallelepipedo con le pareti in vetro (in pratica una sorta di acquario), all'interno del quale si introduceva del vapore che creava l'effetto di una nebbia. Quando si poneva un elemento radioattivo (uranio, radio, polonio ecc.) al suo interno, si vedevano le scie provocate dai fasci delle radiazioni che attraversavano la camera.

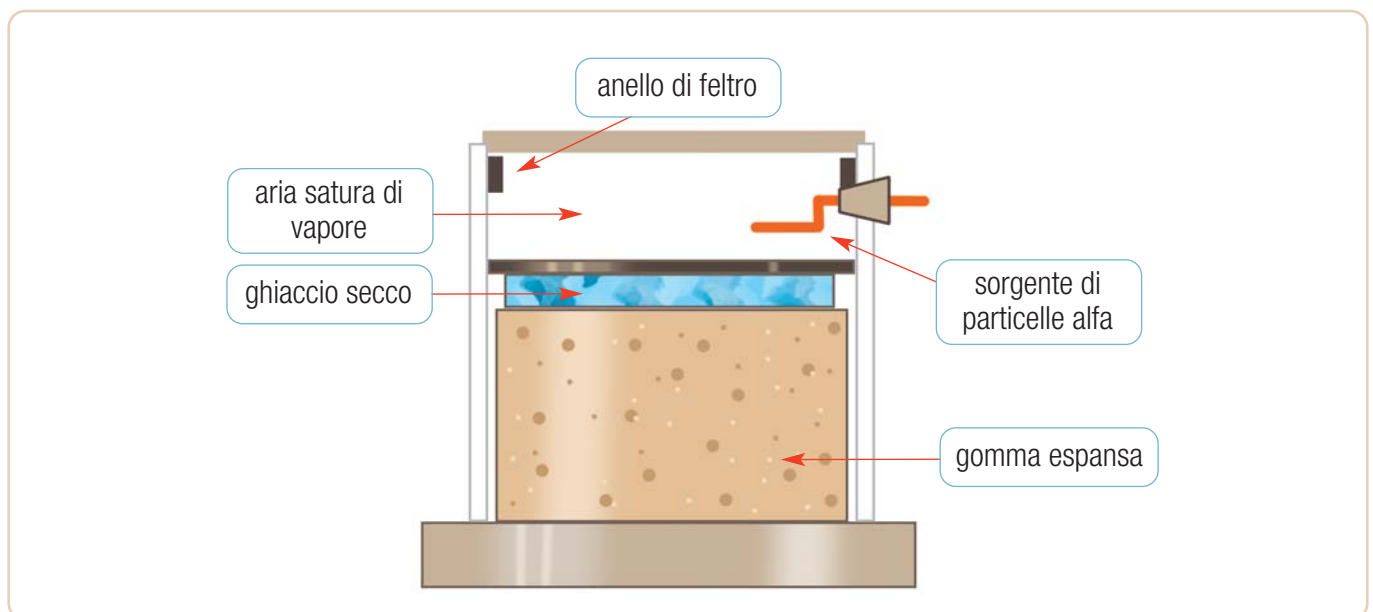


Figura 3
Schema di una camera a nebbia o camera di Wilson



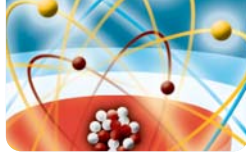
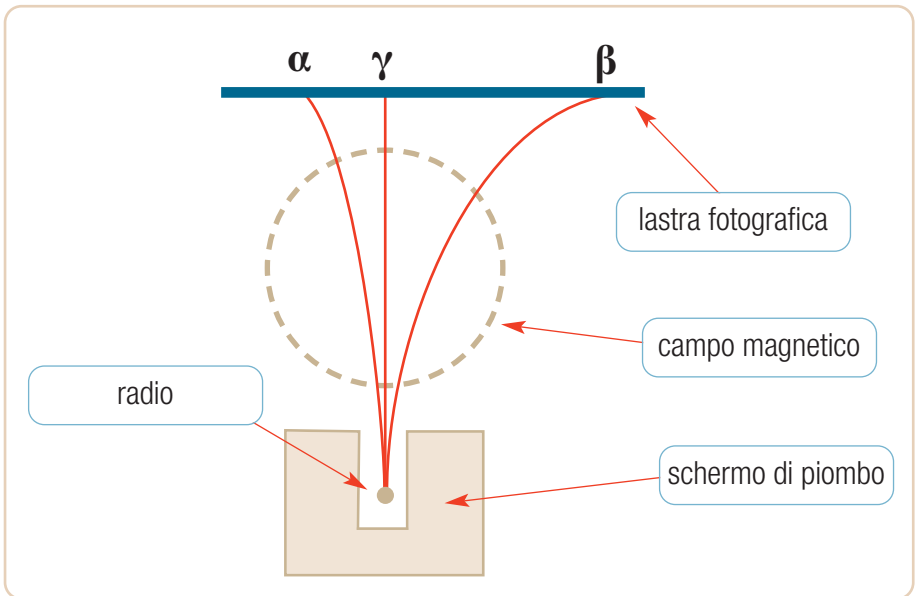


Figura 4
Ernest Rutherford (1871-1937)

Figura 5
Le radiazioni alfa, beta e gamma in un campo magnetico



Tra il 1904 e il 1908 Ernest Rutherford (in collaborazione, nelle diverse fasi degli studi, con Soddy, Hahn, Townsend e Geiger) pubblicò i risultati delle sue ricerche sulla radioattività del radio che emetteva naturalmente tre tipi di radiazioni, classificate con le lettere dell'alfabeto greco come **raggi α , β e γ** .

Nel corso di innumerevoli esperimenti Rutherford e i suoi collaboratori dimostrarono (**figura 5**) che:

- i **raggi α** vengono deviati da un campo magnetico, sono particelle dotate di due cariche positive e hanno una massa atomica vicina a quella dell'elio;
- i **raggi β** sono anch'essi deviati da un campo magnetico e sono elettroni veloci;
- i **raggi γ** sono radiazioni elettromagnetiche ad altissima frequenza e non interagiscono con un campo magnetico.

Oggi sappiamo che i raggi α provengono dal decadimento di tipo alfa dei nuclei pesanti (**figura 6**), i raggi β dal decadimento di tipo beta (**figura 7**) e i raggi gamma da transizioni energetiche interne ai nuclei degli atomi (**figura 8**).

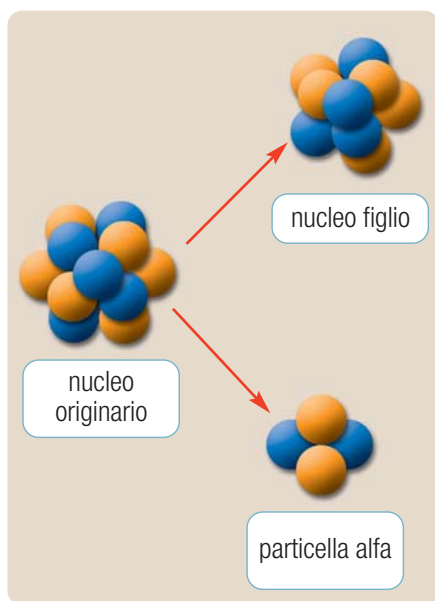


Figura 6
Decadimento di tipo alfa

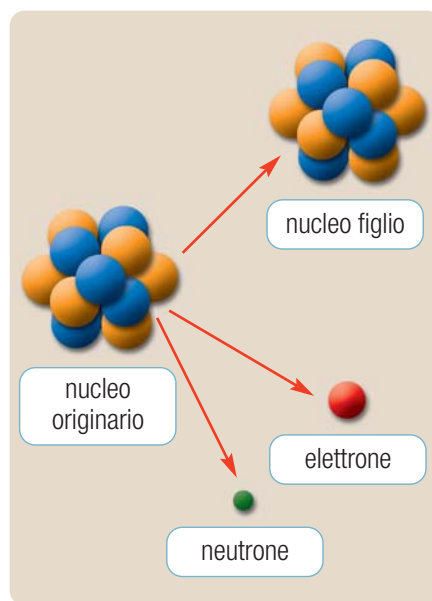


Figura 7
Decadimento di tipo beta

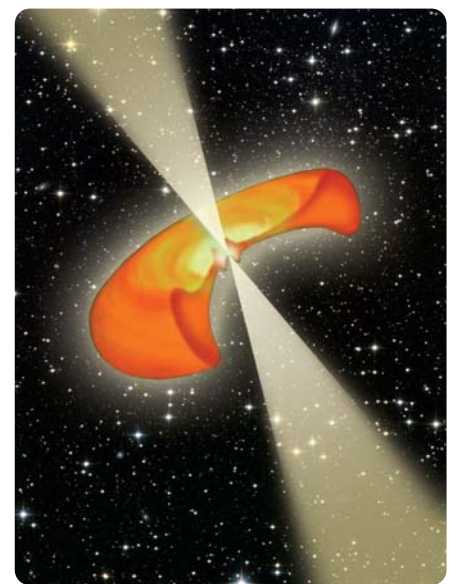
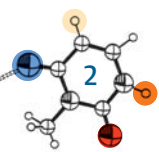
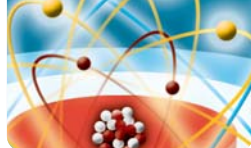


Figura 8
Spaccato di un'esplosione di una ipernova con produzione di raggi gamma





Un'importante caratteristica delle radiazioni alfa, beta e gamma è il loro **potere penetrante**, ovvero la loro capacità di penetrare la materia (figura 9).

I raggi alfa, essendo più massicci, hanno una minore velocità e penetrano sottili strati di materiali; i raggi beta, gamma e i neutroni hanno un potere penetrante maggiore.

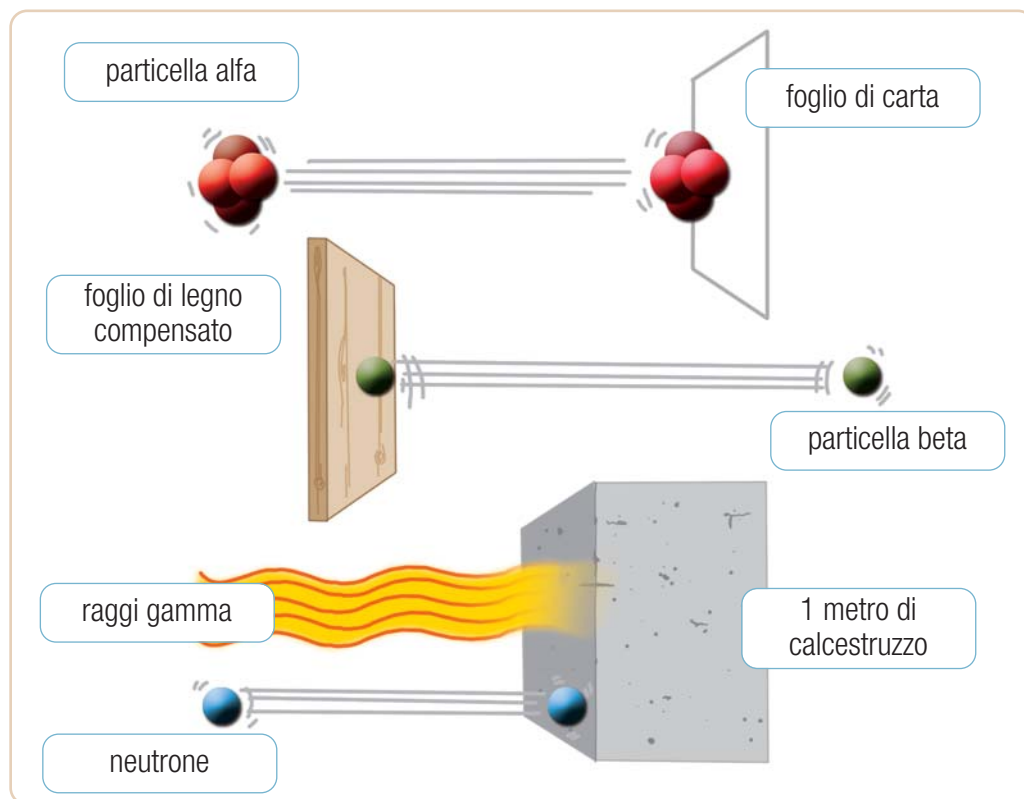


Figura 9
I diversi poteri penetranti di raggi alfa, raggi beta, raggi gamma e neutroni

Con queste prove sperimentali Rutherford si rese conto che la materia, per poter produrre radiazioni, doveva essere per forza composta dagli stessi «ingredienti» che componevano le radiazioni medesime. Non solo, il fatto che queste radiazioni penetrassero facilmente la materia presupponeva che la struttura degli atomi fosse diversa da quella proposta da Thomson, il quale aveva ipotizzato un atomo pieno uniformemente di cariche opposte in eguale numero.

A questo punto, assieme ai suoi collaboratori Wilhelm Geiger e Ernest Marsden, escogitò un esperimento geniale

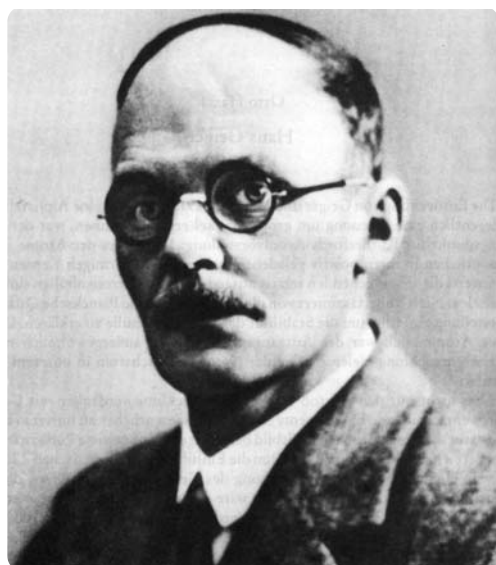


Figura 10
Wilhelm Geiger (1882-1945)



Figura 11
Ernest Marsden (1889-1970)

(figura 12), che sarebbe rimasto nella storia della scienza: pose del radio all'interno di una scatola di piombo, dotata di un foro piccolissimo (1 mm) su una delle facce. All'esterno della scatola, in linea con il foro, pose una lamina di oro sottilissima, con uno spessore di 10.000 atomi, a sua volta circondata da uno schermo fluorescente di solfuro di zinco (ZnS).

Il radio contenuto nella scatola emetteva naturalmente particelle alfa che,



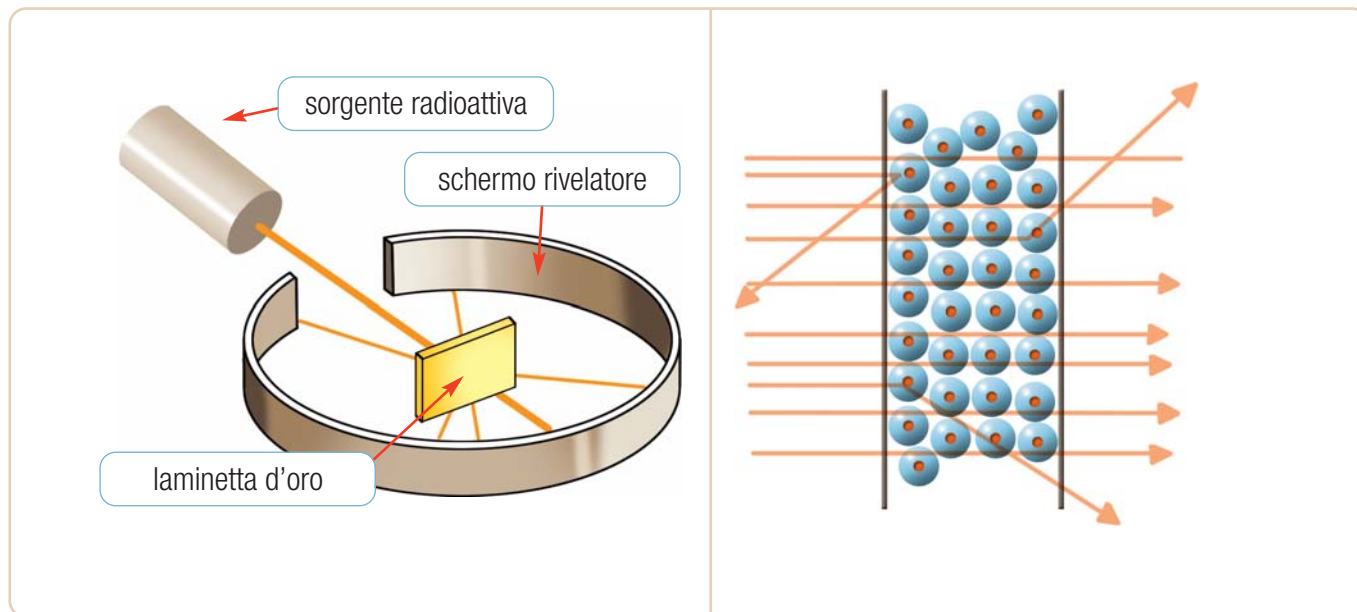
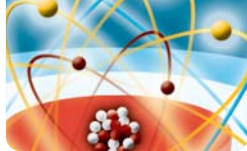


Figura 12
Schema dell'esperienza di Rutherford

ricordiamo, sono nuclei di elio portanti 2 cariche positive con numero di massa atomica 4. Queste particelle venivano collimate dal piccolo foro e arrivavano sul foglio d'oro in un sottile fascio.

A questo punto le particelle alfa attraversavano la sottile lamina d'oro emergendo da essa quasi indisturbate e venivano rilevate attraverso gli scintillii dello schermo fluorescente di solfuro di zinco.

Marsden, durante l'esperienza, si accorse che un piccolissimo numero di particelle alfa veniva deviato con un angolo maggiore di 90° (scattering). La cosa destò subito sorpresa: cosa poteva aver procurato la deflessione delle particelle alfa, dotate di una considerevole energia cinetica?

Non potevano essere responsabili di ciò gli elettroni e i protoni, per via della loro piccolissima massa: sarebbero stati deviati con estrema facilità dalle particelle alfa.

I ricercatori immaginarono subito che ci dovesse essere, all'interno di un atomo di oro, nel suo baricentro, qualcosa dotato di una enorme quantità di materia che chiamarono **nucleo**; ma che tipo di entità poteva essere?

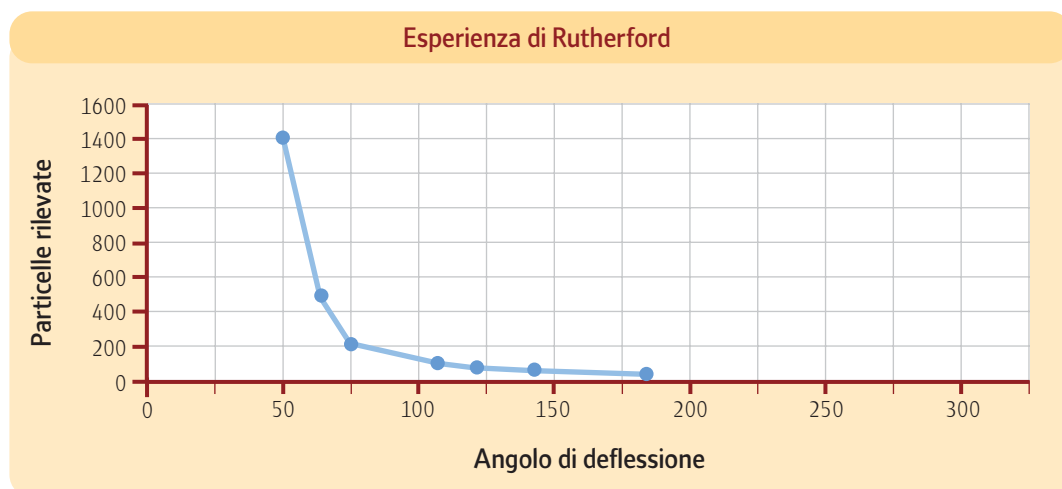
Per capire come fosse composto il nucleo dovevano individuare il tipo forza responsabile delle deviazioni a grandi angoli delle particelle alfa.

Essi intuirono che l'interazione tra il nucleo e le particelle alfa era dovuta alla repulsione coulombiana (elettrostatica), questo perché le particelle alfa erano cariche positivamente, il problema adesso era dimostrarlo.

Ricordiamo per inciso che le forze coulombiane o elettrostatiche sono attrattive tra cariche di segno opposto (+ e -) e repulsive tra cariche dello stesso segno (+ e +, - e -).

Per dimostrare che la forza coulombiana era responsabile dello scattering eseguirono migliaia di misurazioni delle traiettorie che le particelle alfa percorrevano quando venivano deviate dal nucleo.

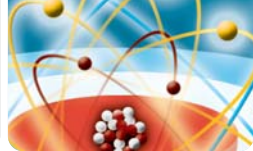
Marsden e Geiger, in 18 mesi di duro lavoro di ricerca, misurarono la distribuzione delle particelle deviate in funzione dell'angolo di deviazione, e ne scaturì un grafico come quello mostrato in figura 13.



zione dell'angolo di deviazione, e ne scaturì un grafico come quello mostrato in figura 13.

Figura 13
Grafico del conteggio delle particelle deviate in funzione degli angoli di deviazione





La curva del grafico è in accordo con una forza proporzionale a $1/r^2$ (r è la distanza tra la singola particella e il nucleo); la forza che varia in funzione di $1/r^2$ è la forza di attrazione o di repulsione coulombiana, e le traiettorie descritte dalle particelle alfa che vengono deviate sono delle iperboli.

Da questi risultati Rutherford e i suoi collaboratori affermarono senza ombra di dubbio che l'atomo è composto da un nucleo molto denso e che gli elettroni gli ruotano intorno, come i pianeti ruotano intorno al sole.

Dalle conclusioni emergeva che il nucleo a sua volta è composto da un ammasso di protoni; esso perciò porta tutta la carica positiva dell'atomo (respinge le particelle alfa) e quasi tutta la massa poiché, come sappiamo, un protone ha una massa 1.836 volte maggiore di quella dell'elettrone.

Rutherford andò anche oltre: le sue misurazioni dimostravano che le dimensioni del nucleo sono 100.000 volte inferiori a quelle dell'atomo e che il volume interno dell'atomo è quasi del tutto vuoto, essendo la massa concentrata quasi tutta nel nucleo.

Ma è uno strano tipo di vuoto, è impenetrabile da altri atomi perché gli elettroni, ruotando attorno al nucleo a velocità prossime a quelle della luce, producono un campo elettrico così potente che respinge gli altri atomi che portano anch'essi la carica negativa (elettroni) al loro esterno.

Rutherford intuì l'esistenza, all'interno del nucleo, anche di un'altra particella, che inizialmente chiamò **protone neutro**, con una massa uguale a quella del protone ed elettricamente neutra; per questo motivo non poteva essere rilevata con gli strumenti impiegati per gli esperimenti sui protoni e sugli elettroni.

Fu però un suo allievo, James Chadwick (premio Nobel per la Fisica nel 1935), che dimostrò l'esistenza di questa particella molti anni dopo (nel 1932).



Figura 14
James Chadwick (1891-1974)

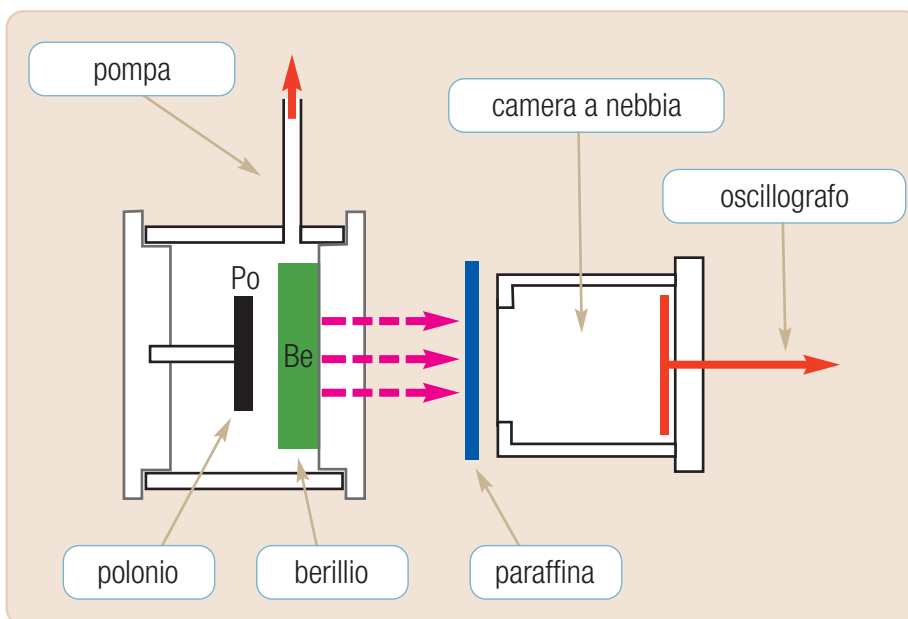
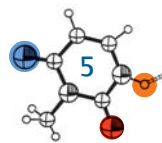
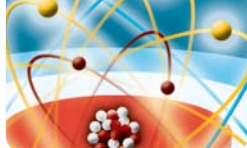


Figura 15
Lo strumento impiegato da Chadwick (1932)

Chadwick utilizzò allo scopo uno strumento (figura 15) formato da una camera da vuoto al cui interno erano posizionati un disco di polonio e, più avanti, un disco di berillio; all'esterno della camera da vuoto vi era un altro disco di paraffina, seguito da una camera a nebbia portante nella parte finale un oscillografo.

Il polonio fungeva da sorgente delle particelle alfa, le quali colpivano il disco di berillio che produceva i neutroni (le frecce viola nella figura) secondo la seguente reazione:





I neutroni così prodotti uscivano a grande velocità dal disco di berillio e colpivano quello di paraffina; a questo punto colpivano i protoni della paraffina che venivano espulsi e rivelati dalla camera a nebbia prima e dall'oscillografo poi. Dalle misurazioni della velocità dei protoni espulsi dalla paraffina si stabilì la massa della particella che ne aveva provocato l'espulsione, che risultò essere simile a quella del protone (tabella 1).

Particella	Carica formale	Carica elettrica (Coulomb)	Massa (Kg)	Massa (U.M.A.)
Protone	+1	$+1,602177 \cdot 10^{-19}$	$1,67262 \cdot 10^{-27}$	1,0073
Neutrone	0	0	$1,67493 \cdot 10^{-27}$	1,0087
Elettrone	-1	$-1,602177 \cdot 10^{-19}$	$9,10939 \cdot 10^{-31}$	$5,490 \cdot 10^{-4}$

Tabella 1

Alcune caratteristiche delle particelle atomiche

