

67. SULLA DISTRIBUZIONE ANGOLARE DEI NEUTRONI EMESSI NELLA DISINTEGRAZIONE DI ELEMENTI LEGGERI.

1. - Sulla distribuzione angolare dei prodotti di disintegrazione degli elementi leggeri sono stati raccolti finora pochi dati. Da questi risulta che nel caso più semplice del deuterio bombardato con deutoni la distribuzione angolare, sia dei protoni come dei neutroni emessi, rispettivamente nelle reazioni:



è, in ogni piano passante per il fascio di deutoni, simmetrica rispetto alla normale al fascio stesso, riferendo naturalmente i dati di misura a un sistema di coordinate in cui il baricentro è fermo.

In altri casi e precisamente nella disintegrazione del Li^6 e del B^{11} , bombardati rispettivamente con deutoni e con protoni, si sono trovate, per i protoni e le particelle α , distribuzioni angolari diverse e che variano con l'energia delle particelle che producono la disintegrazione (¹).

La difficoltà di eseguire tali esperienze consiste nel fatto che le particelle emesse nelle varie direzioni hanno una energia che dipende dalla direzione secondo la quale esse escono dal nucleo composto, ed è quindi necessario che il metodo adottato per rivelarle non abbia diversa sensibilità a seconda dell'energia delle particelle che devono essere registrate, altrimenti bisogna ricorrere ad opportune correzioni dei dati ottenuti.

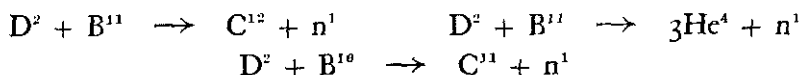
D'altra parte i dati sulla distribuzione angolare dei prodotti di disintegrazione nei processi di risonanza hanno interesse, in particolare nel caso di elementi leggeri, in quanto attraverso ad essi si ricavano indicazioni sul tipo del livello di risonanza del nucleo composto, quando si ammetta che tale livello sia unico, come è probabile nel caso dei nuclei leggeri.

Abbiamo mostrato (²) in una nota precedente come la sezione d'urto per scissione dell' U^{238} sia sensibilmente costante per neutroni di energia

compresa tra 0,2 e 10 MV. Il fenomeno di scissione dell'uranio offre perciò un metodo di rivelazione dei neutroni del tutto indipendente dalla loro energia entro un intervallo di energia assai esteso. Abbiamo usato quindi l'uranio come rivelatore dei neutroni, allo scopo di determinare la distribuzione angolare dei neutroni emessi nelle seguenti reazioni:



Abbiamo anche con lo stesso metodo determinato la distribuzione angolare dei neutroni emessi nella reazione $\text{D} + \text{B}$. Questi però costituiscono uno spettro assai esteso le cui righe sono da attribuirsi a tre processi diversi:



e per ricavare dati utili dalle distribuzioni trovate sperimentalmente bisognerebbe distinguere i vari gruppi di neutroni aventi diverse energie e trovare di ciascuno la distribuzione angolare.

Il fascio di deutoni usato era accelerato con una tensione di 850 Kv.

Il Be e il Li venivano usati sotto forma di dischetti metallici, il boro sotto forma di un disco di B_2O_3 .

2. - Il rivelatore di neutroni era la stessa camera di ionizzazione usata nelle esperienze sulla scissione dell'uranio, avente come elettrodi due dischi paralleli di 5 cm. di diametro e alla distanza di 3 cm. uno dei quali ricoperto di uno strato spesso di U_3O_8 , l'altro connesso a un amplificatore che registrava gli impulsi dovuti alla scissione dell'uranio a mezzo di una scala di otto Philips 4686.

La camera di ionizzazione era montata su di un braccio che le permetteva di fare i desiderati spostamenti angolari, mantenendola su una circonferenza avente il centro nel punto medio della piastrina colpita dal fascio dei deutoni (fig. 1). La distanza fra la piastrina bombardata e la camera di ionizzazione era 12 cm.

Per evitare errori dovuti alla non perfetta centratura del sistema, le misure venivano eseguite in ambedue i semipiani separati dalla direzione

del fascio di deutoni, e veniva presa come intensità registrata per ogni angolo θ la media dei dati ottenuti per quell'angolo nei due semipiani.

Per compensare eventuali variazioni di intensità dovute per esempio ad alterazioni della superficie della sostanza bombardata o a variazioni di intensità del fascio di deutoni, venivano eseguite serie complete di misure, per angoli crescenti e decrescenti, nei due semipiani distinti dalla direzione del fascio di deutoni alternativamente.

Le condizioni della sorgente di ioni e la tensione al tubo acceleratore erano mantenute molto costanti, e gli eventuali disturbi elettrici venivano accusati mediante un oscillografo. Inoltre per essere certi dell'assenza di questi ultimi, periodicamente si sostituiva all'elettrodo ricoperto di uranio della camera di ionizzazione un elettrodo nudo, e con l'impianto in funzione, si verificava l'effetto di zero.

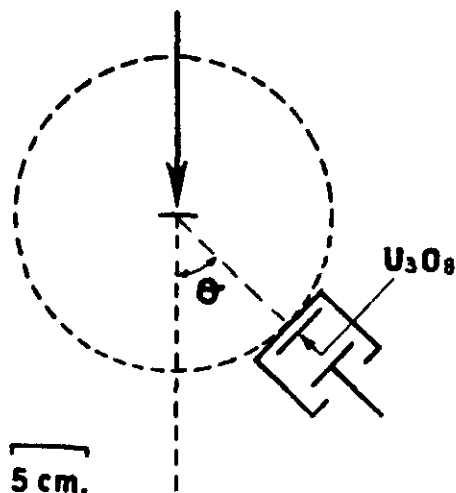


FIG. 1.

Dato che il processo di scissione dell'uranio avviene, per l'isotopo 235, con neutroni lenti, si è avuta particolare cura di eliminare il più possibile la presenza di neutroni comunque diffusi e si è anche ricoperta la parete esterna della camera con uno strato di cadmio di 0,52 gr./cm² di spessore per eliminare eventuali neutroni di energia termica.

Per esser certi delle buone condizioni dell'esperienza abbiamo poi eseguito delle misure per controllare se l'intensità dei neutroni raccolti dalla camera di ionizzazione variava effettivamente, nelle diverse direzioni, in ragione inversa del quadrato della distanza tra la camera e l'elemento bombardato.

Si è poi dovuto tener conto dell'assorbimento che i neutroni subiscono nell'attraversare il materiale che costituisce la coda, cioè l'estremità inferiore, del tubo, nella quale è contenuto l'elemento bombardato.

Essendo la coda del tubo cilindrica, lo spessore di parete che i neutroni devono attraversare per raggiungere la camera di ionizzazione è

infatti diverso a seconda della direzione secondo la quale i neutroni escono dalla piastrina bombardata. Di più, oltre al metallo, i neutroni devono attraversare anche lo strato d'acqua o di aria liquida che avvolge l'estremità inferiore del tubo per refrigerarla (fig. 2 e 5).

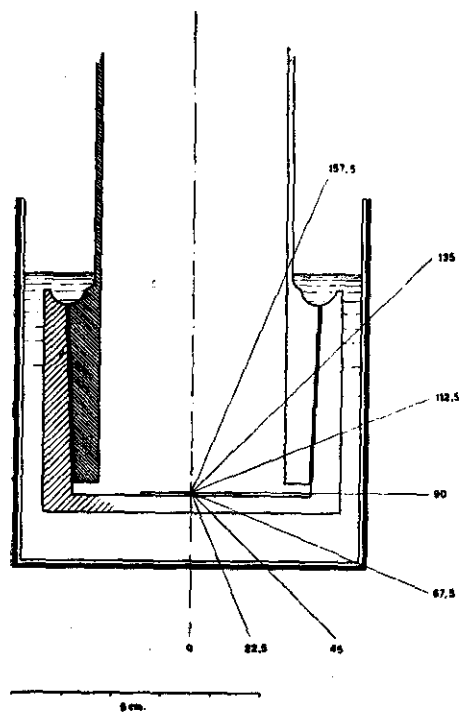


FIG. 2.

Le correzioni relative all'assorbimento sono assai sensibili e variano con l'energia dei neutroni. Abbiamo quindi, per i neutroni emessi in ciascuna delle reazioni studiate, determinato la curva di assorbimento sia nel materiale che costituiva la coda sia nell'acqua o nell'aria liquida. A questo scopo vennero fatte alcune serie di misure usando la camera di ionizzazione in posizione fissa, e precisamente nella direzione $\theta = 0^\circ$, come rivelatore di neutroni, e introducendo spessori crescenti del materiale assorbente sul cammino del fascio di neutroni nella camera, a ridosso del fondo della coda.

Nel caso delle reazioni $D + Be$, $D + Li$, $D + B$, la coda usata era in ottone, e il refrigeramento era fatto a mezzo di uno strato di acqua corrente (fig. 2) contenuta in un recipiente di ottone rivestito di uno strato di cadmio di $0,25 \text{ gr./cm}^2$ perchè non arrivassero alla camera neutroni rallentati dall'acqua.

Nelle fig. 3 e 4 sono riportate rispettivamente le curve di assorbimento nell'ottone e nell'acqua per i neutroni emessi in queste reazioni. Si osserva che nel caso del boro l'assorbimento nell'acqua è più forte che nel caso del berillio, benchè lo spettro dei neutroni del boro si estenda a energie assai maggiori di quelle del berillio, evidentemente a causa della presenza della parte molle assai intensa nello spettro dei neutroni del boro.

Nel caso della reazione $D + D$, l'esperienza veniva eseguita bombardando del ghiaccio pesante, per mantenere il quale l'estremità inferiore della coda del tubo veniva tenuta nell'aria liquida (fig. 5). A questo scopo veniva usata una coda in ferro a parete sottile (1 mm.) e uniforme: le correzioni dovute all'assorbimento dei neutroni in essa sono perciò trascurabili.

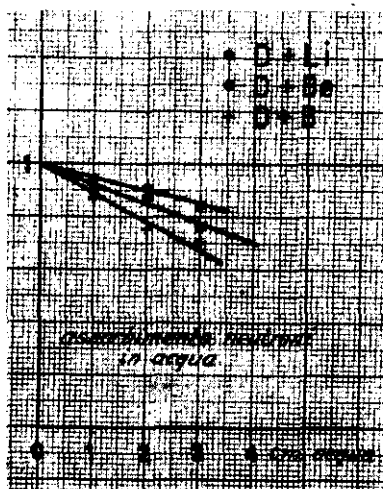


FIG. 3.

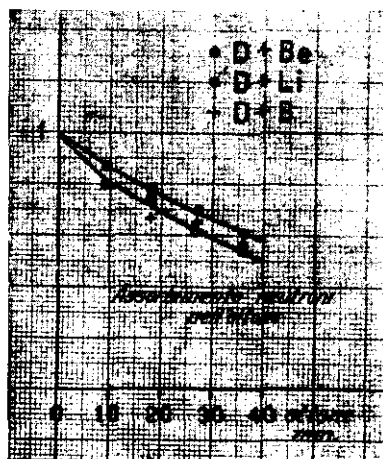


FIG. 4.

Le misure di assorbimento in aria liquida sono state fatte per i neutroni della $D + Be$ (fig. 6) anzichè della $D + D$, per comodità di lavoro, ritenendo di non commettere con questo un errore apprezzabile, dato che l'energia media dei neutroni emessi nella reazione $D + Be$ è all'incirca eguale a quella dei neutroni emessi nella $D + D$. Abbiamo contato senza aria liquida $72,6 \pm 0,2$ impulsi al minuto e con uno strato di 3 cm. di spessore di aria liquida posto sul cammino dei neutroni $64,1 \pm 0,2$ impulsi al minuto (*).

(*) Diamo, qui come nelle tabelle, l'errore probabile calcolato cioè secondo l'espressione:

$$\frac{2}{3} \sqrt{\frac{\sum e^2}{n(n-1)}}$$

3. - I risultati delle misure di distribuzione angolare dei neutroni emessi nelle reazioni $D + Be$, $D + Li$, $D + B$ sono riportati nelle Tabelle I, II e III con le correzioni relative. In queste sono indicati nella

colonna θ gli angoli tra la direzione di incidenza del fascio dei deutoni e quella di osservazione; nella $I_0(\theta)$ gli impulsi al minuto registrati dalla camera; nelle σ_1 e σ_2 rispettivamente gli spessori di acqua e di ottone in millimetri attraversati dai neutroni, e nelle $(I/I_0)_1$ e $(I/I_0)_2$ i corrispondenti coefficienti di riduzione dell'intensità dedotti dalle curve

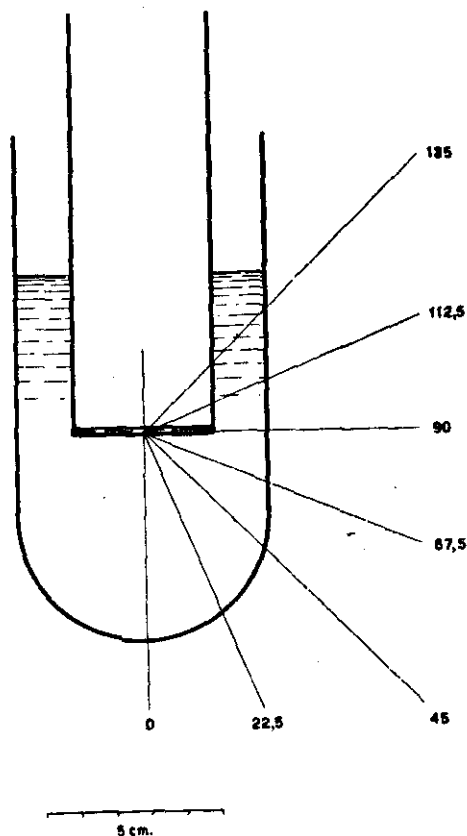


FIG. 5.

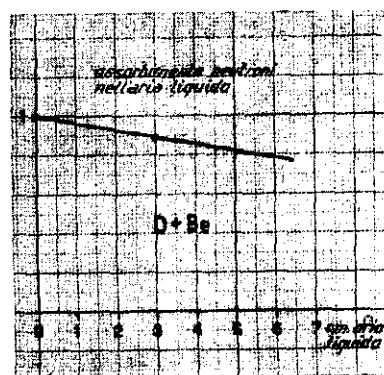


FIG. 6.

di assorbimento. La colonna $I(\theta)$ dà infine le intensità corrette, nelle varie direzioni, prendendo eguale a 100 l'intensità per $\theta = 0^\circ$.

Nelle figg. 7, 8 e 9 sono tracciati i grafici corrispondenti. I dati sono riferiti al sistema del laboratorio.

Nel caso della $D + Be$ è stata fatta un'esperienza di controllo delle correzioni fatte per gli assorbimenti in acqua e nell'ottone. Precisamente sono state ripetute le misure tenendo la lastrina di berillio in una coda a pareti di 1 mm. di ferro, raffreddata per mezzo di un anello di rame

TABELLA I.

(D + Be)

θ	$I_s(\theta)$	σ_1	$(I/I_0)_1$	σ_2	$(I/I_0)_2$	$I(\theta)$
0	$111,7 \pm 0,3$	10	0,92	6	0,91	100
22,5	$110,4 \pm 0,01$	11	0,91	7,3	0,89	102
45	$104,5 \pm 0,1$	14	0,89	8	0,88	100
67,5	$94 \pm 0,1$	25	0,80	15	0,80	100,5
90	$104,2 \pm 0,1$	4	0,97	11,5	0,84	96
112,5	$116 \pm 0,1$	4	0,97	14	0,81	111
135	$119 \pm 0,1$	5,5	0,95	17,2	0,78	122

TABELLA II.

(D + Li)

θ	$I_s(\theta)$	σ_1	$(I/I_0)_1$	σ_2	$(I/I_0)_2$	$I(\theta)$
0	590 ± 11	10	0,95	6	0,88	100
22,5	590 ± 9	11	0,94	7,3	0,86	105
45	527 ± 7	14	0,92	8	0,84	96,7
67,5	434 ± 7	25	0,87	15	0,75	94
90	437 ± 7	4	0,98	11,5	0,80	78,2
112,5	408 ± 6	4	0,98	14	0,76	77,5
135	342 ± 4	5,5	0,97	17,2	0,72	69,4

TABELLA III.

(D + B)

θ	$I_s(\theta)$	σ_1	I/I_0	σ_2	$(I/I_0)_2$	$I(\theta)$
0	84 ± 3	10	0,88	6	0,87	100
45	66 ± 2	14	0,84	8	0,84	85
90	42 ± 2	4	0,95	11,5	0,77	52,2
135	40 ± 1	5,5	0,94	17,5	0,70	56

percorso da acqua, saldato attorno alla coda a 26 cm. dal fondo e ricoperto di cadmio. Nella fig. 6 le crocette rappresentano i dati delle misure corrette per gli assorbimenti, e i punti i dati ottenuti in quest'ultima esperienza di controllo (Tabella IV).

TABELLA IV.

(D + Be)

θ	$I_n(\theta)$	$I(\sigma)$	σ	$I_n(\theta)$	$I(\theta)$
0	83 ± 3	100	90	79 ± 3	96
22,5	92 ± 3	111	112,5	101 ± 3	122
45	86 ± 4	103	135	112 ± 5	125
67,5	78 ± 3	94	157,5	113 ± 4	137

La distribuzione dei neutroni della D + D è riportata nella Tabella V e nella fig. 10. Nella tabella V sono nella prima colonna gli angoli θ di osservazione, nella seconda gli spessori di aria liquida attraversati dai neutroni prima di raggiungere la camera, nella terza i corrispondenti coefficienti di riduzione dedotti dalla fig. 6. Nella quarta sono le

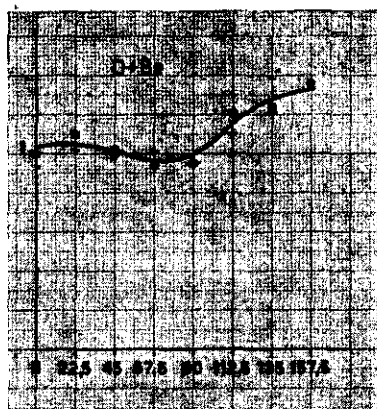


FIG. 7.

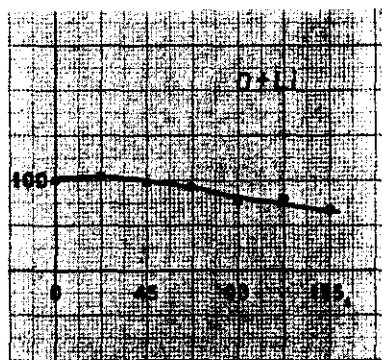


FIG. 8.

intensità corrette per questo assorbimento e infine nelle ultime due colonne sono le intensità e gli angoli relativi riportati a un sistema di coordinate che si muove col baricentro delle masse D + D.

Dalla fig. 7 risulta, in accordo con le misure degli altri Autori, che la distribuzione è simmetrica rispetto alla direzione normale a quella di incidenza dei deutoni. La curva tracciata sul grafico e che meglio si adatta ai punti trovati sperimentalmente, rappresenta la funzione $1 + 0,5 \cos^2 \theta$ in buon accordo con i risultati di Kempton, Brown e Maarsdorp

che trovano un rapporto 1,5 tra l'intensità a 0° e quella a 90° , e con i risultati di Haxby, Allen e Williams che trovano una distribuzione la cui migliore espressione matematica è $1 + 0,7 \cos^2 \theta$.

TABELLA V.

(D + D)

θ	$I_s(\theta)$	θ_1	I/I_0	$I(\sigma)$	$I(\bar{\theta})$	$\bar{\theta}$
0	532 ± 48	60	0,79	674	512	0
22,5	436 ± 6	57	0,70	624	485	25,45
43	296 ± 5	48	0,83	357	297	50,53
65	211 ± 5	38	0,86	245	234	75,46
90	182 ± 4	25	0,91	200	210	98,27
110	237 ± 6	12	0,96	247	286	120,20
132,5	290 ± 7	22	0,92	315	297	141,0

I risultati sperimentali non sono in vece in pieno accordo con quelli di Myers il quale ammettendo che lo stato composto sia 3_1P deduce che la

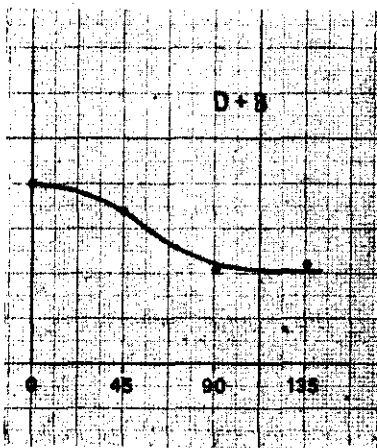


FIG. 9.

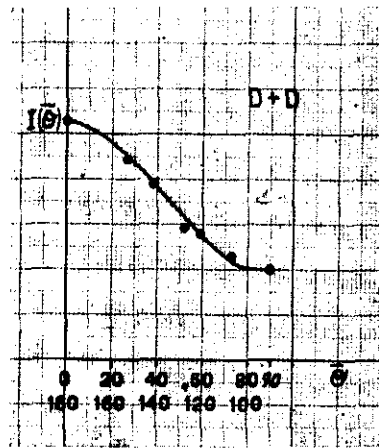


FIG. 10.

distribuzione angolare dovrebbe avvenire secondo la funzione $1 + \cos^2 \theta$. Ciò non sorprende in quantochè lo stesso Myers avverte che il suo risultato deve essere considerato come un tentativo, non essendo la reazione D + D di risonanza.

RIASSUNTO

È stata determinata la distribuzione angolare dei neutroni emessi nelle reazioni $D + D$, $D + Be$, $D + Li$, $D + B$, usando una camera di ionizzazione avente un elettrodo coperto di uranio, dato che il fenomeno di scissione dell' U^{238} ha una sezione d'urto che varia poco con l'energia dei neutroni che provocano la scissione.

SUMMARIUM

Definita est angularis distributio neutronum qui emissi sunt in $D + D$, $D + Be$, $D + Li$, $D + B$ reactionibus ab Auctoribus qui usi sunt cella ionisationis, cui est electrodus Uranio tectus.

Scissionis enim phaenomenon Uranii 238 habet collisus sectionem seiunctam vi neutronum qui scissionem provocant.

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

BIBLIOGRAFIA

(¹) A. E. KEMPTON, B. C. BROWNE, R. MAARSDORP, Proc. Roy. Soc., A. 157, 386 (1936); NEUERT, Physik Zeit., 38, 122, 618 (1937); Naturwiss., 26, 429 (1938); R. O. HAXBY, J. S. ALLEN, J. H. WILLIAMS, Phys. Rev., 55, 140 (1939).

(²) M. AGENO, E. AMALDI, D. BOCCIARELLI, N. B. CACCIAPUOTI, G. C. TRABACCHI, Rend. Accad. Italia, 10, VII, 525 (1940); Rendiconti Istituto Sanità Pubbl., 3, 753 (1940).
