



Policoro (MT)
19, 23 Febbraio 2018

XVIII Scuola di Storia della Fisica
Corso di formazione

**Il nucleo:
da Rutherford ai quark,
via Los Alamos.**

Il ruolo dei modelli nella scoperta del nucleo.

Ernest Rutherford e la sua scuola.

A. Briguglia, M.R. Cossu, A. Durlo,
E. Gabbiani, P. Lopatriello, E. Mignani & A. Poggi

23 Febbraio 2018

con la preziosissima collaborazione della
prof.ssa Nadia Robotti

Abstract

Ernest Rutherford viene ricordato come lo scienziato che propose un modello atomico planetario atto a superare la struttura atomica d'inizio del ventesimo secolo, proposta da J.J. Thomson, e fondata su un volume di carica positiva all'interno della quale si considerava uniformemente distribuita la carica negativa. La lettura della memoria originale di Rutherford – pubblicata nel 1911 – ci permette di operare un confronto tra i modelli di questi due fisici e discutere sul concetto di modello in sé.

1 La figura di Ernest Rutherford

*Nella scienza esiste solo
la Fisica, tutto il resto è
collezione di francobolli.*

E. RUTHERFORD

Ernest Rutherford è ricordato nella manualistica come colui il quale, grazie ad un modello atomico a *sistema solare*, superò la visione di J.J. Thomson di un atomo costituito da una carica positiva diffusa in un volume sferico e all'interno della quale era dispersa la carica negativa.

Tuttavia, per osservare che dietro alla nuova idea di modello atomico si staglia comunque una figura di assoluto rilievo, sia come scienziato sia come uomo, basta ricordare quel che di lui ricorda Niels Bohr.

Benché fosse sempre intensamente occupato dal suo lavoro, egli ascoltava con pazienza ogni giovane che si presentasse con un'idea anche modesta. Al tempo stesso, col suo carattere indipendente, aveva un rispetto molto moderato per l'autorità e non sopportava quello che chiamava "parlar pomposo". In simili occasioni parlava talvolta in tono burlesco anche di rispettabili colleghi, ma per il resto non si permise mai di entrare in controversie personali

e usava dire: “C’è solo una persona che può compromettere il nostro buon nome, e siamo noi stessi”.

NIELS BOHR – I QUANTI E LA VITA

Nel 1913, lo stesso Bohr inviò a Rutherford una memoria, stesura del suo primo lavoro circa la costituzione atomica e sua la teoria quantistica; ricorda affettuosamente Bohr che la risposta non si fece attendere e non poteva essere ignorata, né dal punto di vista scientifico, tantomeno dal lato umano.

*Caro dottor Bohr,
ho ricevuto il Suo lavoro e l’ho letto con grande interesse, ma mi riservo di rivederlo con cura non appena ne avrò il tempo. [...]*

C’è poi una critica di minor conto che farei sulla stesura del lavoro. Penso che nello sforzo di risultare chiaro Lei abbia la tendenza a scrivere troppo e a ripetere i concetti in più punti del lavoro. [...] Forse Lei non considera abbastanza il fatto che i lavori lunghi hanno la proprietà di spaventare il lettore, che teme di non avere tempo a sufficienza per immergersi. [...]

Mi farà sempre molto piacere ricevere altri Suoi lavori, ma Le raccomando di tenere a mente il mio consiglio e di farli più brevi che può, compatibilmente con la chiarezza.

NIELS BOHR – I QUANTI E LA VITA

Queste parole rendono l’idea dello spessore umano dietro lo scienziato; lo stesso Bohr ricorda ancora come Rutherford – oltre a nutrire una grande stima per i suoi colti colleghi – si prendesse a cuore tutti i giovani fisici che avessero occasione di lavorare con lui, per periodi brevi o lunghi che fossero. Rutherford, che non avrebbe mai rivendicato per sé la paternità di un lavoro di altri, sembrava poter intuire sempre dove fosse il talento: sorgente inesauribile di incoraggiamento e di forza, dalla sua scuola sarebbero usciti undici premi Nobel.

2 La questione del modello

*Fare un confronto tra una
macchina ed un modello, è
come andare al ristorante
e mangiarsi il menù.*

ANONIMO

E’ stata affrontata la lettura integrale dell’articolo di Ernest Rutherford *LXXIX. The scattering of α and β particles by matter and the structure of the atom*, così come pubblicato in *Philosophical Magazine Series 6*, 21: 125, 669–688.

Quello che colpisce da subito è l’estrema complessità dello scritto e il numero di ipotesi *ad hoc* che vengono invocate di volta in volta in base alle necessità. Allo stesso modo, Rutherford stabilisce delle notevoli simmetrie (pag. 671):

[...] It will be shown that the main deductions from the theory are independent of whether the central charge is supposed to be positive or negative. For convenience, the sign will be assumed to be positive.

e le conferma al termine della sua dissertazione (pag. 688):

The deductions from the theory so far considered are independent of the sign of the central charge, and it has not so far been possible to obtain definite evidence to determine whether it be positive or negative.

mentre non sembra preoccuparsi eccessivamente di maneggiare un modello stabile per il suo atomo, quantomeno non da subito (pag. 671):

The question of the stability of the atom proposed need not be considered at this stage, for this will obviously depend upon the minute structure of the atom, and on the motion of the constituent charged parts. [...]

tantomeno sembra preoccuparsi di citare modelli atomici già sconfessati o affermazioni non vere (pag. 688):

It is of interest to note that Nagaoka¹ has mathematically considered the properties of a "Saturnian" atom which he supposed to consist of a central attracting mass surrounded by ring of rotating electrons. He showed that such a system was stable if the attractive force was large.

La lettura del testo originale ha permesso di fare un confronto tra il modello atomico di J.J. Thomson, citato da Rutherford nel suo scritto come temine di paragone, e quello dello stesso fisico neozelandese; dalla analisi passo passo dell'articolo è stato possibile trarre le seguenti considerazioni.

L'analisi delle ipotesi alla base dei modelli proposti da Thomson e Rutherford rivela una antisimmetria tra le questioni ritenute imprescindibili dall'uno e dall'altro scienziato, come se occhi differenti guardassero i medesimi dati sperimentali per interpretarli alla luce delle proprie idee.

L'aspetto che è intoccabile per Thomson, la stabilità del nucleo atomico in termini della Meccanica Classica, risulta – come già illustrato – non necessario per Rutherford; per quest'ultimo è invece di fondamentale importanza il comportamento delle particelle α , comportamento che Rutherford riconduce alla presenza di un nucleo centrale, in accordo con la propria ipotesi.

Vogliamo evidenziare come la questione della radiazione α fosse particolarmente cara a Rutherford; lo stesso Rutherford ebbe a dire in occasione della frammentazione dei nuclei di Litio, per bombardamento con protoni, da lui condotta assieme a Cockcroft e Walton nel 1932:

Quelle scintillazioni somigliano molto a quelle prodotte dalle particelle alfa. Dovrei essere in grado di riconoscere una scintillazione da particella alfa quando la vedo, perché le conosco dalla nascita.

E. RUTHERFORD IN RICHARD REEVES – UNA FORZA DELLA NATURA

Si pone quindi la questione di conciliare il fenomeno di scattering di particelle α e β a grandi e piccoli angoli secondo i due modelli che ci siamo proposti di esaminare. Ad esempio, lo scattering ad ampio angolo delle particelle α , che è fondamentale nella modellizzazione di Rutherford di un atomo a nucleo massivo centrale, risulta di fatto una *anomalia* nel modello di Thomson, che non si accorda con questo fenomeno (pag. 670):

¹Il modello atomico di Nagaoka, presentato in Phil. Mag. vii, pag. 445 del 1904, era già stato rifiutato in quanto non poteva fronteggiare il problema classico dell'irraggiamento dell'elettrone in moto attorno al nucleo e quindi non poteva spiegare il non-collasso della materia.

The theory of Sir J.J. Thomson is based on the assumption that the scattering due to a single atomic encounter is small, and the particular structure assumed for the atom does not admit of a very large deflexion of an α particle in traversing a single atom [...]

L'anomalia nel modello di Thomson potrebbe essere spiegata introducendo forze di diversa natura laddove l'interazione Coulombiana perdesse di validità: in questo modo sarebbe possibile salvaguardare il modello secondo l'impianto della Meccanica Classica.

Diversamente, lo scattering delle particelle β diventa un fenomeno *adattabile* ad entrambi i modelli: secondo Thomson la deflessione non è apprezzabile, secondo Rutherford risultati osservabili si avrebbero solamente se l'atomo fosse circondato da migliaia di elettroni.

Una differenza fondamentale che deve però essere messa in evidenza tra la descrizione atomica di Thomson e quella di Rutherford sta nell'aver stimato – secondo Thomson – un raggio atomico misurabile, dell'ordine di $10^{-10}m$, cosa che Rutherford non introduce.

La mancanza di un raggio, ovvero l'impossibilità di ottenere dimensionalmente una lunghezza con le grandezze coinvolte nella modellizzazione “planetaria”, rende inconciliabile il modello con le leggi della Fisica Classica (un elettrone in moto su di un'orbita come quella proposta da Rutherford irradia energia, provocando l'inevitabile collasso della materia).

Descrivere la materia secondo il modello planetario porta a serie difficoltà intrinseche alla instabilità del sistema elettronico, difficoltà che non comparivano secondo il modello proposto da Thomson.

Quindi, la differenza fondamentale tra il modello di Thomson e quello di Rutherford è ricondotta alla circostanza in base alla quale le forze – che secondo Thomson agiscono sugli elettroni – rendono possibili alcune configurazioni elettroniche e movimenti degli stessi elettroni, in corrispondenza dei quali il sistema risulta in *equilibrio stabile: considerazioni di questo tipo non esistono nel modello di Rutherford*. In altre parole, il carattere della differenza risulta maggiormente marcato se si tiene presente che tra le grandezze che fanno riferimento al primo atomo ne compare una, il raggio della sfera positiva, che ha le dimensioni di una lunghezza e lo stesso ordine di grandezza delle dimensioni lineari dell'atomo: questa lunghezza *non compare tra le grandezze che caratterizzano il secondo modello*; non è possibile risalire alla lunghezza del raggio del modello di Rutherford unicamente attraverso masse e cariche degli elettroni e del nucleo positivo.

Solo poco tempo dopo, sarà Niels Bohr a riconsiderare questo punto fondamentale, trascurato da Rutherford nella esposizione della sua struttura dell'atomo, e a stabilire la misura di un raggio attraverso la costante di Planck, affermando che la relazione:

$$\frac{h^2}{mke^2} \tag{2.1}$$

ha le dimensioni di una lunghezza.

Se operiamo adesso un confronto tra il modello di Rutherford e quello di Bohr, osserveremo che l'introduzione, nel calcolo, del *quanto d'azione* permetterà a Bohr di affermare che ogni emissione o assorbimento di radiazione da parte dell'atomo è un processo individuale accompagnato da un trasferimento di energia:

$$h\nu = hcR \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right) \tag{2.2}$$

Per l'atomo di Rutherford non potevamo attenderci nemmeno uno spettro di righe, poichè in base all'elettrodinamica ordinaria le frequenze di radiazione associate al moto elettronico dovrebbero variare con continuità a causa dell'irraggiamento.

NIELS BOHR – I QUANTI E LA VITA

Lungi dal voler esaurire qui tutta la teoria sul modello di Bohr, vale la pena di sottolineare come – tra gli scogli che ha consentito di superare – esso permetta anche una visualizzazione dell'atomo come piccolo sistema Copernicano, in qualche misura compatibile con la concezione classica². Si supera, in questo modo, una sorta di *horror vacui* della mente, legato alla necessità di un modello grafico figlio di una immaginazione legata a connotazioni classiche: era possibile visualizzare gli elettroni sulle loro orbite stazionarie come un sistema Copernicano³.

3 In Memoriam

In allegato a questo scritto, riportiamo di seguito il *Nekrolog* che Niels Bohr scrisse in memoria di Rutherford.

Supplemento a NATURE

18 Dicembre 1937

Prof. Niels Bohr

già membro della Royal Society

Sono grato per l'invito dell'Editore di NATURE a scrivere poche parole circa i miei rapporti con Lord Rutherford che sono stati così decisivi per il mio lavoro e hanno riempito così gran parte della mia vita. In realtà, né nel breve articolo, supplemento a NATURE del 19 Dicembre 1929, sul rapporto di Rutherford con i suoi allievi al quale ho avuto il piacere di contribuire al Cavendish Laboratory, né nel breve tributo alla memoria di Rutherford che ho avuto il triste compito di presentare al Congresso Galvani riguardo all'annuncio della sua scomparsa e che è apparso il 30 Ottobre 1937 su NATURE, ho trovato il modo di esprimere appieno il mio debito personale con lui, che è stato per me tutto quello che una guida ispiratrice e un amico paterno potessero essere.

Dal momento in cui fui accolto nel gruppo di studenti provenienti da diverse parti del mondo per lavorare sotto la guida di Rutherford nel suo laboratorio di Manchester, mi è apparso come l'incarnazione autentica dello spirito della ricerca. Rispetto e ammirazione sono parole troppo povere per descrivere in che modo gli studenti si riferissero all'uomo alle cui scoperte essi erano entusiasti di sforzarsi di partecipare. Quello che sentivamo era piuttosto una fiducia senza restrizioni nel suo giudizio silenzioso che, animato dalla sua gentilezza e dalla sua buona volontà, rappresentava il terreno fertile dal quale anche il germe più piccolo nelle nostre menti poteva trarre forza per crescere e fiorire. La sua semplicità e il

²Il modo di procedere di Bohr è del tutto analogo allo studio che Keplero condusse per determinare la relazione tra la distanza media di un pianeta dal Sole e il suo periodo di rivoluzione. Questo portò Keplero alla formulazione della Terza Legge; in questo caso si tratta però di uguagliare la forza centripeta alla forza di attrazione gravitazionale.

³Se, da un lato, il modello di Rutherford non aveva alcuna descrizione grafica, sull'articolo del 1913, è pur vero che il modello di Bohr a sua volta non permetteva di rappresentare graficamente le transizioni degli elettroni da un'orbita all'altra.

rifiuto per tutto quel che era apparenza esteriore non si sono mai manifestate, probabilmente, in modo più spontaneo di quando discuteva con i suoi studenti, i quali erano tentati, per la sua immediatezza, e nella loro giovinezza, di dimenticare con chi stessero parlando fino a quando un piccolo suggerimento o quell'argomento che spesso avevano compreso chiaramente per la prima volta, dopo che se n'era andato, facevano loro ricordare il potere e la capacità di fare breccia della sua intuizione.

Ad ogni modo, gli stimoli che Rutherford elargiva ai suoi studenti non si limitavano alle attività quotidiane. Pertanto, quando tornai in Danimarca seguii la linea di lavoro che avevo appreso a Manchester, per me era un sentimento molto incoraggiante sapere che potevo sempre contare sul suo caldo interesse e i suoi inestimabili consigli. Invero, rileggendo la nostra corrispondenza di quei giorni, faccio fatica a rendermi conto di come, nel bel mezzo di tutto il suo lavoro egli potesse rispondere nella maniera più gentile e comprensiva ad ogni lettera attraverso la quale un giovane osasse comunicargli le proprie difficoltà. Il nostro rapporto divenne più stretto durante la permanenza quale conferenziere a Manchester, durante i primi anni della Grande Guerra, e quando, in questo tempo pieno di angoscia, riuscì a mantenere alto lo spirito del piccolo gruppo rimasto nel laboratorio e, nei brevi momenti di serenità tra i grandi affari laboratoriali che lo gravavano, andava avanti preparando la strada a nuove scoperte che avrebbero portato in breve a risultati così grandi.

Negli anni successivi, ogni occasione per andare ad incontrarlo nella sua casa di Cambridge, dove nonostante un incessante lavoro e la mole ancor più grande di impegni conduceva una vita semplice con il compagno che gli era più vicino nell'animo ed era stato con lui nei momenti di massima gioia e dispiacere, costituiva la più grande fonte di un rinnovato incoraggiamento. Il vigore del suo spirito non si era indebolito col passare degli anni, ma aveva fatto presa verso ogni direzione nuova e la sua geniale comprensione e condivisione di intenti avevano dato un valore ai consigli che poteva elargire in campo scientifico e pratico, valore di cui fecero tesoro circoli sempre più larghi. Per chiunque a cui egli abbia elargito la sua amicizia fedele e convinta, un sorriso di approvazione o un simpatico ammonimento erano quanto bastava per riscaldare il cuore, e il suo ricordo resterà con noi per guidarci e ispirarci per il resto delle nostre vite.