

## La nascita del nucleo atomico (\*)

R. Marshall

*School of Physics and Astronomy, The University of Manchester  
Manchester UK*

**Riassunto.** Un secolo fa, a Manchester, un esperimento condotto da Hans Geiger e Ernest Marsden rivelò l'esistenza del nucleo dell'atomo. In questo articolo vengono descritti gli eventi scientifici e sociali che portarono alla scoperta, la sua interpretazione da parte di Ernest Rutherford ed il lavoro che in seguito rafforzò la conoscenza fisica del fenomeno.

**Abstract.** The first evidence for the atomic nucleus was found a century ago in an experiment carried out by Hans Geiger and Ernest Marsden in Manchester. The scientific and social events that led up that discovery, its interpretation by Ernest Rutherford and the subsequent work that cemented the phenomenon into physics knowledge, are described in this article.

### 1. I primi movimenti

La pubblicazione, esattamente un secolo fa, del lavoro di Hans Geiger e Ernest Marsden, che segnava l'ingresso del nucleo dell'atomo nell'ambito delle conoscenze della fisica, non fu un evento casuale, né il risultato di un'osservazione fortunata. La successione di eventi che portarono alla nascita dell'era nucleare a Manchester nel 1909 era iniziato un secolo prima, determinata essenzialmente da cause sociali. Durante la prima parte del XIX secolo la città di Manchester era diventata frenetica. Era il cuore della rivoluzione industriale, contribuiva in grande misura all'economia della nazione ma era scarsamente rappresentata nel parlamento, ancora dominato da membri la cui presenza era basata su privilegi e corruzione. Non aveva una università e, in un territorio in cui le chiese non conformiste erano forti, l'ingresso in altre università era sbarrato a chiunque non pronunciasse un giuramento di fedeltà alla ben consolidata Chiesa d'Inghilterra.

Manchester stessa divenne impopolare a Londra a causa del forte appoggio locale allo Statuto del Popolo del 1838, che reclamava riforme politiche e sociali. Nel 1819, prima dello Statuto, un raduno di 70000 persone nel centro della città per appoggiare la riforma parlamentare era stata brutalmente repressa dalla cavalleria locale, provocando la morte di 10 civili. A fronte di questi precedenti, del "Massacro di Peterloo" e del movimento statutario, le ripetute richieste al governo, anche avanzate da eminenti postulatori quali John Dalton e James Joule, non riuscirono a guadagnare il consenso alla fondazione di una Università in Manchester, che solo grazie a un

(\*) Tradotto dall'inglese da F. Palmonari, dall'originale di Robin Marshall: The birth of the atomic nucleus, *Il Nuovo Saggiatore*, **26**, no. 1-2 (2010) 61-70.

benefattore locale, John Owens, si dotò di un nuovo collegio intitolato al suo nome. L'Owens College aprì le porte nel 1851, con una forte enfasi sulla scienza. Assieme all'University College di Londra, di cui riconosceva la laurea, fu uno dei due istituti nel paese a insegnare la fisica a livello universitario, a non offrire istruzione religiosa e a permettere l'ingresso a tutti (i maschi) indipendentemente dalla fede religiosa. Potevano così essere intercettate nuove fonti di talento fino ad allora ignorate. Ragazzi e giovani (le donne furono ammesse in seguito) poterono essere avviati a carriere scientifiche e tecniche nelle industrie locali e, cosa altrettanto importante, anche gli insegnanti delle scuole locali erano ammessi a seguire i corsi di scienze così da poter meglio preparare i loro allievi per l'ingresso al college.

Nonostante la clausola connessa al lascito di £96000 fatto da Owens, equivalenti a £74 milioni di oggi, stabilisse chiaramente che non dovesse esserci alcuna istruzione religiosa nel college, il vescovo di Manchester cercò di aggirare i termini dell'impegno con un ragionamento perverso. "John Owens era chiaramente un uomo caritatevole e quindi avrebbe dovuto essere un Cristiano. Perciò approverà l'insegnamento Cristiano nel collegio da lui finanziato". I governatori del college scelsero un'abile maniera di rispondere. Invece di impegnarsi a discutere col Vescovo, affissero semplicemente alla bacheca del college la sua lettera, che fece arrabbiare i liberali. Essi successivamente poterono evitare di invitare il Vescovo alla cerimonia di apertura.

La fisica fiorì a Manchester fin dall'inizio, producendo laureati del calibro di John Joseph Thomson, Charles Thomson Rees Wilson and James Chadwick, in seguito vincitori del Premio Nobel. Subito dopo seguirono Arthur Eddington e Ernest Marsden. A partire dalla nomina di Thomson nel 1884, passando per quella di Earnest Rutherford nel 1919, fino al ritiro di William Lawrence Bragg nel 1953, ai professori di Manchester fu assegnata la più prestigiosa cattedra di fisica d'Inghilterra: la Cavendish Professorship all'Università di Cambridge. L'Owens College divenne infine uno degli elementi costitutivi della Victoria University di Manchester, istituita, con Reale Consenso, nel 1880. Ancora una volta il passo successivo nel cammino verso l'era nucleare fu reso possibile da una donazione privata. Nel 1900 furono aperti i nuovi laboratori di fisica, tra i migliori di tutto il mondo. Il direttore dei laboratori esistenti, il "Professor" e in seguito "Sir" Arthur Schuster aveva girato il mondo misurando le dimensioni dei più famosi laboratori di scienze, da Baltimora a Berlino, e aveva deciso di creare qualcosa di comparabile in Manchester. Il rapporto annuale al Consiglio di Amministrazione dell'Università [1] contiene un articolo di Schuster, che elenca le fonti di finanziamento per la costruzione dell'edificio, il suo arredamento e mantenimento. È riportato il costo totale di 30000 sterline, equivalenti a £6 milioni del 2010. La maggior parte delle donazioni erano di privati, tutti citati tranne la donazione più alta, £10000 da parte di "un Amico" che può essere stato o no il ricco Schuster. Il Consiglio Regionale del Lancashire contribuì con £500 e il governo centrale con nulla.

Oltre ad essere ricco, Schuster non resisteva alle nuove tecnologie. Comprò una macchina da scrivere per il dipartimento nel 1882, l'anno che la Remington mise sul mercato in Inghilterra i suoi primi modelli. Comprò a sua moglie una macchina da magliaia con la quale lei fece calzini per l'amico di famiglia H. G. Wells, che aveva

pie di eccezionalmente piccoli. Comprò una delle prime auto uscite dalle linee di produzione possedute dal suo amico Mr. Royce. Egli possedette e usò la miglior macchina fotografica disponibile. Come fisico era incostante. Fece misure sui raggi catodici anni prima di Thomson, ma dedusse che erano atomi d'azoto, ottenendo così un valore per la loro massa sbagliato di un fattore 30000. Tuttavia il suo fiuto nel riconoscere negli altri il talento era insuperabile. Dopo aver stabilito il laboratorio, si applicò per trovare qualcuno in grado di dirigerlo.

Questo "qualcuno" fu Earnest Rutherford, neozelandese professore alla McGill University di Montreal. A quei tempi nei laboratori di fisica di Manchester il budget annuale per i salari dello staff accademico era di 3200 sterline; metà era divisa tra 9 assistenti, e l'altra metà andava a Rutherford, circa mezzo milione di sterline oggi, rapportate agli indici medi dei salari: egualmente un affare in considerazione del Premio Nobel che portò all'università un anno dopo l'assunzione e alle scoperte che fece o diresse in seguito.

## 2. L'ingresso dei virtuosi

Rutherford arrivò a Manchester nell'estate del 1907 ed ebbe subito sul posto una squadra, che, in linguaggio attuale si potrebbe definire "galattica", un misto di talenti locali e internazionali, molti dei quali hanno lasciato un'impronta nella storia. Uno dei compiti di Rutherford era di riferire al Consiglio Universitario ciò che accadeva nel suo dipartimento. Tendeva ad essere laconico: "Il dr. Bohr ha proseguito i suoi studi matematici sulla struttura dell'atomo" [2]. Il signor Bohr aveva infatti continuato il suo lavoro che aveva prodotto le tre pubblicazioni del Premio Nobel, in cui si esponeva la teoria dell'atomo di Bohr. Il gruppo fotografico del 1912 (fig. 1) comprende James Chadwick, scopritore decisivo del neutrone e Henry Gwyn Jeffreys Moseley che stabilì il ruolo del numero atomico nella tavola periodica degli elementi. Nella foto c'è Hans Geiger che era stato reclutato per i laboratori da Schuster. La foto di gruppo comprende anche Harold Roper Robinson, più tardi Vice-Cancelliere della Università di Londra, e il matematico Charles Galton Darwin, nipote dell'evoluzionista, che fu poi Master del Christ's College di Cambridge e in seguito direttore del National Physical Laboratory.

Pochi giorni dopo il suo arrivo a Manchester Rutherford cominciò a preparare e costruire nuovi apparati. Lui e Geiger, descritto dal contemporaneo Robinson come caratterizzato da una voglia esagerata di lavorare [3], inventarono un nuovo strumento per contare elettricamente le particelle e misurare la loro carica, notoriamente conosciuto come contatore Geiger-Muller. Robinson definì "una prodigiosa realizzazione tecnica" l'aver creato una tecnica di rivelazione così innovativa e l'aver pubblicato i risultati in pochi mesi [4]. Sembra che la necessità di questo strumento nascesse dal diverso atteggiamento di Rutherford e Geiger nei confronti dei metodi di rivelazione esistenti, metodi che costringevano gli scienziati a fissare per ore uno schermo di solfito di zinco e contare le scintillazioni. Geiger era notoriamente un demone al lavoro ed era capace di contare scintillazioni per tutta una notte, mentre Rutherford



Fig. 1. – Personale del Dipartimento di Fisica di Manchester nel 1912. Da sinistra a destra: File dietro: (in piedi) G. C. Darwin, J. A. Gray, D. Florance, J. M. Nuttal, Miss Margaret White, W. Kay, Miss May Leslie, H. P. Walmsley (parzialmente coperto), J. Chadwick, H. R. Robinson, A. S. Russel, W. Schrader, Y. Tuomokoski. Seconda riga: (seduti) H. Geiger, W. Makower, A. S. Schuster, E. Rutherford, R. Beattie, H. Stansfield, E. J. Evans. Fila davanti: (a terra) R. Rossi, H. G. J. Moseley, J. N. Pring, H. Gerrard, E. Marsden. (Lo stile dei nomi, in particolare la distinzione tra femminili e maschili rispecchia l'uso dei tempi a cui la foto si riferisce.)

ammetteva che dopo due minuti incominciava ad impazzire. Benché il primitivo contatore Geiger funzionasse, risultò troppo complicato per un uso regolare e Rutherford preferì e continuò a usare il metodo di conteggio delle scintillazioni, anche perché non ne doveva fare troppe lui stesso. L'assistente di laboratorio, William Kay (vedi fig. 1), ammiratissimo da Rutherford, aggiunse ai suoi molti talenti il fatto di essere diventato l'affidabile contatore di scintillazioni del dipartimento. Quando Rutherford riprese seriamente la ricerca nel 1918-19 alla fine della Grande Guerra, con la sua squadra di ricercatori virtualmente smantellata, Kay era praticamente l'unica persona rimasta e fece tutti i conteggi per Rutherford negli esperimenti che mostrarono che l'azoto poteva trasmutare in ossigeno attraverso collisioni nucleari. Kay e Rutherford furono i primi alchimisti di successo.

Nel settembre 1961 fu tenuta a Manchester la Conferenza del Giubileo di Rutherford [5] e quattro dei Colleghi di Rutherford, Sir Ernest Marsden, Sir Charles Darwin, Edward Neville da Costa Andrade e Niels Bohr parlarono in una speciale sessione commemorativa della conferenza. Questi quattro, assieme a Sir James Chadwick che non parlò a causa di una infezione alla gola [6], furono fotografati insieme quel giorno (vedi fig. 2) ed erano chiaramente di buon umore. I loro discorsi vennero registrati durante la conferenza e pubblicati in forma scritta in un volume speciale. Le registrazioni di quei discorsi, qui usate, sono una fonte affidabile di informazio-



Fig. 2. – I ragazzi sono tornati nella loro città. Sir James Chadwick, Sir Charles Galton Darwin, Sir Ernest Marsden, Edward Neville da Costa Andrade e Niels Bohr alla sessione commemorativa della Conferenza del Giubileo del 1961.

ne, perché testimonianze autentiche di personaggi coinvolti che contengono notizie informali, non riportate nelle relazioni scritte.

Una pratica consueta nel dipartimento era quella di arruolare gli studenti più abili nel laboratorio. Marsden era uno di questi e partecipava ai programmi di ricerca durante gli ultimi anni di direzione di Schuster. Partecipò alle misure atmosferiche con aquiloni volanti sulla vicina costiera di Glossop assieme alla meteorologa Miss Margaret White (vedi fig. 1), al compagno di studi William Eccles e allo studente di ingegneria e più tardi filosofo Ludwig Wittgenstein. Wittgenstein, assieme al costruttore locale di strumenti Charles Cooke, aveva progettato e costruito razzi per trasportare più in alto gli aquiloni, ma non c'è alcuna menzione che fossero mai stati usati nei dettagliati rapporti annuali. Marsden venne poi affidato alla supervisione della nuova recluta Hans Geiger per imparare a preparare le sorgenti radioattive. L'Accademia delle Scienze di Vienna aveva generosamente prestato a Rutherford e a Sir William Ramsey un ingente quantitativo di radio. Ramsey pensava di servire meglio la scienza custodendo tutto il radio nel suo laboratorio all' University College di Londra: una situazione imbarazzante che fu risolta dalla persuasiva diplomazia di Rutherford che produsse un'ulteriore prestito da Vienna di 450 mg di bromuro di radio spedito direttamente a Manchester. Questo sale di radio era stato raffinato nel decennio successivo alla scoperta del radio, nel 1898, da parte di Maria Curie nella pechblenda ricavata dalla miniera attorno a Jachimov in quella che ora è la Repubblica Ceca, ma che faceva allora parte dell'Impero Austro-Ungarico. Perciò era recente.

Robinson [3] definisce come “veloce abile azione di depistaggio” e “acquisto” le

motivazioni con cui Rutherford trattenne in uso il radio per il resto della sua vita. Il radio arrivò nel gennaio 1908, fu posto in soluzione e la responsabilità per la sua manipolazione e per il suo uso era controllata da Rutherford in persona, assieme al suo vecchio amico e collega radio-chimico, Bertram Borden Boltwood, di Yale, che si trovava a Manchester in congedo sabbatico. Rutherford perciò prese in consegna una sorgente radioattiva di intensità pari a un quarto di Curie circa, ossia  $10^{10}$  becquerel, un livello di intensità non usuale. C'è la tendenza a credere che tutti gli scienziati del tempo fossero imprudenti con la radioattività, tale credenza è dovuta al fatto che la leucemia fatale a Maria Curie era quasi certamente dovuta alle radiazioni e che i suoi quaderni erano ancora troppo radioattivi per essere manipolati. Ma Rutherford, Boltwood e Geiger andavano coi piedi di piombo riguardo ai pericoli come disse Marsden nel suo discorso nel 1961 [7]. Il radio era conservato, e i campioni preparati, in un capannone fuori dall'edificio dei laboratori, non considerato quest'ultimo luogo adatto per la conservazione. Forse altrettanto importante era il fatto che il prezzo del radio per gli ospedali era di £20000 al grammo [8] così che la riserva di Rutherford valeva parecchi milioni di sterline ai valori attuali: e questa era una delle ragioni di frizione tra lui e Ramsey. Pur essendone un protettivo proprietario, ritenne tuttavia possibile prestarne un poco alla Infermeria Reale di Manchester per la terapia del radio, continuando quella stretta collaborazione (a Manchester) tra fisica e medicina che era iniziata con Schuster che, poche settimane dopo la scoperta di Röntgen nel 1895, iniziò ad acquistare apparecchi a raggi X per scopi medici.

Marsden [7] era entusiasta delle qualità di Geiger come supervisore e insegnante. Robinson [3] fa lo stesso e descrive il ruolo di Geiger come "Cane da guardia e geloso custode degli apparecchi di ricerca", caratteristica che Geiger bilanciava brillantemente con la sua popolarità e il suo prestigio. Robinson ricorda il consiglio ricevuto da Geiger quando si trasportò a mano con grande pena una batteria di 2400 volt, alloggiata in delicati tubi di vetro per i test: "Mai toccare i connettori della batteria stando sul pavimento di cemento! Avere sempre una tavola di legno secco per starci sopra mentre si fanno aggiustamenti! Tenere sempre una mano dietro la schiena mentre si tocca una qualunque parte della batteria!". Poi prima che Robinson avesse il tempo di ringraziarlo per la gentile attenzione rivolta alla sua salute, Geiger continuò con (la sua) solennità e acutezza di pensiero: "Vedi, se prendi una brutta scossa, puoi perdere il controllo e non renderti conto di cosa stai facendo e al Prof. (Rutherford) non piacerebbe che si rompesse qualche cella".

Per qualche tempo, Geiger e Marsden lavorarono insieme sulle particelle  $\alpha$  ed ebbero qualche difficoltà ad ottenere risultati consistenti dal loro "cannone" di particelle  $\alpha$ . Questo apparecchio era un tubo di vetro lungo 4 metri e mezzo, 1 pollice e mezzo di diametro, nel quale erano collocati dei collimatori di ottone, per collimare le particelle  $\alpha$  emesse da un campione di radio ad una estremità del tubo. Il sottile fascio collimato usciva dall'estremità opposta. Geiger aveva già fatto dei calcoli su ciò che allora veniva chiamato scattering "collettivo", più tardi scattering "multiplo" delle particelle  $\alpha$  da parte degli elettroni atomici e Rutherford pensava che i problemi col tubo potessero essere causati da scattering collettivi su protuberanze molecolari. Sia che Rutherford facesse l'esperimento lui stesso, sia che dirigesse altri sperimentatori,

l'apparato e le procedure erano progettate con intuito e previdenza. L'esperimento doveva essere condotto con la massima cura, i risultati controllati e ricontrollati e nulla doveva essere tralasciato.

Marsden, nella versione registrata, racconta come avvenne l'esperimento originale dello scattering di particelle  $\alpha$ . "Marsden! È tempo che lei faccia qualcosa di pulito." Rutherford gli aveva detto. "Vada e veda se può trovare particelle  $\alpha$  riflesse dai metalli".

Secondo Marsden, Rutherford era preoccupato per le difficoltà tecniche dell'esperimento con le particelle  $\alpha$ . Non era un'intuizione, ma solo qualcosa che lo disturbava nell'apparato sperimentale e pensava che esso si sarebbe potuto usare meglio nel caso in cui si trattasse proprio di una riflessione. Rutherford si distingueva dagli altri per questa idea che ogni problema poteva essere usato a proprio vantaggio. Nel 1874, il predecessore di Schuster, Balfour Steward era supervisore di J. J. Thomson mentre questi cercava di misurare la EMF (forza elettromotrice) di una cella usando un galvanometro a deflessione. I risultati sono riportati sui diari del laboratorio didattico compilati a mano da Steward [9]. Nella stanza accanto lo studente Sig. Morgan faceva scaricare un rocchetto di Ruhmkoff, e così vanificava i tentativi di Thomson di ottenere delle deflessioni consistenti del suo galvanometro ad ago. Questa bobina, chiamata in seguito "bobina a scintilla" generava impulsi d'alta tensione (oltre 100000 volt) che potevano produrre enormi scintille tra i terminali. Il problema fu risolto facendo tacere la bobina del Sig. Morgan, invece di capire che lo stesso Sig. Morgan avrebbe potuto lanciare "senza fili" il segnale del pranzo ed eventualmente scoprire le onde radio 12 anni prima di Heinrich Hertz. Preoccupandosi per un problema in un tubo-cannone e imboccando la via di cercare di usarlo a proprio vantaggio, Rutherford, con l'aiuto di Geiger e Marsden, scoprì il nucleo.

### 3. Il crescendo della scoperta

Marsden procurò dei campioni lucidati di diversi metalli, dall'alluminio al piombo, e assieme a Geiger cominciò a bombardare le superfici con particelle  $\alpha$ , contando le riflessioni col metodo delle scintillazioni. Facciamo raccontare a Marsden in persona cosa accadde poi [5]: "Sapevo perfettamente che le mie quotazioni, come si dice familiarmente, sarebbero cresciute, se ci fosse stato un qualche effetto ed io l'avevo mancato, così misi un impegno speciale nel provare ad ottenerlo. Curiosamente in pochi giorni trovai che le particelle  $\alpha$  potevano essere riflesse da una superficie metallica solo se uno usava una sorgente abbastanza intensa, perché il numero di quelle riflesse era una frazione molto piccola di quelle incidenti."

Se qui sembra che Marsden nel 1961 stia rubando tutto il merito personale ai defunti Geiger e Rutherford, la sua versione è confermata da Robinson [3] che, nella sua lezione al Rutherford Memorial del 1942, raccontò come "Il contributo più fruttifero di Rutherford alla fisica atomica generale nacque direttamente dai risultati di un problema sperimentale, che era stato affidato a Ernest Marsden, uno dei primi tirocinanti di Manchester". Robinson prosegue citando lo stesso Rutherford: "Fui

d'accordo con Geiger che il giovane Marsden, che lui aveva istruito nei metodi della radioattività, dovesse iniziare una ricerca".

Rutherford faceva quotidianamente un giro dei progetti del laboratorio e nel pomeriggio tutti sedevano attorno alla tavola da tè [3], situata nel laboratorio di addestramento della radioattività. Era un momento di relax e di chiacchiere, che diventava spesso un colloquio informale con Rutherford, che serviva il tè e i biscotti oltre che procurarli. È sicuro che Rutherford fosse costantemente informato dei progressi di Geiger e Marsden, conoscendo entro minuti o ore cosa avevano misurato. Se Geiger e Marsden si incuriosivano per ciò che vedevano, ne avrebbero parlato durante il tè. Gli dissero che dalle loro analisi l'effetto osservato variava col peso atomico come  $A^{3/2}$  e non secondo  $A^{1/2}$ , come per lo scattering collettivo, e perciò qualunque cosa stessero osservando doveva essere un fenomeno diverso. Rutherford li invitò a completare l'esperimento in una forma adatta per la pubblicazione, cosa che essi fecero rapidamente.

Come Robinson fece notare [3], Rutherford era tutt'altro che indifferente alle questioni di priorità della scoperta—gli piaceva arrivare per primo e perdere meno tempo possibile nel farlo.

La dipendenza da  $A^{3/2}$ , allora una osservazione empirica dimostrata in questa prima pubblicazione, richiede una qualche spiegazione. Oggigiorno si sa che lo scattering è proporzionale al quadrato del numero atomico,  $Z^2$ . A quel tempo si pensava che  $Z$  potesse essere eguagliato a  $A/2$  e questo implica una dipendenza dei dati da  $Z^{3/2}$ . L'approssimazione era sufficiente, vista la qualità dei dati. La ragione per cui si osservava una legge di potenza diversa da  $A^2$  era dovuta al fatto che quando si verificano scattering a grandi angoli, le particelle  $\alpha$  possono interagire ed essere riflesse da qualunque atomo in un sottile strato superficiale del metallo. Alcune di queste  $\alpha$  sono assorbite per perdita di energia secondo la curva di Bragg e questo introduce una dipendenza in più nella radice quadrata di  $Z$ , così che complessivamente la dipendenza appare secondo la legge di potenza  $3/2$ .

Il fatto curioso, la riflessione delle particelle  $\alpha$ , fu successivamente paragonato da Rutherford a un proiettile di 15 pollici riflesso da un foglio di carta velina. L'analogia, benché suggestiva, non è del tutto calzante perché lo scattering collettivo implicava che le  $\alpha$  venissero assorbite, anche se non riflesse, da uno strato sottile alla superficie del metallo. Un proiettile scagliato in un recipiente di melassa potrebbe essere una analogia migliore, benché meno suggestiva di un foglio di carta velina.

La pubblicazione epocale "*On a diffuse reflection of the  $\alpha$ -particles*" fu presentato per la prima volta ad un meeting della Società Filosofica e Letteraria di Manchester (conosciuta come la "Lit and Phil") e poi letta davanti a un meeting della Royal Society di Londra il 17 giugno 1909 da Rutherford in persona [10] invece che da Geiger e Marsden, poiché allora solo i colleghi soci potevano presentare le pubblicazioni. Il lavoro presentava essenzialmente i fatti sperimentali, e traeva poche conclusioni su possibili fenomeni nuovi, né veniva proposto alcun confronto teorico. L'affermazione più sorprendente fatta dagli autori (convertita in unità moderne) era che bastavano  $0,6 \mu\text{m}$  di oro per deflettere alcune particelle  $\alpha$  di più di  $90^\circ$ , un effetto che richiederebbe un campo magnetico di 10000 tesla. Questa era un'affermazione profonda e preconizzava la necessità conclusiva di introdurre una nuova forza della natura per



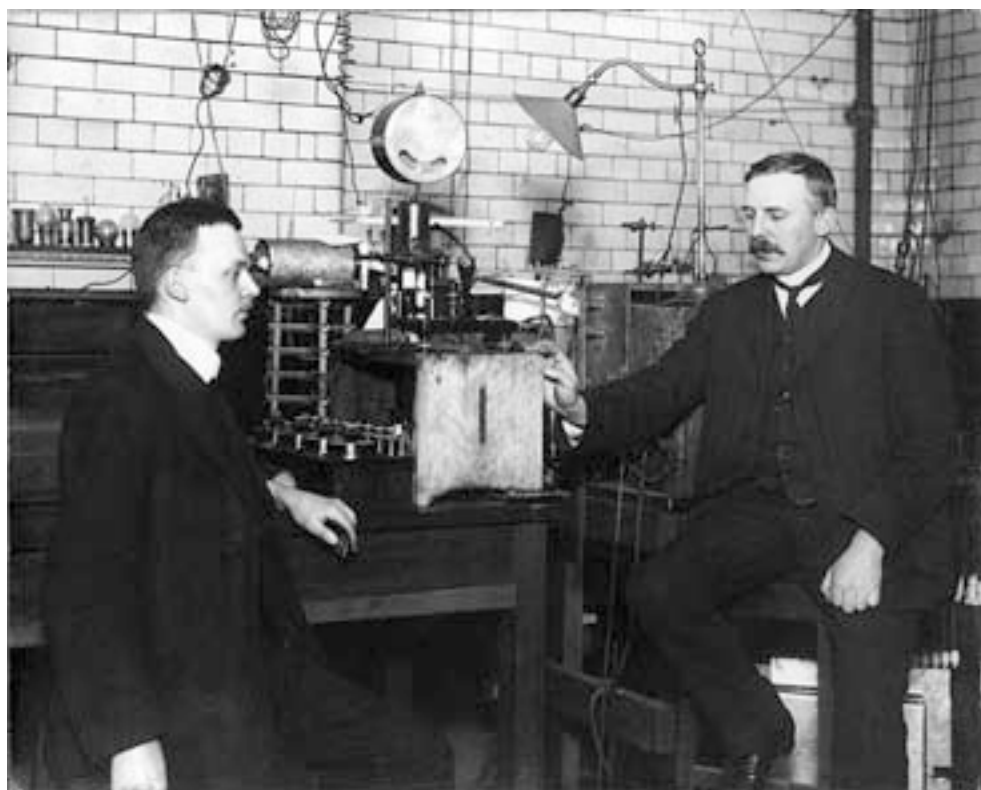


Fig. 3. – Hans Geiger e Earnest Rutherford in posa con le apparecchiature nei laboratori di fisica di Manchester, 1910 circa.

la comprensione del fenomeno. Il confronto con un forte campo magnetico inviò un messaggio forte, benché pochi lo comprendessero allora. Era in ogni caso erroneo, come mostrò in seguito la interpretazione di Rutherford. A quel tempo gli atomi (di oro) erano considerati abbastanza omogenei e solo un campo magnetico era capace di piegare le particelle  $\alpha$  su un percorso circolare e quindi di invertirne la direzione di moto. Un campo elettrico uniforme come quello del modello atomico a “plum cake” di Thomson poteva solo deflettere le particelle di lato ma non all’indietro. Per di più Geiger aveva calcolato che l’angolo più probabile di scattering collettivo su elettroni in questo spessore di oro era meno di un grado. La distribuzione di probabilità per il caso di deflessioni di  $90^\circ$  o più diventava pressoché nulla con questo meccanismo, mentre la frequenza misurata era  $1/20000$ . Il lavoro si concludeva con alcune considerazioni sulla motivazione originale e precisamente che alcune particelle  $\alpha$  a incidenza radente erano infatti deflesse dalla superficie e di conseguenza il fascio in uscita dal tubo-cannone conteneva non solo particelle che avevano traversato il tubo direttamente, ma anche alcune che erano rimbalzate sulle pareti.

Appartiene approssimativamente a questo periodo la famosa foto (fig. 3) dove

Geiger e Rutherford sono in posa nel laboratorio. La versione qui mostrata è digitalizzata dalla foto originale sul retro della quale è scritto “Dall’edificio di H. R. Stansfeld” (vedi fig. 1 per Stansfeld).

Rutherford andò via per pensare e spese il resto del 1909 e l’intero 1910 sul problema. Nel febbraio 1911 presentò la sua interpretazione alla Lit and Phil di Manchester, prima di sottomettere una versione completa della sua pubblicazione “The Scattering of  $\alpha$  and  $\beta$  Particles by Matter and the Structure of the Atom” al “Philosophical Magazine” [11]. In questo lavoro di 19 pagine Rutherford presentava la teoria di quello che si chiama “lo scattering Rutherford”. Egli dedusse che l’atomo era la sede di un intenso campo elettrico che poteva causare la deflessione di una particella  $\alpha$  a grande angolo in un singolo urto atomico, e non per scattering collettivo. Egli mostrò che i dati erano consistenti con un modello dell’atomo che aveva una carica positiva  $Ne$  in una piccola regione al centro dell’atomo, e una carica negativa  $-Ne$  distribuita uniformemente su tutto il volume atomico. Calcolò che una particella  $\alpha$  viaggiando a  $2,09 \times 10^9 \text{ cm s}^{-1}$  contro un atomo con  $N = 100$ , si sarebbe fermata a una distanza di 34 fm dalla carica centrale prima di tornare indietro. La distanza di 34 fm è significativa perché la teoria di Rutherford che descriveva i dati era basata sullo scattering da parte di una forza elettrica tra due punti separati da una distanza  $r$ , che variava come  $1/r^2$  (Coulomb). Questo significava che ogni scostamento da un nucleo puntiforme doveva essere molto meno di 34 fm ed in più anche che la forza nucleare, benché sconosciuto a tutti allora, non poteva contribuire, e doveva essere confinata nell’oro in un raggio di meno di 8 fm.

Ma Geiger e Marsden avevano fatto misure su un insieme di metalli dal piombo all’alluminio. Per l’alluminio, con un numero atomico di 13, le particelle  $\alpha$  sarebbero arrivate a 4,4 fm dal centro del nucleo, che noi sappiamo avere un raggio di circa 3,4 fm. Tra le deflessioni a grande angolo, quelle definite a  $90^\circ$  o più, solo un numero molto piccolo sarebbe stato deviato fino a  $180^\circ$  e così la presenza della forza nucleare e il suo effetto potenzialmente enorme, rimaneva beffardamente irraggiungibile.

Marsden si era laureato nel 1911 ed era stato assunto come ricercatore. Continuò a lavorare con Geiger e su suggerimento di Rutherford entrambi intrapresero uno studio sistematico dello scattering  $\alpha$  a grande angolo, ampliando il campione di bersagli fino al carbonio e variando la velocità delle particelle  $\alpha$ . Rutherford aveva costruito la sua nuova teoria sulla base di un ristretto, seppur convincente, campione di dati. La teoria aveva potere predittivo e il passo successivo sarebbe stato quello di ampliare lo scopo delle misure e sottoporre la teoria alla verifica sperimentale. Sul carbonio la distanza di massimo avvicinamento sarebbe stata di solo 2 fm, inferiore al raggio nucleare del carbonio di 2,6 fm. La parte sostanziale del lavoro fu pubblicata nel 1913 nel “Philosophical Magazine” [12] ed anche come comunicazione all’Accademia delle Scienze di Vienna, cortese riguardo per il prestito del radio da parte dei viennesi. L’esperimento costituiva un successo spettacolare ed il riassunto del lavoro elenca cinque test in cui la teoria di Rutherford supera il confronto sistematico coi dati sperimentali.

- 1) La distribuzione dell’angolo di scattering  $\phi$  è  $1/\sin^4(\phi/2)$ .
- 2) Il numero di particelle diffuse è proporzionale allo spessore del bersaglio.

- 3) Lo scattering per atomo varia con il quadrato del peso atomico.
- 4) L'entità dello scattering è approssimativamente proporzionale alla quarta potenza dell'inverso della velocità della particella  $\alpha$ .
- 5) Il numero di cariche elementari al centro del nucleo è uguale a metà del peso atomico.

Sarebbe stato compito del futuro stabilire che il punto 5 ed anche il 3 erano solo approssimati. È interessante domandarsi se Geiger e Marsden vedessero o avrebbero potuto vedere l'effetto delle forze nucleari nei loro dati sul carbonio. Essi affermano che entro l'incertezza sperimentale (la tabella VI nella loro pubblicazione) i dati dall'oro al carbonio sono consistentemente proporzionali ad  $A^{3/2}$ . La teoria di Rutherford dà una dipendenza da  $Z^2$  ( $\simeq A^2$ ) e se in più si applica una correzione di  $\sqrt{A}$  in accordo con la curva di Bragg allora conosciuta, il risultato è  $A^{3/2}$ . Anche correggendo i dati numericamente, scalando da  $A^2$  a  $Z^2$ , non cambia le conclusioni originali. Tuttavia il risultato sul carbonio è sospetto: un 30% più in alto dell'andamento complessivo, e quello dell'oro è fuori misura più basso del 20%. Il massimo che possiamo dire col senno di poi è che la forza nucleare non fu imprudentemente ignorata nei dati, era sepolta nell'errore sperimentale e possibilmente nelle incertezze relative alla correzione di Bragg.

Benché il suo salario fosse sorprendente per gli standard di allora delle Università inglesi, Rutherford non emulava il suo predecessore nella sua ossessione per i beni accessori. Acquistò un'automobile, ma non entrò in competizione con la Rolls-Royce di Schuster, che si poteva ammirare parcheggiata presso l'Università nonostante il proprietario fosse in pensione. Nella foto seguente (fig. 4), che è la parte sinistra di una foto composta da due metà, Rutherford indossa lo stesso abito e le stesse scarpe della foto in coppia con Geiger (fig. 3). Anche la cravatta, panciotto, orologio e catena sono identici. La storia non ci informa se fosse abituato a vestire sempre precisamente così, o se si trattava dello stesso giorno in cui fu preso il ritratto in laboratorio con Geiger.

#### 4. Nuove variazioni

Le apparecchiature di questi esperimenti, assieme al radio, furono ereditate da Cambridge quando Rutherford lasciò Manchester nel 1919. James Chadwich, in precedenza studente di Manchester, raggiunse il nuovo gruppo di Rutherford e gli fu subito affidato il compito di raffinare il lavoro di Geiger e Marsden, specialmente usando bersagli di atomi più leggeri. Nel 1921, Chadwich e una stella nascente della fisica canadese, Etienne Bieler, in congedo dalla McGill, misurarono lo scattering delle particelle  $\alpha$  su idrogeno [13], garantendo così un'interazione a corta distanza per gli scattering a grande angolo. Si osservava chiaramente a grande angolo una spettacolare deviazione da ciò che ci si aspettava sulla base della teoria di scattering coulombiano di Rutherford, sia nella distribuzione angolare che nel numero di particelle deviate, che erano "molte volte più numerose che per nuclei puntiformi". Non avendo ancora abbastanza informazioni per introdurre il concetto di una nuova forza della natura, l'interpretazione convergeva sulla forma del nucleo carico, preferibilmente uno sferoide



Fig. 4. – Ernest Rutherford davanti alla sua casa di Wilmslow Road, a Manchester, con la sua nuova Wolseley-Siddeley a 15 cavalli.

oblato. Nella discussione finale Chadwich e Bieler dichiaravano: “Questi esperimenti non sembrano gettare alcuna luce sulla natura della legge di variazione delle forze al centro della carica elettrica, ma mostrano semplicemente che queste forze sono di grande intensità.”

Passarono altri sei anni prima che Chadwich, questa volta con lo stesso Rutherford, si ponesse di nuovo il problema. Nel frattempo Bieler era tornato alla McGill e, distaccato in Australia con una spedizione geofisica, venne colpito da una polmonite fatale nel 1929. Il nuovo esperimento aveva un ingegnoso, doppio sistema di collimatori circolari e concentrici di grafite, che non solo definivano l’angolo di scattering, ma anche il volume standard del bersaglio, in questo caso elio gassoso. I risultati [14] confermavano la violazione dello scattering coulombiano, sebbene la discussione fosse ancora incentrata sulla forma della carica nucleare o la presenza di effetti magnetici e non su una nuova forza. Tuttavia Rutherford e Chadwich concludevano con l’osservazione “A piccole distanze, forze addizionali molto intense entrano in gioco”. La nozione di “forza forte” era entrata per la prima volta nella fisica del nucleo.

La sequenza di eventi era ora completa. Marsden, con la supervisione di Geiger l’aveva iniziata trovando inaspettatamente una gran quantità di scattering a grandi angoli [10]. Entro due anni Rutherford aveva formulato una teoria che ancor oggi

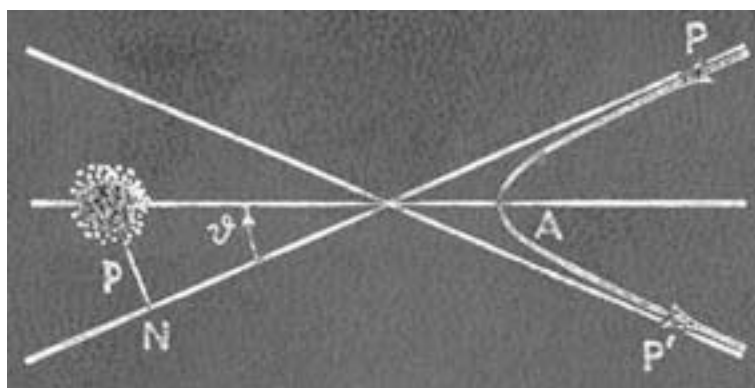


Fig. 5. – La figura 1 del lavoro di Rutherford riprodotta in oro nel frontespizio della pubblicazione degli atti della Conferenza del Giubileo.

è valida [11]. La teoria può essere sviluppata usando la meccanica classica o quella quantistica, principalmente per la scelta fortuita di una particella senza spin (le particelle  $\alpha$ ) immessa nella teoria. Geiger e Marsden poi confermarono tutte le previsioni ancora non verificate della teoria [12]. Dieci anni più tardi, dapprima Chadwick e Bieler [13] e poi Rutherford e Chadwick [14] condussero proprio lo stesso esperimento usando proprio la stessa sorgente di particelle  $\alpha$  che era stata usata a Manchester, ma con un apparato più raffinato, per estendere le misure agli elementi più leggeri, elio e idrogeno, trovando così la regione dove la teoria di Rutherford falliva e, allo stesso tempo, portando alla luce la forza forte.

Il carattere specifico di questa tecnica sperimentale e la via specifica per la scoperta—lo scattering a grande angolo—è stato usato ancora ripetutamente nella fisica nucleare e delle particelle elementari fino ai nostri giorni. Il modo in cui i partoni (quark e gluoni) furono scoperti come costituenti dei protoni e dei neutroni è stato essenzialmente lo stesso, usando come fascio un elettrone invece della particella  $\alpha$ . Le variabili cinematiche usate nell'urto profondamente inelastico sono ostiche per un principiante ed una di queste,  $y$ , si usa per semplificare l'espressione teorica della probabilità di scattering. A parole è conosciuta come la frazione di energia persa dalla particella incidente, un elettrone nello scattering profondamente inelastico, o una particella  $\alpha$  nel caso dello scattering Rutherford. C'è una connessione diretta tra  $y$  e la figura 1 del lavoro di Rutherford [11], riprodotta, placcata in oro, nella pagina di copertina degli atti della sessione commemorativa della Conferenza del Giubileo [5]. In questo diagramma, mostrato qui in fig. 5, per nuclei pesanti come l'oro, l'angolo  $\vartheta$  è legato a  $y$  dalla semplice equazione  $y = (1/2)(1 + \cos 2\vartheta)$ . Per deflessione nulla  $\vartheta = 90^\circ$  e  $y = 0$ , per una deflessione massima di  $180^\circ$  nel laboratorio,  $\vartheta = 0^\circ$  e  $y = 1$ .

## 5. Finale

Esaminando in profondità la storia, Manchester, come culla della fisica nucleare, deve ringraziare l'organo di governo dell'Università per aver trovato un accordo

nell'attirare Rutherford con un grosso salario e finanziare la sua ricerca senza porre condizioni, con un fondo garantito di £420, circa £80000 attuali. Robinson [3] considerava modesta questa cifra e si rammaricava nel ricordare che i salari dei giovani ricercatori (tra 120 e 150 sterline l'anno) erano bassi, specialmente perché la parola "giovane" era interpretata in modo elastico. Una trovata recente della politica scientifica in Inghilterra consiste nel far dipendere una parte del finanziamento da una stima soggettiva a priori dell'impatto benefico sulla società dei risultati della ricerca. Se questo schema fosse stato adottato nel passato, le scoperte dell'elettrone e del nucleo atomico, la struttura del DNA e l'invenzione del Word Wide Web non avrebbero soddisfatto questi criteri di finanziamento in Gran Bretagna. Tuttavia la maggior parte di queste scoperte sostengono oggi le economie del mondo.

J. J. Thomson, uno dei molti figli di Manchester, fece nel 1934 un breve film per l'Istituto di Ingegneria Elettrica [15], discutendo il ruolo dell'elettrone nel contesto della depressione economica di quel tempo e della grave disoccupazione: "Ogni nuova scoperta contiene il germe di una nuova industria. In America, la direttiva che le grandi fabbriche di apparecchiature elettriche danno ai membri dei loro dipartimenti di ricerca, è di scoprire qualcosa, non importa cosa, e di lasciare ad altri dipartimenti il compito di ricavarne denaro. L'esperienza dimostra che in generale questo accade. Le scoperte scientifiche sono un modo molto efficiente di creare lavoro ed è nei laboratori piuttosto che nelle aule del Parlamento che un rimedio (alla disoccupazione) si troverà." Lo stesso si può dire del nucleo, che fu scoperto a causa del disappunto di Rutherford per le prestazioni dei suoi cannoni per particelle  $\alpha$ . Attualmente la Francia produce l'80% della sua energia elettrica da sorgenti nucleari ed esporta energia. L'Inghilterra, importatrice di energia, genera il 20% della sua energia dal nucleo. L'affermazione di Thomson della connessione tra scoperte e posti di lavoro era perfetta.

Geiger, Marsden e Rutherford non solo cambiarono il volto della fisica, ma lo fecero in un'atmosfera gioiosa a dispetto della città in cui lavoravano che non attirava gente da fuori in quei tempi grami, come rifletteva Mark Twain: "Mi piacerebbe vivere a Manchester, Inghilterra. Il passaggio da Manchester alla morte sarebbe impercettibile." Rutherford al contrario, in una lettera a Geiger il 2 settembre 1932, scrisse [16]: "Erano giorni felici a Manchester e abbiamo lavorato meglio di quanto ci rendessimo conto."

## Bibliografia

- [1] "Report of the Council to the Court of Governors", The Owens College, Manchester, 2nd October 1900.
- [2] "Report of the Council to the Court of Governors", The Victoria University of Manchester, 17th November 1915.
- [3] ROBINSON H. R., *Rutherford: life and work to the year 1919, with personal reminiscences of the Manchester period, in Rutherford at Manchester*, e cura di BIRKS J. B. (Heywood & Co., London) 1962, pp. 53-86. Trascrizione della prima "Rutherford Memorial Lecture of the Physical Society", presentata il 6 novembre 1942.
- [4] RUTHERFORD E. e GEIGER H., "An Electrical Method of Counting the  $\alpha$ -Particle from Radioactive Substances", *Proc. R. Soc. A*, **81** (1908) 141-161.

- [5] BIRKS J. B. (Curatore), *Rutherford at Manchester: Commemorative session of the Rutherford Jubilee Conference held in Manchester in September 1961* (Heywood & Co. Ltd, London) 1962.
- [6] Comunicazione privata di Lord Flowers che, assieme a BIRKS J. B., organizzò la “Rutherford Jubilee Conference”.
- [7] Registrazione audio del discorso *Rutherford at Manchester* di Sir Ernest Marsden, un rapporto più informale della versione scritta della sessione commemorativa della *Rutherford Jubilee Conference* tenuta Manchester nel settembre del 1961, a cura di BIRKS J. B. (Heywood & Co. Ltd, London) 1962.
- [8] *London Topics. Price of radium, The Sydney Morning Herald*. 4 Luglio, 1929.
- [9] “Notebook of the Teaching Laboratory Supervisor, Professor Balfour Stewart”, John Rylands University of Manchester Library, Physics archives collection.
- [10] GEIGER H. e MARSDEN E., “*On a Diffuse Reflection of the  $\alpha$ -Particles*”, *Proc. R. Soc. A*, **82** (1909) 495.
- [11] RUTHERFORD E., “*The Scattering of  $\alpha$  and  $\beta$  Particles by Matter and the Structure of the Atom*”, *Philos. Mag. Ser. VI*, **21** (1911) 669.
- [12] GEIGER H. e MARSDEN E., “*The Laws of Deflexion of  $\alpha$ -Particles through Large Angles*”, *Philos. Mag. Ser. VI*, **25** (1913) 604-623.
- [13] CHADWICK J. e BIELER E., “*The Scattering of  $\alpha$  and  $\beta$  Particles by Matter and the Structure of the Atom*”, *Philos. Mag. Ser. VI*, **42** (1921) 923.
- [14] RUTHERFORD E. e CHADWICK J., “*The Scattering of  $\alpha$ -Particles by Helium*”, *Philos. Mag. Ser. VII*, **42** (1921) 605.
- [15] “*Sir Joseph J. Thomson O. M., F. R. S., Mathematical Physicist*”, un filmato di Sir Joseph Thomson, girato il 18 ottobre 1934 dall’Institution of Electrical Engineers.
- [16] EVE ARTHUR S., *Rutherford: Being the Life and Letters of the Rt. Hon. Lord Rutherford* (Cambridge University Press) 1939.