GIUSEPPE BRUZZANITI (*)

Origine del concetto di forza nucleare

Lo scopo di questa comunicazione è duplice: per un verso cercherò di evidenziare i diversi ordini di problemi che condussero al convincimento dell'esistenza di una forza attrattiva all'interno del nucleo, per l'altro verso tenterò una sommaria ricostruzione dei problemi che determinarono mutamenti profondi e radicali nell'interpretazione della natura di tali forze.

1. Lo stato della fisica nucleare negli anni '20

L'ipotesi che i costituenti del nucleo fossero particelle α, nuclei di idrogeno ed elettroni era, fin dagli inizi degli anni '20, un'ipotesi ampiamente accettata. Si riteneva, in altre parole, che un nucleo di carica Z e peso atomico A fosse costituito da n particelle α, x atomi di idrogeno e y elettroni in modo tale da soddisfare le seguenti relazioni:

$$A = 4n + x \qquad (x = 0,\ 1,\ 2,\ 3)$$
$$Z = 2n - y + x$$

Una tale concezione del nucleo atomico era la risposta più immediata alle acquisizioni di maggior rilievo che avevano caratterizzato le ricerche intorno alla struttura della materia nei primi venti anni del Novecento. L'interezza d A era infatti conseguenza dell'ormai accettata costituzione isotopica degli elementi, la presenza delle particelle α era invece imposta dall'evidenza dei decadimenti radioattivi, infine la necessaria presenza degli elettroni e dei protoni era confermata, per quanto riguarca i primi, dalla radioattività β e, per quanto riguarda i secondi, dalle clamorose esperienze di Rutherford del 1919 che realizzarono la prima disintegrazione artificiale dell'azoto con emissione di protoni.

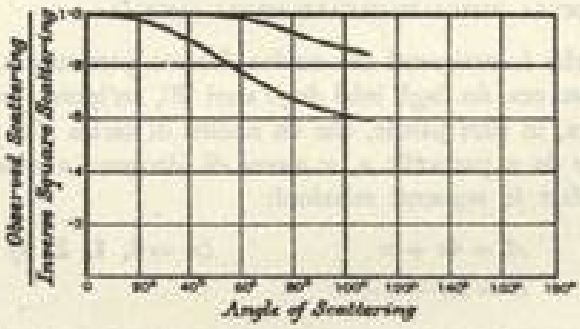
2. L'emergenza di una forza attrattiva all'interno del nucleo

Tra i primi a porre in modo esplicito il problema della stabilità nucleare fu William Duane nel 1915 (1). Egli, partendo dall'assunzione che il nucleo atomico consistesse di elettroni positivi e negativi con un eccesso di carica posi-

(*) G. Bruzzaniti, Dipartimento di Fisica, Università di Genova, Domus Galilaeana, Pisa.
(1) W. Duane, «Notes on the Atomic Nuclei», *Phys. Rev.*, *5*, 1915, 335.

tiva, pose il seguente problema: « How can a lot of positive electrons remains packed so closely together? ». Secondo Duane non era necessario andare oltre l'elettrodinamica classica per individuare forze, abbastanza intense, da superare la repulsione coulombiana. Il semplice calcolo eseguito dall'autore mostrava infatti che se due nuclei avessero momenti magnetici uguali a quelli attribuiti all'atomo di ferro, allora a una distanza di 4.078×10^{-13} cm. l'attrazione magnetica superava la repulsione elettrostatica.

Furono tuttavia i risultati sperimentali relativi allo scattering anomalo delle particelle α su nuclei leggeri a determinare una più ampia discussione intorno alla natura delle forze nucleari. Gli aspetti del problema a cui ci si vuole riferire in questa occasione sono quelli messi in evidenza da Bieler in un articolo pubblicato nel 1924 (2). In tale lavoro, che prendeva in considerazione la collisione tra particelle α e due elementi leggeri (alluminio e magnesio), lo scopo principale era quello di porre sotto controllo la validità della interazione coulombiana nelle immediate vicinanze del nucleo. I risultati degli esperimenti per lo



scattering su alluminio sono mostrati in figura. Come si vede in ordinate vi è il rapporto tra lo scattering osservato e quello previsto in base all'interazione coulombiana. Le curve dimostrano che lo scattering è molto prossimo a quello che si dovrebbe avere in base alla legge dell'inverso del quadrato della distanza per piccoli angoli, mentre si discosta da questo in modo notevole all'aumentare dell'angolo di scattering; inoltre tale deviazione per le particelle α più veloci è più marcata.

L'importanza del lavoro di Bieler non è tuttavia riposta soltanto nei risultati precedentemente esposti: in esso si trova infatti, per la prima volta, l'ipotesi di una forza attrattiva dipendente dall'inverso della quarta potenza della distanza. L'assunzione di una tale forza addizionata a quella coulombiana metteva in grado l'autore di dedurre, da un punto di vista teorico, la curva di scattering. Va detto tuttavia che la discussione intorno all'origine di tale forza rin-

(2) E. S. Bieler, « The Large Angle Scattering of Particles by Light Nuclei », *Proc. Roy. Soc., A 105*, 1924.

viava a ordini di problemi abbastanza delicati. Bieler suppose infatti che sia il nucleo, sia la particella α fossero dotati di un momento magnetico ottenendo così la possibilità di una interazione dipendente dall'inverso della quarta potenza della distanza. Tale possibilità era comunque strettamente dipendente dal modo in cui i momenti magnetici erano orientati, inoltre il meccanismo capace di far questo, insieme al valore piuttosto elevato che dovevano assumere tali momenti, rendeva indubbiamente poco credibile la proposta di Bieler.

Una proposta alternativa a quella di Bieler fu quella di Debye e Hardmeier (3). Essa consisteva nell'ipotizzare una polarizzazione del nucleo dovuta a una ridistribuzione delle sue cariche elettriche determinata dall'intenso campo elettrico dovuto all'avvicinarsi della particella α. L'ipotesi di una polarizzazione del nucleo dava origine, come è facile verificare, a una forza dipendente dalla quinta potenza della distanza. Nel lavoro citato gli autori dimostrarono che una tale forza, aggiunta all'interazione coulombiana, permetteva di ottenere un buon accordo con i risultati sperimentali. È interessante infine riportare la posizione assunta da Rutherford (4) nei confronti dell'ipotesi di Bieler e di quella di Debye e Hardmeier. Egli nel 1930 scriveva:

Sembra dunque che l'ipotesi di una polarizzazione del nucleo sia in grado di spiegare le deviazioni dalla legge di Coulomb che sono state osservate nelle collisioni di particelle α con nuclei di alluminio e magnesio. Può sorgere il dubbio che anche l'assunzione di Bieler relativa a una forza dipendente dalla quarta potenza della distanza possa dare una spiegazione soddisfacente dei risultati di scattering, tuttavia finché l'ipotesi della polarizzazione non si rivela inconsistente con le nostre idee sulla struttura nucleare è preferibile adottare questa piuttosto che assumere l'esistenza di un nuovo tipo di forza.

3. L'emergere del concetto di forza nucleare come concetto autonomo

Nel 1927 Rutherford scriveva:

Sembra poco probabile che la meccanica ondulatoria possa offrire qualche spiegazione dello scattering anomalo delle particelle α veloci su nuclei leggeri [...] sembra invece probabile che una tale spiegazione debba essere ricercata nella dettagliata struttura del nucleo e nello studio delle forze che si originano dalle particelle che lo compongono (5).

Se è vero che la meccanica quantistica non si rivelò immediatamente di grande aiuto nel risolvere le numerose difficoltà poste dallo scattering delle particelle α, è anche vero che essa trovò nel nucleo atomico un campo d'applicazione estremamente ricco. Il lavoro di Gamow nel 1928 (6) svolse in questo senso un ruolo di particolare importanza. Come è noto la spiegazione data da Gamow per l'emissione α era una spiegazione tipicamente quantistica che permetteva all'autore

(3) P. Debye, Hardmeier, « Anomale Zerstreung von Strahlen », *Phys. Z.*, *27*, 1926.
(4) E. Rutherford, Ellis, Chadwick, *Radiation from Radioactive Substances*, Cambridge 1930.
(5) E. Rutherford, « Atomic Nuclei and Their Transformations », *Proc. Phys. Soc.*, *39*, 1927.
(6) G. Gamow, « Zur Quantentheorie des Atomkernes », *Zs. f. Phys.*, *51*, 1928.

di ricavare da un punto di vista teorico la legge di Geiger e Nuttal. L'esito più saliente di tale lavoro non fu tuttavia la spiegazione del decadimento α, ma il mostrare che il nucleo poteva essere considerato un sistema quantistico. Fu proprio questo fatto a porre la comunità dei fisici, al termine degli anni venti, in una situazione di stallo teorico particolarmente imbarazzante. La presenza degli elettroni all'interno del nucleo generava infatti gravissime anomalie. Basta a questo proposito citare soltanto il problema posto dall'azoto: il nucleo di tale elemento essendo composto da sette elettroni e quattordici protoni costituiva un sistema che da un punto di vista quantistico doveva obbedire alla statistica di Fermi contrariamente all'evidenza sperimentale secondo cui il nucleo d'azoto si comportava, ad esempio negli spettri Raman, come un bosone.

La sola condizione che consentiva il superamento di una così grave contraddizione consisteva nell'abbandono di una tra le ipotesi apparentemente più credibili e certe, quella relativa all'esistenza degli elettroni nucleari. È per queste ragioni che la scoperta del neutrone credo possa essere considerata come la scoperta sperimentale più attesa e nello stesso tempo più preparata, sul piano teorico, della fisica contemporanea.

Fu proprio questa emergenza teorica che determinò relativamente al concetto di forza nucleare, intesa come forza attrattiva all'interno del nucleo, un mutamento radicale della sua ontologia. Non si trattò più di interpretare le forze nucleari come forze elettriche di polarizzazione, ma di vedere in esse una nuova forza fondamentale della natura.