

ENRICO FERMI E LA SCOPERTA DEGLI EFFETTI DELLE SOSTANZE IDROGENATE SULLA RADIOATTIVITÀ INDOTTA DAI NEUTRONI

ALBERTO DE GREGORIO

Università di Roma

La scoperta della radioattività artificiale¹

Si deve a Ernest Rutherford la scoperta, all'inizio del 1919, che per azione delle particelle alfa i nuclei di azoto possono disintegrarsi ed emettere protoni². Il 16 febbraio del 1932, il giorno prima che fosse annunciata la *Possible Existence of a Neutron*³, un collaboratore di James Chadwick, Norman Feather, osservò alcune tracce prodotte nella camera di Wilson dalla radiazione penetrante del berillio; la seguente settimana egli le interpretò, correttamente, come il risultato di un nuovo tipo di disintegrazioni dei nuclei di azoto, provocate non più dalle particelle alfa, ma dai neutroni che queste liberavano dal berillio. Comunicata da Rutherford alla *Royal Society* il 18 marzo⁴, a maggio la scoperta di Feather fu pubblicata sui *Proceedings*⁵. All'inizio degli anni Trenta erano disponibili soltanto sorgenti di neutroni piuttosto deboli (per circa cinque ordini di grandezza rispetto a quelle di particelle alfa), ma d'altra parte, come osservò lo stesso Feather⁶, per i neutroni il rapporto tra il numero di disintegrazioni ottenute e quello di semplici urti elastici è di gran lunga superiore – di circa trecento volte – rispetto a quanto avviene nell'irradiazione mediante particelle alfa.

Nel gennaio del 1934 Frédéric Joliot e Irène Curie, nel corso di esperimenti progettati per meglio indagare un fenomeno che era stato dibattuto già a ottobre in occasione del Settimo Congresso Solvay – vale a dire che l'alluminio (che nel frattempo si era scoperto condividere tale proprietà con altri due elementi leggeri: il boro e il magnesio) se irradiato con particelle alfa emette positoni⁷ – dimostrarono

¹ Per una esposizione più dettagliata di quanto contenuto in questa prima parte dell'articolo si veda A. De Gregorio, *Caso e necessità nella scoperta da parte di Fermi delle proprietà dei neutroni lenti*, in «Il Giornale di Fisica», XLII, 4 (2001), pp. 195-208.

² E. Rutherford, *Collision of α Particles with Light Atoms. IV. An Anomalous Effect in Nitrogen*, in «Phil. Mag.», 37 (1919), pp. 581-587.

³ J. Chadwick, *Possible Existence of a Neutron*, in «Nature», 129 (1932), p. 312.

⁴ Un riassunto dell'intervento di Rutherford è contenuto in E. Rutherford, *Origin of the Gamma Rays – Radiation from Beryllium and the Neutron*, in «Nature», 129 (1932), pp. 457-458.

⁵ N. Feather, *The Collisions of Neutrons with Nitrogen Nuclei*, in «Proc. Roy. Soc.», 136 (1932), pp. 709-727.

⁶ Ivi, p. 723.

⁷ F. Joliot e I. Curie, *Rayonnement pénétrant des atomes sous l'action des rayons α* , in *Structure et propriétés des noyaux atomiques, Rapports et discussion du 7^{me} Conseil de Physique tenu à Bruxelles du 22 au 29 octobre 1933*, Gauthier-Villars, Paris 1934, pp. 152-154.

che l'emissione di elettroni positivi persiste anche dopo che è stata rimossa la sorgente delle particelle alfa e si attenua nel tempo secondo una legge esponenziale: i due fisici francesi avevano scoperto la radioattività artificiale⁸. Si trattava di una scoperta di importanza fondamentale, che apriva nuove prospettive di ricerca: «Des radioactivités durables, analogues à celles que nous avons observé, peuvent sans doute exister dans le cas de bombardement par d'autres particules»⁹.

La radioattività indotta dai neutroni

A Roma, fin dal 1929 era divenuta chiara l'importanza di indirizzare le ricerche verso lo studio del nucleo, al quale furono destinate sempre maggiori energie, in precedenza riservate alla spettroscopia atomica. A partire dall'autunno del 1931, Franco Rasetti trascorse un anno a Berlino per apprendere da Lise Meitner nuove tecniche sperimentali con cui indagare la radioattività; per specializzarsi sulle tecniche di radiochimica, Oscar D'Agostino, su presentazione di Enrico Fermi, si recò all'inizio del 1934 presso l'Institut du Radium di Madame Curie, istituto dal quale proprio in coincidenza con l'arrivo del chimico del gruppo di via Panisperna sarebbe stata annunciata la radioattività artificiale¹⁰.

Dopo che i Joliot-Curie ebbero pubblicato la loro scoperta, a Roma si intrapresero studi per esaminare i nuovi fenomeni e Fermi indagò se anche i neutroni fossero efficaci nel produrre la radioattività artificiale:¹¹ «As a matter of fact, neutrons were already known to be an efficient agent for producing some nuclear disintegrations»¹². Il 25 marzo del 1934, in una breve comunicazione dal titolo *Radioattività*

⁸ I. Curie e F. Joliot, *Un Nouveau type de radioactivité*, in «C. R. Acad. Sci.», 198 (1934), pp. 254-256.

⁹ «Alcune forme di radioattività protratte nel tempo, analoghe a quella che abbiamo osservato, possono senza dubbio esistere nel caso di bombardamento mediante altri tipi di particelle» (questa e le successive dal francese sono mie traduzioni), ivi, p. 256.

¹⁰ D'Agostino ricorda che «non mi fu difficile capire da mille piccolissimi indizi che la mia venuta aveva destato qualche perplessità. Allora non seppi spiegarmi il perché. Ignoravo l'importantissimo lavoro di ricerca che si stava conducendo [...] attorno alla radioattività», O. D'Agostino, *L'era atomica incominciò a Roma nel 1934* (1^a puntata, in «Candido», XVI, 23, 8 giugno 1958, p. 24).

¹¹ Vorrei richiamare l'attenzione su una lettera che, lo scorso ottobre, ho potuto consultare tra i documenti del Fondo D'Agostino (fondo conservato presso l'Istituto tecnico per geometri «Oscar D'Agostino» di Avellino), a firma di Fermi, Rasetti, Amaldi e Segrè (e pubblicata in G. Pugliese, *Oscar D'Agostino. Il chimico del gruppo di via Panisperna*, Pergola Editore, Avellino 1988, p. 77); nella lettera, datata 9 febbraio 1934, Fermi e collaboratori scrivono: «Stiamo mettendo su dei contatori per ripetere le esperienze di Joliot sulla radioattività artificiale con emissione di positroni, cercando se non è possibile separare nei pochi minuti di vita media il prodotto radioattivo e instabile che si dovrebbe formare». Sono indicazioni importanti, perché sembrano testimoniare che, ancora all'inizio di febbraio, a via Panisperna si pensasse unicamente a ripetere lo stesso genere di esperimenti condotti a Parigi (irradiare i campioni mediante particelle alfa e osservarne l'emissione di positroni), piuttosto che a progettarne di nuovi che prevedessero l'impiego di neutroni. Da questa prospettiva sarebbe interessante capire cosa abbia spinto Fermi e collaboratori a modificare rapidamente i loro piani. Non è tuttavia da escludere la possibilità che il gruppo di Fermi, pur avendo già intenzione di indagare l'effetto dei neutroni, nello scrivere a D'Agostino, ospite dell'Institut du Radium, preferì non farne parola per timore della concorrenza dei Joliot.

¹² E. Fermi, *Artificial Radioactivity Produced by Neutron Bombardment*, lezione Nobel riportata in Id., *Note*

indotta da bombardamento di neutroni, Fermi annunciò di aver scoperto che i neutroni erano in grado di produrre radioattività artificiale nell'alluminio e nel fluoro¹³. Nel caso degli esperimenti dei coniugi Joliot, la particella alfa era assorbita dal nucleo, il quale a sua volta espelleva un protone e si trasformava in un nucleo radioattivo che emetteva positoni (e neutrini); nel caso dei neutroni, avviene qualcosa di simile: il nucleo bersaglio assorbe il neutrone ed emette una particella, diviene radioattivo ed emette un elettrone (più un antineutrino). Una notevole differenza è che, grazie alla loro neutralità elettrica e al fatto che non risentono della repulsione coulombiana dei nuclei, i neutroni rispetto alle particelle alfa incidenti presentano il grande vantaggio di permettere l'attivazione anche di nuclei pesanti. Il gruppo di via Panisperna poté intraprendere perciò un'indagine sistematica che lo portò infine a occuparsi dell'uranio. Fu proprio nello studiare l'ultimo elemento della tavola di Mendeleev che Fermi e collaboratori pensarono erroneamente, pur se con molta cautela, di aver scoperto due nuovi elementi «transuranici»: l'«ausonio» e l'«esperio», rispettivamente di numero atomico 93 e 94; dai documenti conservati presso la Domus Galilæana, risulta che fin dal maggio del 1934 il gruppo romano usava per questi due ipotetici elementi i simboli «Ao» e «Hs»¹⁴.

Trascorse le vacanze estive, a via Panisperna si iniziò a indagare sistematicamente su quali fattori ambientali potessero influire sull'entità dell'attivazione. Divenne necessario quantificare meglio l'attività indotta, rispetto alla generica classificazione in «debole», «media» e «forte» fino ad allora adottata, e si scelse come attività campione quella con tempo di dimezzamento di circa due minuti prodotta dai neutroni nell'argento¹⁵. Si manifestò però un'incomprensibile variabilità dei risultati sperimentali: ad esempio, se l'irradiazione mediante i neutroni avveniva su tavoli di legno, sembrava che gli effetti indotti nell'argento fossero maggiori di quando il campione era irradiato sopra ripiani di marmo!

Fermi, impegnato all'inizio di ottobre in un convegno internazionale a Londra, tornò a Roma dopo aver partecipato al congresso della Società italiana di fisica e della Società italiana per il progresso delle scienze che si era tenuto a Napoli dall'11 al 17 ottobre. Il 18 ottobre 1934, per evidenziare l'eventuale influenza dell'ambiente circostante sull'attivazione, Amaldi iniziò a misurare gli effetti dovuti ad alcuni piccoli mattoni di piombo, collocati secondo varie disposizioni geometriche presso

e memorie (Collected Papers), a cura di E. Amaldi *et al.*, 2 voll., Accademia Nazionale dei Lincei, Roma - The University of Chicago Press, Chicago 1962-1965, vol. I, p. 1038.

¹³ E. Fermi, *Radioattività indotta da bombardamento di neutroni*, «La Ricerca Scientifica», 5, 1 (1934), p. 283; in Fermi, *Note e memorie cit.*, vol. I, pp. 645-646.

¹⁴ Cfr. A. De Gregorio, *Sulla scoperta della proprietà delle sostanze idrogenate di accrescere la radioattività indotta dai neutroni*, Nota interna n. 1120 del 7 aprile 2003, del Dipartimento di fisica dell'Università La Sapienza di Roma; p. 3. L'uso, a maggio, dei simboli «Ao» e «Hs» sembra contraddire quanto riportato da Segrè, il quale riferisce che anche dopo che Corbino ebbe tenuto un discorso presso l'Accademia dei Lincei il 4 giugno del 1934, Fermi, in virtù della cautela con cui trattava l'argomento, «strongly resisted the temptation to give new names to the so called transuranic elements» (E. Segrè, *Enrico Fermi. Physicist*, The University of Chicago Press, Chicago 1970, p. 77).

¹⁵ E. Amaldi, *From the Discovery of the Neutron to the Discovery of Nuclear Fission*, in «Phys. Rep.», 111, 1-4 (1984), pp. 151-152. La versione di Segrè compare invece nell'introduzione agli articoli sulla radioattività artificiale in Fermi, *Note e memorie (Collected Papers) cit.*; vol. I, pp. 641-642.

sorgente e campione; quindi si progettò di studiare l'effetto di diffusione dei neutroni da parte di uno schermo di piombo, ma questo esperimento fu realizzato in modo completamente diverso da come era stato progettato. Leggiamo cosa accadde, nella testimonianza resa da Fermi in persona a Subrahmanyan Chandrasekhar all'inizio degli anni Cinquanta:

I described to Fermi Hadamard's thesis regarding the psychology of invention in mathematics, namely, how one must distinguish four different stages: a period of conscious effort, a period of 'incubation' when various combinations are made in the subconscious mind, the moment of 'revelation' when the 'right combination' (made in the subconscious) emerges into the conscious, and finally the stage of further conscious effort. I then asked Fermi if the process of discovery in physics had any similarity. Fermi volunteered and said (his account made so great an impression on me that though this is written from memory, I believe that it is very nearly a truly verbatim account):

«I will tell you how I came to make the discovery which I suppose is the most important one I have made». And he continued: «We were working very hard on the neutron induced radioactivity and the results we were obtaining made no sense. One day, as I came to the laboratory, it occurred to me that I should examine the effect of placing a piece of lead before the incident neutrons. And instead of my usual custom, I took great pains to have the piece of lead precisely machined. I was clearly dissatisfied with something: I tried every 'excuse' to postpone putting the piece of lead in its place. When finally, with some reluctance, I was going to put it in its place, I said to myself: 'No! I do not want this piece of lead here; what I want is a piece of paraffin'. It was just like that: with no advanced warning, no conscious, prior, reasoning. I immediately took some odd piece of paraffin I could put my hands on and placed it where the piece of lead was to have been».¹⁶

I neutroni, filtrati mediante sostanze idrogenate come ad esempio la paraffina, divenivano più efficaci nell'indurre la radioattività. L'effetto delle sostanze leggere, in particolare quelle contenenti idrogeno, si basa su due processi: *a*) I neutroni sono rallentati molto efficacemente dai protoni, ai quali, in base a considerazioni di semplice natura cinematica sull'urto tra particelle di uguale massa, trasferiscono la massima quantità di energia in ogni singolo urto. *b*) I neutroni lenti sono più efficaci di quelli veloci nell'indurre la radioattività. In termini più specifici, la sezione d'urto di cattura radioattiva dei neutroni aumenta al diminuire della velocità.

Gerald Holton definisce la scoperta che Fermi fece nell'ottobre del 1934 «a mythological event»¹⁷. Egli ha presente, oltre al racconto di Fermi, il giudizio di Amaldi: «The increase of the reaction cross section by reducing the velocity of the neutrons was at that time still contrary to our expectation»¹⁸; giudizio che trova conferma in Segrè: «We thought that the more energetic the neutrons the greater their effectiveness in producing reactions; how wrong we were we would discover only six months later»¹⁹.

¹⁶ Il resoconto di Chandrasekhar è ivi, vol. II, pp. 926-927.

¹⁷ G. Holton, *The Scientific Imagination. Case Studies*, Cambridge University Press, Cambridge 1978, p. 174.

¹⁸ Amaldi, *From the Discovery of the Neutron* cit., p. 153.

¹⁹ Segrè, *Enrico Fermi. Physicist* cit., p.75.

Da quali considerazioni nascono le affermazioni di Amaldi e Segrè? Descritto in modo schematico: tanto maggiore è l'energia di una particella alfa, tanto più sottile è la barriera di potenziale repulsivo che quest'ultima deve attraversare per effetto tunnel prima di essere catturata dal nucleo, e tanto più efficace è quindi la particella stessa. Altrettanto vale per il fenomeno inverso: nell'emissione, per una particella carica (alfa o protone) è tanto più agevole attraversare la barriera di potenziale e allontanarsi dal nucleo, quanto maggiore è la sua energia. Nei processi di tipo (n, α) e (n, p) , in cui un neutrone è assorbito dal nucleo e questo emette, rispettivamente, una particella alfa oppure un protone, è il neutrone incidente a costituire la principale fonte di energia ed è immediato concludere che tanto più è energetico, tanto più il neutrone è efficace nel trasformare il nucleo e indurvi la radioattività.

Nei processi di cattura radiativa (n, γ) , in cui il nucleo assorbe un neutrone, si trasforma in un suo isotopo ed emette un quanto gamma, né il neutrone incidente, né tantomeno il fotone emesso risentono però di alcuna barriera di potenziale coulombiano; in tali reazioni, perciò, sulla base della descrizione schematica che abbiamo adottato, viene meno l'argomentazione per la quale i neutroni più efficaci dovrebbero essere quelli di maggiore energia. Nell'ottobre del 1934 erano stati appurati processi nei quali il neutrone incidente produceva un nucleo isotopo di quello di partenza, ma non era ancora del tutto chiaro se si trattasse di cattura seguita dall'emissione di un quanto gamma, di due quanti gamma, oppure se all'assorbimento di quello iniziale seguisse l'emissione di due nuovi neutroni da parte del nucleo; considerato questo stato delle conoscenze intorno a trasformazioni nucleari che non coinvolgevano particelle cariche, potremmo perciò chiederci: fino a che punto dobbiamo credere che l'accresciuta efficacia dei neutroni per azione delle sostanze idrogenate fosse *del tutto* inaspettata?

Per rispondere, dovremo risolvere un'altra questione, più circostanziata: quali erano, nel 1934, le conoscenze relative all'effetto della paraffina sui neutroni e sulla loro sezione d'urto? Che cosa già sapeva Fermi in proposito, prima della scoperta della radioattività indotta dai neutroni lenti?

Gli studi sui neutroni durante gli anni 1932-1933

Ricerche intraprese per la prima volta dodici anni prima e ispirate da un'intuizione di Rutherford avevano trovato compimento nel febbraio del 1932, quando Chadwick aveva osservato che, nella radiazione penetrante emessa dal berillio irradato con particelle alfa, era presente una nuova particella neutra dalla massa pressoché uguale a quella del protone. Alcune proprietà degli urti in cui era coinvolto il neutrone erano però note, paradossalmente, ancora prima che Chadwick osservasse tale particella: i Joliot-Curie, in particolare, il 18 gennaio 1932 avevano riferito alla Académie des Sciences che la radiazione penetrante emessa da boro e berillio, da loro identificata inizialmente con raggi γ di alta energia, presentava un assorbimento insolitamente grande da parte di sostanze idrogenate, dalle quali era in grado di espellere protoni assai veloci²⁰.

²⁰ I. Curie e F. Joliot, *Émission de protons de grande vitesse par les substances hydrogénées sous l'influence des rayons γ très pénétrants*, in «C. R. Acad. Sci.», 194 (1932), pp. 273-275.

Dopo l'annuncio di Chadwick, il neutrone divenne oggetto di un'intensa attività di ricerca, nella quale si distinsero senz'altro per alacrità i laboratori francesi, e in particolare quello dei Joliot-Curie. Molto eloquente nello specificare le proprietà della nuova particella, e nell'evidenziarne il diverso comportamento rispetto ai raggi gamma, è un passo in cui i due coniugi affermano che

tous les noyaux atomiques doivent être projetés, l'énergie qui leur est communiquée était d'autant plus grande que leur masse est plus faible, et [...] ce phénomène joue un rôle prépondérant dans l'absorption du rayonnement [...]. La radiation de Po + Li est considérablement plus absorbée, à masse superficielle égale, par la paraffine par exemple, que par le plomb, contrairement à ce qui se passe pour les rayons γ du polonium.²¹

Le proprietà delle sostanze idrogenate furono ampiamente sfruttate per meglio mettere in risalto la presenza di neutroni: si consolidò la tecnica di rivestire internamente le camere di ionizzazione con paraffina, dalla quale erano emessi protoni che avevano subito l'urto con i neutroni. Diversamente dal caso della paraffina, era evidente una sorta di «transparence du plomb», utile per filtrare i neutroni e «diminuer les effets des rayons gamma de l'emanation»²²; d'altra parte, «au delà d'un écran de 30 cm de plomb, il subsiste encore plus du dixième de la radiation [Em + Be] incidente»²³.

Attorno alle proprietà di assorbimento dei neutroni, non va dimenticato l'impegno di Rasetti, se non altro per il ruolo chiave che al compagno di studi e collega di Fermi sarebbe spettato nella realizzazione della strumentazione impiegata negli esperimenti di via Panisperna: secondo l'uso di allora, anch'egli aveva infatti «décelé les neutrons au moyen d'un compteur contenant de la paraffine»²⁴.

Questo per ciò che riguardava l'assorbimento e il rallentamento di neutroni da parte di sostanze contenenti idrogeno. Sull'altro versante, quello dell'andamento della sezione d'urto dei neutroni in funzione della velocità, tra i contributi più importanti ai fini della nostra ricostruzione sono quelli di Chadwick. Fin dal maggio del 1933, il fisico inglese aveva comunicato nella *Bakerian Lecture* i risultati di studi sulla particella che egli stesso aveva scoperto: l'importante conclusione delle sue

²¹ «Tutti i nuclei atomici devono essere espulsi, ricevendo una quantità d'energia tanto più grande quanto più è piccola la loro massa, e [...] questo fenomeno gioca un ruolo preponderante nell'assorbimento della radiazione. [...] La radiazione di Po + Li [notazione che indica i neutroni espulsi dal litio dalle α del polonio] è assorbita molto di più, a parità di massa superficiale, per esempio dalla paraffina piuttosto che dal piombo, contrariamente a ciò che accade nel caso dei raggi γ del polonio». I. Curie e F. Joliot, *Preuves expérimentales de l'existence du neutron*, in «Journal de Physique», 4 (1933), p. 23 e p. 25.

²² «Ridurre gli effetti dei raggi gamma dell'emanazione [radon]». M. de Broglie e L. Leprince-Ringuet, *Sur les neutrons du bore excité par l'emanation du radium*, in «C. R. Acad. Sci.», 195 (1932), p. 89.

²³ «Al di là d'uno schermo di 30 cm di piombo, sopravvive ancora oltre un decimo della radiazione incidente». J. Thibaud e F. Dupré la Tour, *Sur le pouvoir de pénétration du rayonnement (neutrons) excité dans le glucinium par les rayons α* , in «C. R. Acad. Sci.», 194 (1932), p. 1647.

²⁴ «Ha osservato i neutroni per mezzo d'un contatore contenente paraffina». I. Curie e F. Joliot, *Nouvelles recherches sur l'émission des neutrons*, in «Journal de Physique», 4 (1933), p. 282. L'articolo di Rasetti citato è *Über die Anregung von Neutronen in Beryllium*, in «Zeit. f. Phys.», 78 (1932), pp. 165-168.

ricerche (nelle quali si era avvalso, come di consueto, di paraffina per rivestire la camera di ionizzazione) è che «the probability of a collision between a neutron and a nitrogen atom in the chamber or a proton in the paraffin wax depends on the velocity of the neutron»²⁵. Nel corso della trattazione teorica degli urti dei neutroni contro i nuclei atomici, Chadwick ricorda che gli esperimenti sugli urti contro i protoni hanno evidenziato che «most of the collisions were due to slow neutrons»²⁶ e che in particolare «some experiments with slower neutrons suggest that the radius for the proton collisions continues to increase as the velocity of the neutron decreases»²⁷. Il fisico inglese riporta quindi l'espressione della sezione d'urto tra due particelle indipendenti, ottenuta per via teorica:

$$Q \approx \frac{h}{\pi M^2 v^2}$$

tale quantità, come è evidente, cresce in ragione inversa del quadrato della velocità della particella incidente. È bene ricordare che i risultati riferiti da Chadwick riguardano processi di diffusione dei neutroni, ben distinti dall'attivazione radioattiva che Fermi scoprirà soltanto nel 1934. Ciò che però interessa è che, pur limitatamente ai fenomeni diffusivi, è ormai appurato che i neutroni interagiscono tanto più con la materia quanto più sono lenti.

Un'importante considerazione da fare a questo punto è che tanto i risultati ottenuti dalla scuola francese riguardo agli effetti delle sostanze idrogenate sui neutroni, quanto quelli di Chadwick sulla sezione d'urto di diffusione, oltre a essere pubblicati sulle più importanti riviste di fisica nucleare, sono ampiamente dibattuti al Settimo congresso Solvay di fisica, che si tiene a Bruxelles dal 22 al 29 ottobre del 1933 e al quale Fermi partecipa attivamente. Al convegno, i Joliot-Curie tornano a discutere le proprietà di assorbimento dei neutroni da parte della materia e Chadwick la probabilità di diffusione del neutrone, crescente al diminuire dell'energia. Su argomenti come questi si accende un'animata discussione: Werner Heisenberg, ad esempio, esprime le proprie perplessità sulla validità dell'espressione riportata da Chadwick, secondo la quale per neutroni molto lenti la sezione d'urto verrebbe a superare il quadrato del raggio d'azione della forza che si esercita tra neutrone e protone. A seguito dell'osservazione di Heisenberg, Fermi interviene e dapprima «rappelle les hypothèses sur lesquelles est établie la formule donnée par M. Chadwick», quindi osserva che «les sections efficaces expérimentales sont plusieurs fois plus petites que celles donnée par la formule» e che «l'hypothèse d'une force d'échange ne suffit pas à améliorer la concordance»²⁸.

²⁵ J. Chadwick, *Bakerian Lecture. The Neutron*, in «Proc. Roy. Soc.», 142 (1933), p. 5.

²⁶ Ivi, p. 17.

²⁷ Ivi, p. 18.

²⁸ «Ricorda le ipotesi sulle quali si basa la formula di Chadwick», quindi osserva che «le sezioni d'urto sperimentali sono molte volte più piccole di quelle ottenute attraverso la formula» e che «l'ipotesi di una forza di scambio non basta a migliorare l'accordo». Fermi, *Discussion du rapport de M. et M.^{me} Joliot*, in *Structure et propriétés des noyaux atomiques* cit., p. 161.

Una scoperta «casuale»?

Abbiamo dunque ripercorso brevemente quali proprietà del neutrone fossero note fin dal 1933 e constatato come Fermi fosse ben al corrente dei risultati che erano stati ottenuti in tutta Europa. È facile supporre, a questo punto, che le conoscenze acquisite da Fermi sul neutrone – quelle sulla particolare efficacia delle sostanze idrogenate nel rallentare i neutroni e sull'aumento della sezione d'urto di diffusione al diminuire della velocità – lo abbiano indotto, dopo un periodo di «incubazione», a prendere, nell'ottobre del 1934, la decisione «improvvisa» di sostituire il piombo con la paraffina per studiare l'effetto dell'ambiente sulla radioattività indotta dai neutroni. In altre parole, è possibile che tali conoscenze sui neutroni abbiano, per attenerci al linguaggio di Hadamard, dato vita alla «giusta combinazione» che ha permesso a Fermi di intuire che l'idrogeno avrebbe potuto aumentare l'efficacia dei neutroni nell'indurre la radioattività.

Qualunque sia stato il percorso attraverso il quale la scoperta dell'ottobre del 1934 è maturata, in ogni caso si è trattato certamente di un risultato, per così dire, «figlio del proprio tempo», nel senso che è stato ottenuto quando molte proprietà dei neutroni, e in particolare alcune peculiari dei neutroni lenti, erano ormai note.

Chiudiamo questo paragrafo²⁹ osservando che, a conferma delle conclusioni appena esposte, tra il 1932 e il 1933 anche Pierre Auger aveva pubblicato lavori che presentano punti di contatto con gli esperimenti che sarebbero stati svolti successivamente a via Panisperna. In una comunicazione del 18 luglio 1932 alla Académie des Sciences³⁰, ad esempio, il fisico francese osserva che per i neutroni i fenomeni diffusivi si sono rivelati particolarmente importanti; per metterli dunque in evidenza ha interposto, tra la sorgente di neutroni e una camera di Wilson riempita con idrogeno saturo di vapor d'acqua, uno schermo metallico spesso alcuni centimetri e circondato il tutto con una quantità notevole (100 Kg) di rame: con questa disposizione sperimentale il numero di tracce è nettamente maggiore rispetto al caso in cui presso la sorgente sono presenti soltanto sottili pareti di ottone, e l'incremento è evidente «surtout pour les neutrons lents». Possiamo riconoscere una certa analogia tra questi esperimenti e quelli con cui nell'ottobre di due anni dopo, a via Panisperna, si circonda il dispositivo sperimentale con mattoncini di piombo per evidenziare l'effetto dovuto all'ambiente; ma i punti di contatto non si esauriscono qui. Auger, il 16 gennaio 1933, comunica che per ottenere risultati più chiari sulla diffusione ha isolato gli effetti dell'ambiente circostante e studiato quali conseguenze può avere la presenza di un unico diffusore di 1 dm³ di volume: per isolare gli effetti dell'ambiente ha circondato sorgente, camera di Wilson e diffusore con «un écran de paraffine de 5 à 10 cm d'épaisseur»³¹.

²⁹ La parte che segue del presente paragrafo sulle proprietà dei neutroni è frutto di studi che ho svolto dopo aver partecipato al XXIII congresso della SISFA.

³⁰ P. Auger, *Émission de neutrons lents dans la radioactivité provoquée du glucinium*, in «C. R. Acad. Sci.», 195 (1932), pp. 234-236.

³¹ «Uno schermo di paraffina tra i 5 e i 10 cm di spessore». P. Auger, *Sur la diffusion des neutrons. Chocs non élastiques sur les noyaux*, in «C. R. Acad. Sci.», 196 (1933), p. 171.

È quasi superfluo specificare che alcuni articoli di Auger sulla diffusione dei neutroni sono citati esplicitamente dai Joliot-Curie e da Chadwick alla presenza di Fermi, durante il settimo Congresso Solvay³². E qui scopriamo alcune analogie con altri esperimenti, condotti a via Panisperna da Pontecorvo. La grande massa di rame usata da Auger nel 1932 faceva aumentare da due a tre volte il numero di neutroni osservati; nel già citato articolo del 1933, per giustificare l'aumento del numero dei neutroni lenti il fisico francese aveva ipotizzato che in elementi come il piombo si verificassero urti anelastici, poiché «les chocs élastique contre des noyaux relativement lourds ne peuvent faire perdre au neutron qu'une faible proportion de son énergie cinétique»³³, e i Joliot-Curie durante il Congresso Solvay aggiungono che «l'effet le plus intense est observé avec le plomb, le plus faible avec le fer»³⁴. Per quanto riguarda Pontecorvo: nel 1935 egli studierà la radioattività indotta in presenza di sostanze diverse da quelle idrogenate e troverà che tutti i materiali analizzati, «ad eccezione del ferro, producono un aumento ben netto della attività indotta»³⁵, di circa tre volte nel caso del piombo; inoltre «le misure contenute in questo paragrafo presentano notevoli difficoltà di interpretazione. Nel caso di un elemento pesante come il piombo [...] non sembra possibile spiegare l'incremento dell'attivazione osservato come un rallentamento di neutroni dovuto a urti elastici [...] ma] potrebbe pensarsi all'influenza di urti anelastici»³⁶.

Sulla data della scoperta³⁷

L'attività sperimentale che portò a scoprire presso i laboratori di via Panisperna dapprima la radioattività indotta dai neutroni e quindi l'effetto delle sostanze idrogenate è stata narrata dagli autori stessi di quelle ricerche: alla testimonianza di Fermi, di cui abbiamo già detto, si affiancano quelle della moglie Laura Capon, di Enrico Persico, Oscar D'Agostino, Franco Rasetti, Emilio Segrè, Bruno Pontecorvo e Edoardo Amaldi. Si tratta di documenti di indubbio valore storiografico, poiché risalgono a coloro che (fatta eccezione per la moglie di Fermi) agli esperimenti presero attivamente parte, o comunque vi assistettero di persona; per altro verso, un limite, se non proprio un difetto, accomuna tutte queste versioni: la loro redazione è avvenuta non meno di due decenni dopo il 1934. Rilasciata a Chandrasekhar all'inizio degli anni Cinquanta, la testimonianza di Fermi fu pubblicata soltanto nel 1962; la biografia della moglie Laura è del 1954 (l'anno della morte del marito) ed

³² Joliot e Curie, *Rayonnement pénétrant des atomes sous l'action des rayons α* cit., p. 129; Chadwick, *Diffusion anormale des particules α* , in *Structure et propriétés des noyaux atomiques* cit., p. 105.

³³ «Gli urti elastici contro nuclei relativamente pesanti possono far perdere al neutrone soltanto una minima parte della sua energia cinetica». Auger, *Sur la diffusion des neutrons* cit., p. 172.

³⁴ «L'effetto più intenso si osserva con il piombo, quello più debole con il ferro». Joliot e Curie, *Rayonnement pénétrant des atomes sous l'action des rayons α* cit., p. 130.

³⁵ B. Pontecorvo, *Sulle proprietà dei neutroni lenti*, in «Il Nuovo Cimento», III (1935), p. 220.

³⁶ Ivi, p. 221.

³⁷ Una trattazione più ampia e completa si trova in A. De Gregorio, *Sulla scoperta della proprietà delle sostanze idrogenate* cit. (nota pubblicata con alcune variazioni su «Il Nuovo Saggiatore», 19, 3-4 (2003), pp. 41-47).

è il primo resoconto a essere stato dato alle stampe, seguito dagli altri racconti fino al saggio di Amaldi, uscito per ultimo nel 1984.

Tenuto conto di un simile divario temporale intercorso tra i fatti e la loro narrazione, è facile comprendere quanto, ai fini di una ricostruzione storica il più possibile attendibile, sia importante condurre un'attenta analisi dei documenti originali di laboratorio conservati prevalentemente presso la Domus Galilæana di Pisa (oltre ad alcuni quaderni custoditi presso il Fondo «D'Agostino» ad Avellino³⁸) e procedere a un'attenta verifica di ciò che a distanza di tempo è stato scritto. La necessità di procedere in tal modo trova conforto nella questione che stiamo per discutere, riguardante la data in cui Fermi scoprì l'effetto delle sostanze idrogenate.

Amaldi così ricostruisce le circostanze della scoperta della proprietà delle sostanze idrogenate: «On the morning of October 22nd [...] at the moment of using the lead Fermi decided suddenly to try with a wedge of some light element and paraffin was used first [...]. The activity was increased by an appreciable factor [...]. The same afternoon the experiment was repeated in the pool of the fountain in the garden of the Institute»³⁹.

Le altre versioni⁴⁰ pur con sfumature diverse concordano con il racconto di Amaldi (Fermi decise improvvisamente di analizzare l'effetto della paraffina sull'attivazione), eccezion fatta per quanto riferito da D'Agostino, secondo il quale l'azione delle sostanze idrogenate divenne chiara soltanto dopo che fu scoperto che un secchio d'acqua, che l'addetta alle pulizie dell'istituto era solita lasciare sotto un tavolo del laboratorio, era stato la causa dello strano andamento che in precedenza era stato riscontrato nell'intensità dell'attivazione di alcuni campioni⁴¹. Nonostante ciò, sia D'Agostino sia gli altri testimoni riferiscono, in accordo con la versione di Amaldi, che il giorno in cui Fermi scoprì l'effetto del rallentamento dei neutroni fu il 22 ottobre 1934 (soltanto Rasetti non specifica alcuna data, mentre il racconto di D'Agostino presenta alcune incongruenze che lasciano intendere che il fatidico giorno potrebbe essere stato il 20 e non il 22 ottobre).

Dai documenti conservati presso la Domus Galilæana⁴², emerge però una diversa datazione: nel quaderno *B.1*, è indicato chiaramente che le prove con e senza

³⁸ Sull'attribuzione a Fermi di alcuni quaderni del Fondo «D'Agostino», si veda G. Acocella, F. Guerra e N. Robotti, *La scoperta della radioattività artificiale indotta da neutroni: il ritrovamento del primo quaderno di laboratorio di Enrico Fermi*, in «Il Nuovo Saggiatore», 19, 1-2 (2003), pp. 9-18.

³⁹ Amaldi, *From the Discovery of the Neutron* cit., pp. 152-154.

⁴⁰ L. Fermi, *Atomi in famiglia*, trad. it., Mondadori, Verona 1954; ristampa anastatica a cura dell'Associazione per l'insegnamento della fisica, supplemento a «La fisica nella scuola», XXXIV, 2001, n. 3, pp. 107-108. E. Persico, *Souvenir de Enrico Fermi*, in «Scientia», XC (1955), pp. 319-320. F. Rasetti, *Enrico Fermi e la fisica italiana*, in *Celebrazioni Lincee in ricordo di Enrico Fermi*, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma 1968, pp. 13-14. Segrè, *Enrico Fermi. Physicist*, cit., p. 80. B.M. Pontecorvo e V.N. Pokrovskij, *Enrico Fermi v vospominanijakh uchenikov i druzej*, Nauka, Moskva 1972 [trad. it. *Enrico Fermi*, Studio Tesi, Pordenone 1972, pp. 81-82].

⁴¹ O. D'Agostino, *L'era atomica incominciò a Roma nel 1934*, 2^a puntata, in «Candido», XVI, n. 24, 15 giugno 1958, pp. 24-25. A questo proposito si vedano anche: F. Cardone e R. Mignani, *Enrico Fermi e i secchi della sora Cesarina. Metodo, pregiudizio e caso in fisica*, Di Renzo Editore, Roma 2000; A. De Gregorio, *Storia di una scoperta annunciata*, in «Sapere», 68, 2 (2002), pp. 39-46.

⁴² Per il materiale conservato a Pisa, mi atterrò alla classificazione riportata in M. Leone, N. Robotti e C.A. Segnini, *Fermi Archives at the «Domus Galilæana» in Pisa*, in «Physis», XXXVII, 2 (2000), pp. 501-533.

paraffina si svolgono il 20 ottobre del 1934 (un sabato). Stessa data è riportata su alcuni «verbali» contenuti nel raccogliatore *R.6*. Da una di queste schede, datata 21 ottobre 1934, risulta che dalle ore 20 di sabato 20 ottobre alle 9.30 di domenica 21 si sottopone a irraggiamento di neutroni il cesio immerso in acqua, del quale si misura poi la radioattività indotta; è riportato anche il numero della sorgente di neutroni utilizzata (del tipo radon-berillio): la n. 16. Da un'altra scheda risulta che sempre dalle 20 del 20 ottobre alle 9.30 della mattina successiva è irradiato il nitrato di rubidio (RbNO_3); sebbene il numero della sorgente non sia specificato, la coincidenza di orari lascia supporre che l'irraggiamento avvenga insieme a quello del cesio, con la n. 16. Anche l'alluminio è irradiato in acqua la notte tra il 20 e il 21 ottobre. A partire dalle ore 20 di domenica 21, sono irradiate in acqua altre sostanze: il carbonato di sodio (Na_2CO_3) fino alle 9.45 di lunedì 22; l'idrossido di litio (LiOH) fino alle 10; il platino fino alle 10.30; il rutenio e lo stronzio fino alle 12. In ciascun caso è detto esplicitamente che l'irradiazione è avvenuta in acqua e che la sorgente di neutroni utilizzata è la n.16 (il che fa peraltro pensare che, essendo unica la sorgente, i campioni si trovassero immersi in acqua uno accanto all'altro).

A conferma di questa datazione «inedita» relativa alla scoperta degli effetti delle sostanze idrogenate, è interessante aggiungere che nel registro *R.1*, su una scheda datata 20 novembre 1934 e relativa al carbonato di sodio (già irradiato in acqua la notte tra il 21 e il 22 ottobre), è scritto: «Prova di acquacità standard in aria (flottante) e in blocco paraffina [...]. Osservazioni: Le misure giusti [sic], senza sbagli geometrici, sono quelle del 21.10.34».

Possiamo così concludere che i primi esperimenti con la paraffina furono effettuati il 20 ottobre 1934, e non il 22 ottobre come creduto finora, e che successivamente, a partire dalla sera di quel 20 ottobre, si lasciarono alcuni campioni immersi in acqua per essere irradiati tutta la notte seguente, per poi ripetere la medesima procedura tra il 21 e il 22 ottobre (in una singolare analogia con il racconto di D'Agostino, secondo il quale il secchio d'acqua lasciato dall'addetta alle pulizie era «messo alla sera e ritirato poi al mattino»). I documenti conservati presso la Domus Galilæana contrastano quindi con le dichiarazioni dei collaboratori e della moglie di Fermi.

È quanto mai plausibile che l'errore nel riportare la data sia stato commesso la prima volta nella biografia scritta da Laura Fermi nel 1954 e da lì si sia poi «propagato» attraverso la testimonianza di Persico e via via quelle di tutti gli altri (ciò, peraltro, ben spiegherebbe le già accennate incongruenze nel racconto di D'Agostino).

La differenza di due giorni nella datazione degli eventi non è importante tanto in sé, ma in quanto conferma che, come abbiamo osservato in precedenza, le testimonianze finora accreditate sugli esperimenti condotti a via Panisperna vanno sottoposte al riscontro con i documenti d'archivio, anche là dove esse trovano pieno accordo.