

E. AMALDI, D. BOCCIARELLI, F. RASETTI
E G. C. TRABACCHI

40. SULLA DIFFUSIONE DEI NEUTRONI PRODOTTI NELLA REAZIONE: $^{12}\text{C} + ^2\text{D} = ^{13}\text{N} + ^1\text{n}$.

1. - La maggior parte delle misure sulla diffusione ed assorbimento di neutroni veloci sono state eseguite usando sorgenti di neutroni costituite da particelle α più berillio; lo spettro dei neutroni emessi da tali sorgenti è assai complesso e si estende in generale da poche decine di migliaia ad alcuni milioni di voltelettrone (¹). Di conseguenza i risultati sperimentali così ottenuti indicano solo l'ordine di grandezza della sezione d'urto media in questo intervallo di energie. Solo recentemente Kikuchi ed Aoki (²) hanno compiuto misure usando i neutroni praticamente omogenei (2,4 Mev) ottenuti dalla reazione $^2\text{D} + ^2\text{D} = ^3\text{He} + ^1\text{n}$.

Abbiamo quindi ritenuto opportuno misurare la sezione d'urto totale (diffusione più cattura) per un valore dell'energia dei neutroni incidenti dell'ordine di 0,1 Mev, dato che in questa regione non si hanno che scarse informazioni.

Per questo scopo ci siamo serviti dei neutroni emessi nella reazione:



Bonner e Brubaker (³) hanno mostrato che i neutroni emessi bombardando il carbonio con deutoni di 0,9 Mev, si dividono in tre gruppi di energia 5,6; 1,8; 0,35 Mev, le cui intensità stanno come 1 : 3 : 300.

Data la debole intensità dei gruppi di elevata energia, nel seguito noi potremo considerare solo il gruppo di bassa energia, secondo questi Autori si ha:

$$Q = -0,37 \text{ Mev} \quad (2)$$

Livingston e Bethe (⁴), in base a misure di Cockcroft e Lewis (⁵), ritengono che l'energia di reazione della (1) sia minore, e precisamente danno il valore:

$$Q = -0,28 \text{ Mev} \quad (2')$$

2. - A mezzo dell'impianto a 1.000 KV costruito presso l'Istituto della Sanità Pubblica (*), abbiamo bombardato con deutoni un disco di grafite Acheson. La corrente di ioni, non sottoposta ad analisi magnetica, era di circa $50 \mu\text{A}$, valore dedotto dal confronto fra la potenza dissipata nel disco di grafite (misurata calorimetricamente) e il valore della tensione applicata al tubo. Questa veniva misurata mediante una resistenza in olio di circa $3 \cdot 10^9 \omega$ in serie con un microamperometro. Per garantirci del valore di tale resistenza, più volte durante le misure lo abbiamo controllato,

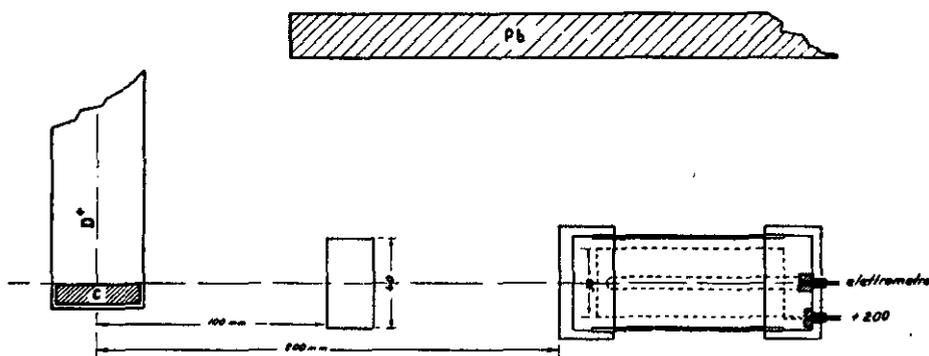


FIG. 1.

confrontandolo, alle tensioni inferiori a 200 KV, con le letture eseguite con un voltmetro elettrostatico di Schroeder.

In tal modo abbiamo mantenuto la tensione applicata al tubo al valore costante di 600 KV. Da questo valore della tensione e dall'energia di reazione si deduce che i neutroni emessi a 90° con la direzione dei deutoni incidenti avevano un'energia massima di 0,13 Mev oppure 0,21 Mev a seconda che si prenda il valore (2) oppure (2') per l'energia di reazione della (1).

Dato che la curva di eccitazione per la reazione (1) cresce molto rapidamente con l'energia (*), la maggior parte dei neutroni emessi ha energia molto prossima a questo valore. Nel seguito assumeremo che l'energia media dei neutroni usati fosse rispettivamente di 0,1 Mev, oppure di 0,18 Mev.

I neutroni emessi in questa direzione venivano misurati con una camera di ionizzazione ripiena di idrogeno a 20 atmosfere connessa con:

un elettrometro di Edelmann. La sensibilità di questo strumento era di 20 divisioni per volt.

Le condizioni geometriche in cui sono state eseguite le misure risultano chiaramente dalla fig. 1.

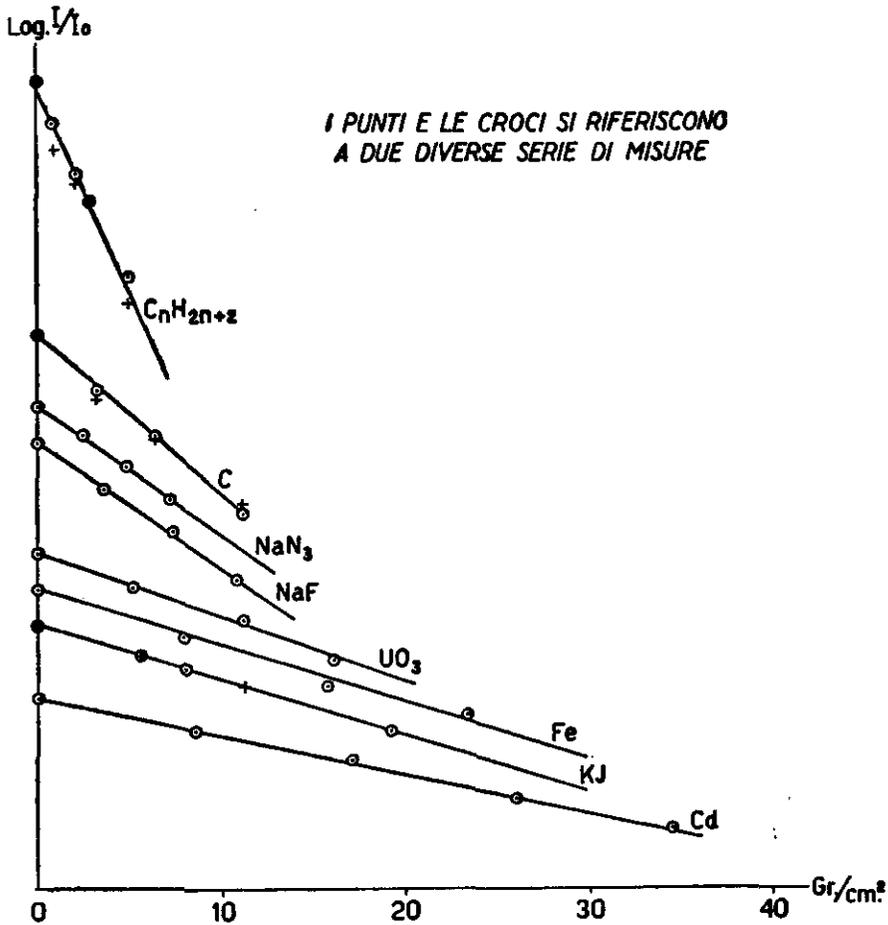


FIG. 2.

Dato l'angolo solido sotteso dagli assorbitori e dalla camera di ionizzazione, abbiamo valutato che nel caso di una diffusione isotropa (ciò che vale per tutti gli elementi escluso l'idrogeno), l'errore dovuto alle imperfette condizioni geometriche sia circa il 5 %; per questo motivo abbiamo aumentato di questa percentuale le sezioni d'urto dedotte direttamente

dalle curve di assorbimento. Abbiamo così fatto implicitamente l'ipotesi che la sezione d'urto sia dovuta principalmente a diffusione. Nel caso dell'idrogeno (paraffina) la correzione da introdurre per tener conto della estensione finita del diffusore è maggiore che nel caso precedente, a causa della diversa distribuzione angolare dei neutroni diffusi; da una grossolana valutazione ci è risultata di circa il 15 %.

Nelle nostre condizioni la camera di ionizzazione registrava, oltre ai neutroni provenienti direttamente dalla grafite, un fondo costituito da neutroni diffusi dalle pareti della stanza e da radiazioni X emesse dalle parti superiori del tubo. Queste ultime sono state ridotte il più possibile mediante schermi di piombo. Per determinare il fondo residuo da sottrarre nelle misure, abbiamo inserito tra la sorgente di neutroni e la camera di ionizzazione, un cilindro di paraffina di 4 cm. di diametro e 15 cm. di lunghezza, sufficiente per ridurre i neutroni provenienti direttamente dalla sorgente a circa l'1 %. Il valore della ionizzazione misurato col cilindro di paraffina interposto rappresentava un terzo della ionizzazione totale.

A prova che il valore del fondo così ottenuto fosse sensibilmente corretto, sta il fatto che le curve di assorbimento ottenute con diversi spessori di tutte le sostanze studiate risultano esponenziali con buona approssimazione.

L'intensità dei neutroni emessi rimaneva costante entro qualche per cento per periodi di parecchie ore. Comunque le misure venivano ripetute alternativamente per ogni spessore assorbente almeno sei volte.

Le sostanze da studiare erano in forma di cilindri di 4 cm. di diametro e di opportuni spessori. Le sostanze in polvere venivano compresse fino a renderle compatte.

I liquidi sono stati posti in apposite vaschette; è stato detratto l'effetto dalle pareti.

3. - Nella fig. 2 sono riprodotte, per alcuni elementi, le curve di assorbimento in scala logaritmica. Nella tabella I sono riportati i risultati sperimentali già corretti per le imperfette condizioni geometriche, come si è precedentemente spiegato.

Nel caso di composti la sezione d'urto atomica è stata dedotta per differenza; le sezioni ottenute con questo procedimento sono naturalmente assai meno precise di quelle ottenute da misure eseguite sull'elemento.

Elemento	Sostanza usata	Spessore di riduzione ad 1/e in 9%/cm ²	Sezione d'urto in cm ² per 10 ²⁴	Elemento	Sostanza usata	Spessore di riduzione ad 1/e in 9%/cm ²	Sezione d'urto in cm ² per 10 ²⁴
1 H	CH ₂	2.7	3.3	26 Fe	Fe	26	3.7
3 Li	Li	5.9	2.0	27 Co	CoO	17	5.2?
4 Be	Be	5.7	2.6	28 Ni	NiO	14.3	6.6
5 B	B	8.2	2.1	29 Cu	Cu	29	3.6
6 C	C	9.5	2.1	30 Zn	Zn	30	3.6
7 N	NaN ₃	11.4	2.1	33 As	As	27	4.7
8 O	MgO	12.4	2.1	34 Se	Se	29	4.5
9 F	NaF	11.6	2.7	35 Br	NaBr	17	6.6
11 Na	Na	11.4	3.4	38 Sr	SrO	22	5.8
12 Mg	Mg	12.4	3.3	47 Ag	Ag	33	5.5
13 Al	Al	12.4	3.7	48 Cd	Cd	38	4.9
14 Si	Si	14.6	3.2	50 Sn	Sn	37	5.2
15 P	P	11.7	4.4	51 Sb	Sb	37	5.4
16 S	S	20	2.6	53 I	KI	27	6.6?
17 Cl	NaCl	16	2.7	80 Hg	Hg	50	6.8
19 K	KCl	19	3.8?	82 Pb	Pb	48	7.2
20 Ca	CaF ₂	12.6	4.9?	83 Bi	Bi	46	7.7
22 Ti	TiO ₂	15	4.4	90 Th	ThO ₂	38	7.3?
24 Cr	Cr ₂ O ₃	19	3.5	92 U	UO ₃	22	17
25 Mn	MnO ₂	16	4.9				

Le sezioni segnate con un punto interrogativo sono meno sicure delle altre, o perchè, a causa della scarsa quantità di sostanza disponibile, abbiamo potuto misurare solo due punti della curva di assorbimento, o per-

chè il loro valore è stato dedotto facendo più di una differenza fra le sezioni d'urto di opportuni composti.

4. - Come risulta dalla fig. 3 in cui sono riportate le sezioni d'urto in funzione del numero atomico, non vi è alcuna semplice relazione tra

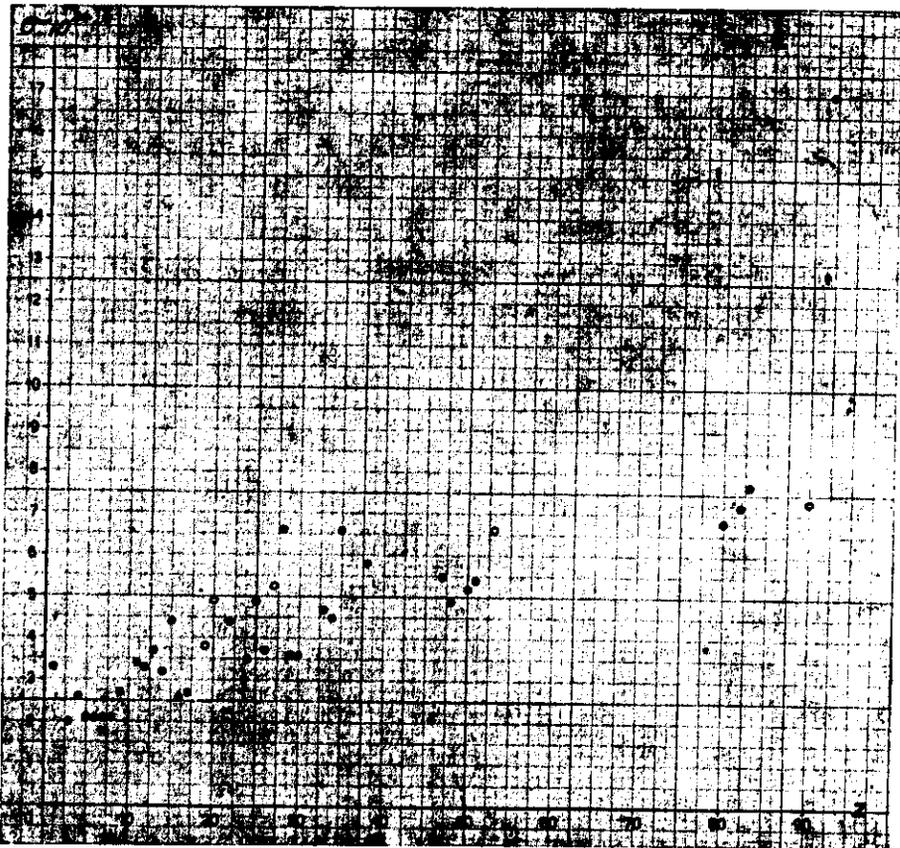


FIG. 3.

queste due grandezze. Questo risultato è analogo a quello trovato da Kikuchi ed Aoki per i neutroni relativamente omogenei di 2,4 Mev. Per neutroni fortemente inomogenei Dunning (1) trova invece che i punti si dispongono su di una curva assai regolare.

La sezione d'urto più grande è quella dell'uranio ($\sigma = 17 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$) ed è interessante osservare che essa risulta circa uguale al valore tro-

vato (*) per la sezione d'urto di diffusione per neutroni di energia termica ($\sigma = 17 \cdot 10^{-24}$ cm²).

Il risultato ottenuto con l'idrogeno (paraffina) ci ha fatto sorgere alcuni dubbi che passiamo ad esporre.

Se i neutroni da noi usati fossero realmente omogenei di 0,1 Mev oppure di 0,18 Mev, la sezione d'urto calcolata a mezzo della formula di Bethe e Peierls (*) prendendo 0,12 Mev per l'energia del livello ¹S del deutone dovrebbe essere pari a $9,4 \cdot 10^{-24}$ cm² ($\lambda \cong 1,3$ cm.) oppure $7,9 \cdot 10^{-24}$ ($\lambda \cong 1,6$ cm.); anche ammettendo che la correzione da noi introdotta per tener conto dei fattori geometrici sia insufficiente, ci sembra impossibile poter spiegare la discordanza come dovuta a ragioni di questo genere.

D'altra parte i gruppi di neutroni di 1,8 e 5,6 Mev (nel nostro caso 1,6 e 5,4) sono così deboli che, anche tenendo conto della maggiore ionizzazione prodotta dai corrispondenti protoni di rinculo, contribuiscono rispettivamente solo per il 2,5 % ed il 5 % alla ionizzazione totale; per eseguire tale valutazione abbiamo calcolato le sezioni d'urto con la formula di Bethe e Peierls.

Infine la possibilità che il disco di grafite avesse adsorbito un poco di deuterio dando luogo così ad emissione di neutroni secondo la reazione ${}^2\text{D} + {}^2\text{D} = {}^3\text{He} + {}^1_0\text{n}$, sembra da escludersi, dato che le nostre condizioni sperimentali sono assai simili a quelle di Bonner e Brubaker i quali hanno osservato i neutroni corrispondenti a questa reazione in numero del tutto trascurabile. Si aggiunga che sembra strano che in un ambiente alla pressione di $7 \cdot 10^{-3}$ mm. di Hg (pressione nel tubo durante le esperienze) un disco di grafite portato al color rosso dalla energia sviluppata dal fascio di ioni incidente, potesse adsorbire una quantità di deuterio che, per dare l'effetto osservato, dovrebbe essere superiore all'1 % entro lo strato in cui vengono frenati i deutoni.

Si aggiunga che sovrapponendo due o tre curve di assorbimento esponenziali quali risulterebbero per una miscela di neutroni delle predette energie secondo la formula di Bethe e Peierls, non si riesce a rappresentare, entro gli errori sperimentali, i nostri risultati, che invece si accordano con un semplice esponenziale.

Ci proponiamo quindi di investigare ulteriormente questo punto misurando la distribuzione energetica dei neutroni emessi nelle nostre condizioni.

RIASSUNTO

Vengono misurate le sezioni d'urto di molti elementi per neutroni aventi un'energia dell'ordine di 0,1-0,2 Mev emessi nella reazione $^{12}\text{C} + ^2\text{D} = ^{13}\text{N} + ^1\text{n}$. Viene stabilito che per neutroni di tale energia, la sezione cresce col numero atomico, ma non esiste una semplice relazione tra queste due grandezze.

SUMMARIUM

Dimensis multorum elementorum caesuris ex collisione, factis per neutrones quorum vis ac potestas sit ordinis 0,1-0,2 Mev quique emissi sint in reactione $^{12}\text{C} + ^2\text{D} = ^{13}\text{N} + ^1\text{n}$, illud evincitur; neutronibus huius roboris virtutisque adhibitis caesuras augeri pariter cum numero atomico, nullam vero simplicem earum rerum esse necessitudinem.

Roma. — Istituto di Sanità Pubblica - Laboratorio di Fisica.

BIBLIOGRAFIA

- (1) J. R. DUNNING, *Phys. Rev.*, 45, 587 (1934).
- (2) *Phys. Rev.*, 55, 108 (1939); *Scientific Papers of the I. P. C. R.*, 34, 864 (1938).
- (3) J. W. BONNER, W. M. BRUBAKER, *Phys. Rev.*, 50, 308 (1936).
- (4) M. S. LIVINGSTON, H. A. BETHE, *Rev. Mod. Phys.*, 9, 334 (1937).
- (5) *Proc. Roy. Soc.*, 154, 261 (1936).
- (6) E. AMALDI, D. BOCCIARELLI, F. RASETTI, G. L. TRABACCHI, questi *Rendiconti*, luglio 1939.
- (7) E. AMALDI, L. R. HAFSTAD, M. A. TUVE, *Phys. Rev.*, 51, 896 (1937).
- (8) H. A. GOLDSMITH, V. W. COHEN, J. R. DUNNING, *Phys. Rev.*, 55, 1124 (1939).
- (9) Vedi per esempio H. A. BETHE, R. F. BACHER, *Rev. Mod. Phys.*, 8, 117 (1936).

