

13. SULLA SCISSIONE DEL TORIO E DEL PROTO-ATTINIO.

Alcuni mesi orsono abbiamo pubblicato (1) i risultati di alcune esperienze sulla dipendenza della sezione d'urto per scissione dell'uranio dalla energia dei neutroni incidenti. Uno dei risultati contenuti in questi lavori è che la sezione d'urto per la scissione dell'uranio, che resta sensibilmente costante per energie dei neutroni incidenti inferiori a circa 10 MV, subisce un aumento per energie più elevate.

Il procedimento di cui ci siamo serviti, e che ricordiamo qui brevemente, consiste nel confrontare la sezione d'urto media per la scissione dell'uranio che si ottiene bombardando questo elemento con i neutroni prodotti in diverse reazioni nucleari ed aventi quindi spettri estendentisi su diversi intervalli di energia.

Si è in tal modo potuto mostrare che con i neutroni prodotti nelle reazioni $D + D$ (2,6 MV), $D + Be$ (da 0 a 4,6 MV), $D + B$ (da 0 a 13,5 MV) si ottiene la stessa sezione d'urto media mentre con i neutroni della $D + Li$ (0-16 MV) la sezione d'urto media risulta 1,4 volte maggiore.

L'interpretazione di questi risultati si deve a N. Bohr. Per energie non molto elevate nel neutrone incidente, il nucleo composto ^{239}U formatosi in seguito alla cattura del neutrone ($^{238}U + \frac{1}{0}n$) può subire due diversi processi e precisamente può scindersi in due nuclei di peso atomico medio oppure può perdere un neutrone per evaporazione dando così luogo ad un nucleo ^{238}U debolmente eccitato. Secondo Bohr e Wheeler (2) le probabilità di questi due processi in concorrenza stanno nel rapporto 1:4 per modo che, detta σ_0 la sezione d'urto per cattura del neutrone incidente da parte del nucleo ^{238}U , la corrispondente sezione d'urto per scissione risulta pari a

$$\sigma_f = \frac{1}{5} \sigma_0 \quad (1)$$

Come ha osservato Bohr (³), quando l'energia del neutrone incidente è superiore a circa 10 MV sono ancora possibili, con le stesse probabilità, i due processi sopra descritti, solo che l'uranio 238 che si forma in seguito alla evaporazione del neutrone, è sufficientemente eccitato per potersi scindere esso stesso in due nuclei di peso atomico medio. Anche per questo nucleo naturalmente sono possibili sia la scissione che l'evaporazione di un neutrone solo che il rapporto delle probabilità dei due processi è pari a 3:1 risultando così più frequente la scissione della evaporazione.

Bombardando quindi l'uranio con neutroni di energia superiore a 10 MV si osservano sia processi di scissione dell' ²³⁸U corrispondentemente alla sezione d'urto (1) che processi di scissione dell' ²³⁸U. La sezione d'urto di questo secondo processo è pari a

$$\sigma_f'' = \frac{4}{5} \frac{3}{4} \sigma_0 \quad (2)$$

dove il fattore $\frac{4}{5} \sigma_0$ rappresenta la sezione d'urto per il processo di evaporazione del neutrone con formazione dell' ²³⁸U, mentre il fattore numerico $\frac{3}{4}$ rappresenta la probabilità che quest'ultimo si scinda. Ne segue che, mentre per energie del neutrone incidente di pochi milioni di volt la sezione d'urto per la scissione è rappresentata dalla (1), se l'energia dei neutroni incidenti è tale che il nucleo ²³⁸U formatosi in seguito all'evaporazione del neutrone, è sufficientemente eccitato, la sezione d'urto per il processo di scissione è rappresentata dalla somma delle (1) e (2) ossia 4 volte maggiore della (1).

Qualora lo spettro dei neutroni usati sia continuo e si estenda, come accade nelle nostre esperienze con i neutroni della D + Li, da zero fino a energie sufficientemente elevate da poter dar luogo ad entrambi i processi di scissione sopra descritti, la sezione d'urto media che si osserva sperimentalmente sarà pari a

$$\sigma_f' + \alpha \sigma_f'' \quad (3)$$

avendo indicato con α la frazione dei neutroni incidenti aventi energia sufficientemente elevata da rendere possibile la scissione dell' ²³⁸U formatosi in seguito all'evaporazione del neutrone dal nucleo ²³⁹U.

Prendendo per il rapporto σ_i''/σ_i' il valore teorico 3 dedotto dalle (1) e (2) ed eguagliando la (3) alla sezione d'urto media ottenuta sperimentalmente nel caso della D + Li ossia a $1,40 \times \sigma_i'$ si può calcolare α . Si ottiene così:

$$\alpha = 0,13 \quad (4)$$

Confrontando questo dato con lo spettro dei neutroni emessi nella reazione D + Li quale risulta da misure di altri autori (4), si può valutare quale sia l'energia minima dei neutroni incidenti per cui la scissione dell' ^{238}U comincia ad essere possibile. Si trova così 12 MV in buon accordo con le previsioni teoriche.

Anche nel caso del torio e del protoattinio ci si devono naturalmente attendere fenomeni dello stesso tipo. Per il ^{233}Th Bohr (*) dà i seguenti valori:

$$\sigma_i' = \frac{1}{25} \sigma \quad \sigma_i'' = \frac{8}{25} \sigma \quad (5)$$

Nell'ipotesi ragionevole che il processo di scissione del ^{232}Th formatosi dal ^{233}Th ($^{232}\text{Th} + {}^1_0\text{n}$) in seguito alla evaporazione del neutrone, cominci ad aver luogo per circa le stesse energie del neutrone incidente per cui comincia ad osservarsi la scissione dell' ^{238}U , potremo calcolare la sezione d'urto media per scissione del Th che ci si deve attendere usando i neutroni della reazione D + Li. Introducendo nella (3) il valore (4) di α e il rapporto σ_i''/σ_i' dedotto dalle (5) si ottiene:

$$\sigma_i' + 8 \sigma_i'' - 0,13 = 2 \sigma_i'$$

Dato che con i neutroni della D + Be aventi uno spettro che si estende solo fino a 4,6 MV di energia, può aver luogo solo il processo di scissione del ^{233}Th , ci si deve aspettare che la sezione d'urto media per scissione del Th ottenuta con i neutroni della D + Li debba essere circa 2 volte maggiore della sezione d'urto media osservata con i neutroni della D + Be.

Ci siamo quindi proposti di misurare il rapporto della sezione d'urto per scissione del Th ottenuta usando i neutroni prodotti nelle due reazioni D + Li e D + Be.

A tale scopo, invece di seguire il procedimento applicato nel caso dell'uranio, abbiamo ritenuto più opportuno eseguire un confronto fra la sezione d'urto del torio e quella dell'uranio; e precisamente abbiamo misurato il valore del rapporto di queste due sezioni d'urto sia per i neutroni della $D + Be$ che per neutroni della $D + Li$.

A tal fine abbiamo preso due camere di ionizzazione identiche fra loro e simili a quella descritta nei precedenti lavori, aventi l'elettrodo ad alta tensione ricoperto di uno strato spesso rispettivamente di U_3O_8 e di ThO_2 .

TABELLA.

D + Be	D + Li
4,46	3,17
4,57	2,82
4,04	3,53
4,37	3,03
4,19	3,45
4,34 ± 0,10	3,20 ± 0,13

Le due camere venivano poste in posizione ben riproducibile al di sotto dell'estremità del tubo in modo che gli strati di ossidi di uranio e di torio si trovassero in un medesimo piano orizzontale situato a 10 cm. dal centro della targhetta.

Le due camere di ionizzazione, cui era applicata una tensione di 3500 volt, erano connesse a due amplificatori proporzionali e questi rispettivamente ad una scala di 6 e ad una scala di 4 Philips 4686.

Abbiamo così misurato il rapporto del numero degli impulsi osservati nell'uranio e nel torio bombardando questi elementi sia con i neutroni della reazione $D + Be$ che con i neutroni della $D + Li$. Le misure venivano eseguite alternativamente con questi due tipi di reazioni. I risultati delle misure sono riprodotti nella tabella nella quale figurano altresì i corrispondenti valori medi e il relativo errore quadratico medio.

Il fatto che il rapporto del numero degli impulsi dell'uranio al numero degli impulsi del torio sia maggiore per la $D + Be$ che per la $D + Li$

sta ad indicare che per energie elevate dei neutroni incidenti la sezione di urto per la scissione aumenta maggiormente nel caso del torio che nel caso dell'uranio. E precisamente possiamo dire che la sezione d'urto del torio cresce di più di quella dell'uranio per un fattore:

$$\frac{4,34}{3,20} = 1,35 \pm 0,08$$

Moltiplicando questo numero per l'aumento subito dalla sezione di urto per scissione dell'uranio quale è stato determinato nei nostri precedenti lavori ($1,40 \pm 0,05$), si ottiene che il rapporto delle sezioni d'urto per scissione del torio ottenute rispettivamente con i neutroni della $D + Li$ e $D + Be$ è pari a

$$1,40 \times 1,35 = 1,9 \pm 0,2$$

da confrontarsi col fattore 2 previsto in base alle considerazioni di Bohr.

L'ottimo accordo fra i nostri risultati sperimentali e le previsioni teoriche ci sembra garantire la correttezza della interpretazione data dell'aumento della sezione d'urto per scissione sia del torio che dell'uranio con il crescere dell'energia dei neutroni incidenti.

Abbiamo cercato di eseguire una analoga esperienza nel caso del protoattinio. Il preparato di protoattinio, per il quale ringraziamo il Prof. A. V. Grosse dell'Università di Chicago, consisteva in 3,5 cc. di una soluzione al 7 % di H_2SO_4 contenente alcune decine di microgrammi di Pa.

Un elettrodo di argento (disco di 5 cm. di diametro) sul quale era stata fatta evaporare questa soluzione, veniva posto nella camera di ionizzazione al posto di quello ricoperto di ossido di torio. Dopo aver ridotto le costanti di tempo dell'amplificatore in modo da non registrare le fluttuazioni del fondo delle particelle α del protoattinio (in numero di circa 100.000 al secondo) abbiamo cercato di eseguire una esperienza del tutto simile a quella precedentemente descritta per il caso del torio, a parte la distanza fra la targhetta e lo strato di protoattinio che era stata ridotta il più possibile.

Purtroppo in queste condizioni il numero delle scissioni osservate nel protoattinio bombardato con i neutroni della $D + Be$ era molto piccolo e precisamente dell'ordine di 1 impulso ogni 2 o 3 minuti.

Nel caso invece dei neutroni della $D + Li$ avevamo circa 2 o 3 impulsi al minuto grazie al maggior numero dei neutroni incidenti. Complessivamente abbiamo contato 120 impulsi con i neutroni della $D + Be$ e 345 impulsi con i neutroni della $D + Li$.

Le nostre misure hanno mostrato che il rapporto della sezione di urto dell'uranio alla sezione d'urto del protoattinio è un poco minore nel caso dei neutroni della $D + Be$ che nel caso della $D + Li$. Questo fatto va però considerato solo come una indicazione dato che la differenza osservata nei due casi era dello stesso ordine di grandezza dell'errore sperimentale. Comunque anche queste osservazioni, per quanto imprecise e quindi di poco valore probativo, sembrano accordarsi con le previsioni teoriche dato che, in base al lavoro di Bohr ci si dovrebbe attendere che per il protoattinio la sezione d'urto aumenti, col crescere della energia dei neutroni incidenti, meno che per l'uranio.

RIASSUNTO

Proseguendo le ricerche precedentemente pubblicate sulla scissione dell'uranio, viene dimostrata, anche nel caso del torio, l'esistenza di processi disintegrativi successivi.

I dati sperimentali risultano in ottimo accordo con le previsioni teoriche di Bohr.

SUMMARIUM

Auctoribus cum investigare parexissent super uranii scissione contigit ut probarent thorium quoque alii post alium disintegrativo processui esse obnoxium. Experimentorum exitus mire congruunt cum eis quae vir doctus Bohr cogitatione ac mente providerat.

BIBLIOGRAFIA

(¹) M. AGENO, E. AMALDI, D. BOCCIARELLI, B. N. CACCIAPUOTI e G. C. TRABACCHI, Ric. Scient., 302 (1940); id. id., Ric. Scienti., 413 (1940).

(²) N. BOHR, J. A. WHEELER, Phys. Rev., 56, 426 (1939).

(³) N. BOHR, Phys. Rev., siamo grati al Prof. Bohr per averci mandato il manoscritto di questo lavoro.

(⁴) BONNER T. W., BRUBAKER W. M., Phys. Rev., 47, 973 (1935). Abbiamo fatto uso dei dati di questi autori anzichè di quelli più recenti di Stephens W. E., Phys. Rev., 52, 223 (1938) poichè i primi si estendono verso le basse energie fino a 0,5 MV, mentre i secondi giungono solo fino a 3 MV.

