

14. SULL'URTO FRA PROTONI E NEUTRONI. - Nota II.

In un precedente lavoro abbiamo esposto i primi risultati di alcune ricerche intese a determinare la distribuzione angolare dei protoni di rinculo di neutroni di elevata energia (¹). Tali risultati, riferiti al sistema del baricentro delle due particelle, indicavano l'esistenza di una maggiore diffusione in avanti che all'indietro. L'entità di tale effetto non poteva tuttavia venir stabilita con certezza a causa dei relativamente grandi errori da cui erano affette le nostre misure.

Abbiamo quindi ripreso in esame il problema facendo uso di un nuovo dispositivo, nel quale sono stati ridotti al minimo quegli inconvenienti che avevamo riscontrato nelle esperienze precedenti.

Anche il metodo di misura, basato sull'alternare assai frequentemente i conteggi sotto diversi angoli a mezzo di un dispositivo automatico, è stato studiato in modo da rendere minimi gli errori dovuti a cause sistematiche come, per esempio, lente variazioni della tensione applicata al tubo o della intensità di corrente della sorgente di ioni.

Come vedremo i risultati ottenuti con il nuovo dispositivo confermano e precisano quantitativamente l'esistenza di una maggiore diffusione in avanti dei neutroni incidenti.

Nel paragrafo N. 2 esponiamo il principio del metodo usato accennando qualitativamente alle sue caratteristiche essenziali mentre nel paragrafo N. 3 diamo la formula che lega la sezione d'urto differenziale $\sigma(\Theta, E)$ al numero di protoni osservati sotto diversi angoli, nell'ipotesi che sia la sorgente di neutroni che l'apertura del sistema di conteggio dei protoni di rinculo siano infinitesime (ossia di dimensioni trascurabili rispetto alla loro distanza dalla paraffina diffondente).

Nel paragrafo N. 4 descriveremo il dispositivo usato e nel paragrafo N. 5 mostreremo come si possa tener conto delle dimensioni finite della

sorgente e della apertura del sistema di conteggio. Nel paragrafo N. 6 esporremo le misure ed i risultati sperimentali. Infine nel paragrafo N. 7 daremo una breve discussione dei risultati ottenuti, mettendoli a confronto con le previsioni basate sulle diverse teorie delle forze nucleari.

Principio del metodo.

Come nelle nostre esperienze precedenti su questo problema i protoni vengono rivelati da tre contatori proporzionali in coincidenza posti ad una distanza fissa da uno strato di paraffina investita dai neutroni emessi da un elemento leggero (B o Li) colpito da un fascietto di deutoni accelerati a mezzo dell'impianto ad 1 milione di volt dell'Istituto Superiore di Sanità. In tal modo inserendo un opportuno assorbitore di alluminio sul percorso dei protoni, fra la paraffina e il primo dei tre contatori proporzionali, si registrano tutti i protoni la cui energia superi un valore prefissato, dipendente dalla distanza paraffina-contatori, dalle pareti di questi e dall'assorbitore usato. Variando lo spessore di quest'ultimo si ottiene ciò che comunemente si indica come spettro integrale dei protoni di rinculo.

L'inconveniente più grave presentato dal dispositivo usato nelle precedenti esperienze, consisteva nel fatto che le dimensioni trasversali davano luogo ad una indefinizione angolare relativamente grande, per ridurre la quale si era costretti ad usare una assai stretta striscia di paraffina, col che il numero dei protoni di rinculo risultava corrispondentemente ridotto.

A questo proposito si noti che ogni indefinizione angolare si riflette in una corrispondente indefinizione dell'energia dei neutroni i cui protoni di rinculo possono venir registrati. Ciò porta come conseguenza che, se lo spettro dei neutroni non è costituito da una sola riga o gruppo, i protoni osservati sotto diversi angoli corrispondono a neutroni di diversa energia. Questo fatto costringe ad introdurre una correzione dipendente dalla forma dello spettro. Si comprende quindi come la scelta di buone condizioni geometriche sia fondamentale in esperienze di questo tipo.

Abbiamo quindi studiato un dispositivo tale che le dimensioni trasversali della paraffina non avessero alcuna influenza sulla indefinizione angolare: tale dispositivo, che verrà descritto nelle sue linee essenziali

nella parte *a*) di questo paragrafo, presenta il vantaggio di dare un relativamente elevato numero di protoni di rinculo ed al tempo stesso una definizione angolare perfetta, almeno fintantochè si supponga, come noi faremo per il momento, che sia la sorgente di neutroni che l'apertura del sistema di conteggio siano infinitesime.

Un altro aspetto sotto cui il nostro nuovo dispositivo differisce dal precedente è lo spessore della paraffina diffondente; a tale argomento

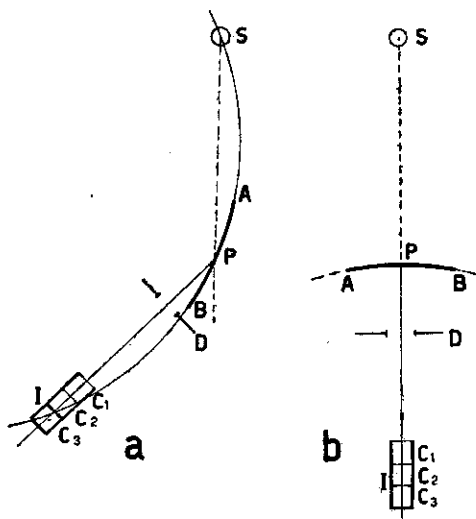


FIG. 1.

dedicheremo la parte *b*) del presente paragrafo, mentre la parte *c*) si occupa di un semplice artificio sperimentale che permette di ottenere la compensazione della indefinizione della energia dei protoni di rinculo.

a) allo scopo di mettere in evidenza o meno l'esistenza di una anisotropia (nel sistema del baricentro) della distribuzione angolare dei protoni di rinculo di neutroni di elevata energia (12-15 MV) è sufficiente eseguire la misura del numero dei pro-

toni sotto due soli angoli. E' ora evidente che gli angoli più convenienti (nel sistema del baricentro) sono $\Theta_p = 0^\circ$ e $\Theta_p = 90^\circ$ ai quali corrispondono, nel sistema del laboratorio, gli angoli $\vartheta_p = 0^\circ$ e $\vartheta_p = 45^\circ$. Pertanto abbiamo costruito un dispositivo il più adatto possibile per l'esecuzione di misure sotto questi due soli angoli.

Nella fig. 1 è rappresentato schematicamente il dispositivo usato; S rappresenta la sorgente di neutroni che per ora supponiamo puntiforme; I rappresenta l'apertura del sistema di conteggio dei protoni di rinculo, la quale pure viene per il momento supposta infinitesima. Lo strato di paraffina diffondente i neutroni, avente il centro in P, si estende da A a B lungo il cerchio di raggio ρ passante per S ed I (fig. 1-a). E' ora evidente che, con questa disposizione, tutti i protoni provenienti da un qualunque punto della paraffina in seguito all'urto di un neutrone emes-

so da S e che vanno a passare per I, sono stati diffusi esattamente sotto lo stesso angolo.

Il valore di questo angolo è legato al raggio ρ del cerchio e alla distanza $d = SP = PI$ dalla semplice relazione

$$[1] \quad \rho = \frac{d}{2 \operatorname{sen} \frac{\vartheta_p}{2}}$$

dalla quale, prendendo per esempio $d = 20,0$ cm e $\vartheta_p = 45^\circ$ si ottiene

$$[2] \quad \rho = 26,13 \text{ cm.}$$

Per eseguire la misura dei protoni di rinculo nella direzione $\vartheta_p = 0^\circ$ si ruoti ora sia l'arco di paraffina A B che il sistema dei tre contatori attorno al punto P, in modo da ottenere la disposizione rappresentata schematicamente nella fig. 1 b. L'angolo solido sotto cui da I è vista la superficie della paraffina conserva lo stesso valore in entrambe le disposizioni rappresentate nelle figg. 1 a e 1 b grazie al diaframma D.

Dal confronto delle due disposizioni rappresentate in queste due figure si vede subito che mentre nelle misure a 45° il sistema di conteggio registra i protoni provenienti dalla stessa faccia della paraffina su cui incidono i neutroni, nelle misure a 0° vengono registrati i protoni uscenti dalla faccia della paraffina opposta a quella investita da neutroni. Affinchè i risultati ottenuti nei due casi siano direttamente confrontabili fra loro è quindi necessario che lo spessore dello strato di paraffina sia così piccolo da poter trascurare (nelle misure a 0°) l'assorbimento subito dai neutroni nell'attraversare la paraffina stessa. Tale condizione viene facilmente soddisfatta dato che il cammino libero medio di neutroni di oltre 10 MV di energia nella paraffina è di circa 4 cm.

Uno strato di paraffina il cui spessore non superi 1 o 2 mm. può essere quindi considerato sottilissimo a questi effetti.

b) La scelta dello spessore della paraffina diffondente è tuttavia subordinata ad altre condizioni imposte dal fatto che il potere frenante dei vari corpi, ed in particolare della paraffina, è, per i protoni, relativamente elevato.

In esperienze di questo tipo l'ideale sarebbe infatti che lo spessore dello strato diffondente fosse trascurabile rispetto al percorso dei protoni. Tale

condizione può essere soddisfatta evidentemente solo in modo approssimato, specialmente nelle misure a 45° ove i protoni di rinculo hanno una energia metà di quella posseduta dai protoni proiettati in avanti. Per esempio con neutroni di energia superiore o eguale a 12,5 MV i corrispondenti protoni di rinculo hanno un percorso minimo di 171 cm d'aria a $\vartheta_p = 0^\circ$ e di 50 cm d'aria a $\vartheta_p = 45^\circ$. Si riconosce così come anche uno strato di paraffina di 5-10 mgr/cm² di spessore (equivalenti a 5-10 cm. d'aria) non possa essere considerato come trascurabile specialmente nelle misure a 45° .

Dato che un'ulteriore diminuzione dello spessore della paraffina darebbe luogo ad una corrispondente diminuzione del numero dei protoni osservati, si è costretti in pratica a lavorare con uno strato di 5-10 mgr/cm² e ad introdurre una correzione il cui valore viene evidentemente a dipendere dalla forma dello spettro dei neutroni usati.

Questo inconveniente si può tuttavia evitare facendo uso di uno strato di paraffina di spessore infinito, rispetto al percorso dei protoni.

Come meglio vedremo nel paragrafo 3 in tal modo ciò che si misura con il nostro sistema di contatori è lo spettro dei protoni di rinculo integrato due volte (una prima volta per quanto è stato detto al principio di questo paragrafo, e una seconda per lo spessore infinito della paraffina) moltiplicato per il semplice fattore

$$[3] \quad \frac{1}{F} \cos \alpha \cos^2 \vartheta_p$$

dove α è l'angolo formato dalla direzione in cui si muove il protone di rinculo con la normale alla superficie della paraffina diffondente, ed F è il potere frenante ossia

$$[4] \quad F = \frac{dE_p}{dR}$$

(E_p energia cinetica ed R corrispondente percorso del protone). Come vedremo l'unica approssimazione che viene fatta nell'esecuzione di questo calcolo è di supporre che F sia costante in un intervallo di energia di circa 2 MV, ipotesi questa assai ragionevole come si può controllare in base alle curve che rappresentano l'andamento dell'energia in funzione del percorso R .

In base a tali considerazioni siamo stati portati a lavorare con uno strato di paraffina dello spessore di 1,2 mm. il quale può essere considerato

come infinito rispetto al percorso dei protoni e come trascurabile rispetto all'assorbimento dei neutroni incidenti.

c) Riprendiamo ora in esame la fig. 1a. Si riconosce subito che se con tale disposizione si è ottenuta una assai buona definizione angolare, si è per altro introdotto un altro inconveniente; infatti i protoni provenienti dall'estremo A della paraffina per giungere in I debbono percorrere un tratto assai più lungo di quelli provenienti per esempio dal centro P o dall'estremo B. Si viene così ad introdurre un'indefinizione nella energia dei protoni di rinculo registrati dai contatori, la quale, pur essendo assai meno grave, dà luogo ad inconvenienti assai simili a quelli dovuti alla indefinizione angolare.

Per evitare questo inconveniente si possono seguire due diversi criteri

Il primo e più evidente è quello di fare il vuoto nella zona di spazio circostante la paraffina. Dato però che il nostro dispositivo era già abbastanza complicato, abbiamo preferito seguire l'altro metodo consistente nel cambiare lievemente la geometria del dispositivo in modo che i protoni di rinculo provenienti da A avessero una energia superiore a quella dei protoni provenienti da B, di quel tanto che essi perdono a causa del maggior percorso.

Dato che l'energia E_p del protone di rinculo è legata all'energia E del neutrone incidente dalla semplice relazione

$$[5] \quad E_p = E \cos^2 \vartheta_p$$

basta ruotare l'arco di paraffina di un piccolo angolo ε attorno al punto P per far sì che i protoni provenienti da A vengano diffusi sotto un angolo lievemente più piccolo di quelli provenienti da P ed abbiano di conseguenza, a parità di energia E del neutrone incidente, una maggiore energia.

Sostituendo agli effetti di questo calcolo all'arco di paraffina una superficie piana, si ottiene, in prima approssimazione, il seguente valore di ε

$$\text{tag } \varepsilon = \frac{r}{4 \frac{E}{Fd} \cos \vartheta_p (\cos \vartheta_p + 1) \text{tag } \frac{\vartheta_p}{2} + \text{tag } \frac{\vartheta_p}{2}}$$

dalla quale, ponendo $E = 12,5$ MV $d = 20$ cm., $\vartheta_p = 45^\circ$ $F \equiv 0,065$ (nell'argon per protoni di energia compresa fra 6,25 e 7,25 MV), si ottiene $\varepsilon \sim 3^\circ$.

Per assicurarci che tale valore dell'angolo desse effettivamente luogo alla voluta compensazione, abbiamo calcolato numericamente per diversi

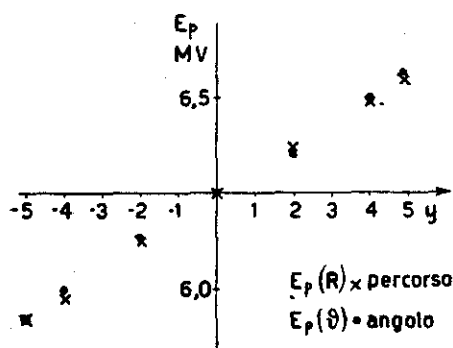


FIG. 2.

punti lungo l'arco della paraffina (variabile y) l'energia $E_p(\theta_p)$ dei protoni di rinculo in base alla [5] e l'energia $E_p(R)$ necessaria ad un protone per venir registrato dai contatori in base al percorso effettivo che essi debbono percorrere. Il calcolo è stato eseguito per neutroni di energia $E = 12,5$ MV.

I risultati di tali calcoli sono riportati nella fig. 2 dalla quale si riconosce che la compensazione è assai soddisfacente; i piccoli scarti fra le due serie di punti sono dovuti all'imprecisione dei calcoli e sono in ogni caso trascurabili.

Calcolo del numero dei protoni diffusi.

Nel paragrafo precedente abbiamo discusso i criteri di massima in base ai quali abbiamo costruito il nostro dispositivo per lo studio della distribuzione angolare dei protoni di rinculo.

Ci proponiamo ora di dedurre la formula che lega la sezione d'urto differenziale protone-neutrone al numero di protoni osservati entro un dato angolo solido.

I simboli da noi usati sono i seguenti:

$\Sigma(\theta_p, E) d\Omega_p = \sigma(\theta_p, E) g(E) d\Omega_p$ sezione d'urto differenziale per i neutroni di energia E . Facciamo l'ipotesi di poter decomporre la funzione $\sigma(\theta_p, E)$ nel prodotto di una funzione $\sigma(\theta_p, E)$ che varia molto poco al variare dell'energia di 1 o 2 MV, e di una funzione $g(E)$ che dipende solo dall'energia.

$d\Omega_p$ = angolo solido, nel sistema del baricentro, entro cui rinculano i protoni; esso è legato al corrispondente angolo solido $d\omega_p$ nel sistema del laboratorio dalla relazione

[6]

$$d\Omega_p = 4 \cos \vartheta_p d\omega_p$$

$n(\vartheta_p)d\omega_p$ = numero dei protoni osservati in un secondo entro l'angolo solido $d\omega_p$.

$f(E)dE$ = numero dei neutroni emessi in un secondo dalla sorgente entro tutto l'angolo solido, dotati di energia compresa fra E ed $E + dE$.

$\varphi(E) = \int_E^\infty f(E)g(E)dE$ ossia (a parte un fattore pressochè costante) spettro integrale dei protoni di rinculo osservati in avanti ($\vartheta_p = 0^\circ$).

$\Phi(E) = \int_E^\infty \varphi(E)dE$ ossia spettro integrato due volte.

N_0 = numero dei protoni contenuti in 1 cm^3 di paraffina.

d_1 = distanza della sorgente di neutroni da un punto generico della paraffina.

d_2 = distanza di un punto generico della paraffina da I.

dS = elemento di superficie della paraffina.

x = profondità nella paraffina misurata normalmente alla superficie ($x = 0$).

β = angolo formato dalla direzione del moto del neutrone incidente con la normale alla superficie della paraffina.

E_0 = energia minima che deve avere un neutrone affinché i suoi protoni di rinculo vengano registrati.

E_{pt} = energia minima che deve avere un protone proiettato nella direzione ϑ_p per poter esser registrato; affinché E_{pt} sia legato ad E_0 dalla [5] è necessario che per ogni valore dell'angolo ϑ_p venga posto sul percorso dei protoni un assorbitore tale che $\frac{E_{pt}}{\cos^2 \vartheta_p} = E_0 = \text{costante}$.

Con considerazioni elementari si trova:

$$[7] \quad n(\vartheta_p)d\omega_p = \frac{N_0}{\pi} \int_S \frac{\cos \vartheta_p \cos \beta}{d_1^2} dS \int_0^\infty \frac{dx}{\cos \beta} \int_{E_t}^\infty \sigma(\Theta_p, E) g(E) f(E) dE d\omega_p$$

dove E_t è l'energia minima che deve avere un neutrone, affinché il corrispondente protone di rinculo, emesso a profondità x nella paraffina nella direzione ϑ_p possa venir registrato.

E_t è quindi una funzione di x ; e precisamente ricordando le [4] e [5] potremo scrivere:

$$[8] \quad E_t = \frac{E_{pt} + F \frac{x}{\cos \alpha}}{\cos^2 \vartheta_p} = E_0 + \frac{F}{\cos \alpha \cos^2 \vartheta_p} x$$

Nell'ipotesi che $\sigma(\Theta_p, E)$ non varii sensibilmente nell'intervallo di energia considerato la [7] si può scrivere:

$$[9] \quad n(\vartheta_p) d\omega_p = \frac{N_0}{\pi} \sigma(\Theta_p, \bar{E}) \int_s \frac{\cos \vartheta_p dS}{d_1^2} \int_0^\infty \varphi(E_t) dx d\omega_p$$

Per eseguire l'integrazione rispetto ad x ci possiamo servire della [8] che lega questa variabile ad E ; differenziando la [8] e sostituendo nella [9] si ha:

$$[10] \quad n(\vartheta_p) d\omega_p = \frac{N_0}{\pi} \sigma(\Theta_p, \bar{E}) \int_s \frac{\cos \alpha \cos^2 \vartheta_p}{d_1^2} dS \Phi\left(\frac{E_{pt}}{\cos^2 \vartheta_p}\right) d\omega_p$$

Si noti che $\frac{N_0}{\pi} \Phi\left(\frac{E_{pt}}{\cos^2 \vartheta_p}\right)$ è una grandezza indipendente dall'angolo di diffusione. Per il potere frenante F si deve invece prendere per ogni valore dell'angolo di diffusione ϑ_p il valore che compete all'energia dei protoni proiettati in quella direzione.

L'energia media $\bar{E}$ che figura nella [10] come argomento di $\sigma(\Theta_p, \bar{E})$ può venir facilmente espressa a mezzo dello spettro integrato due volte $\Phi(E)$.

Partendo dalla definizione di media e integrando per parti due volte si può porre:

$$[11] \quad \bar{E} = \frac{\frac{E_{pt}}{\cos^2 \vartheta_p} \Phi\left(\frac{E_{pt}}{\cos^2 \vartheta_p}\right) + 2 \int \frac{\Phi(E) dE}{E_{pt}/\cos^2 \vartheta_p}}{\Phi\left(\frac{E_{pt}}{\cos^2 \vartheta_p}\right)}$$

col che si è fatta ancora una volta l'ipotesi che $\sigma(\Theta_p, E)$ sia costante nello intervallo di integrazione.

Il dispositivo sperimentale.

a) *La camera di diffusione.* — Come nelle nostre precedenti esperienze, i tre contatori proporzionali sono pieni di argon tecnico a pressione atmosferica, dato che questo gas presenta il duplice vantaggio, rispetto all'aria, di dar luogo ad impulsi di assai breve durata, permettendo così

di usare un dispositivo di coincidenze di elevato potere risolutivo, e di subire, sotto l'azione dei neutroni incidenti, un assai limitato numero di processi disintegrativi. A questo proposito abbiamo eseguito alcune centinaia di fotografie con la camera di Wilson riempita sia di aria che di argon puro al 99 % ed abbiamo così riconosciuto che, sotto l'azione dei neutroni della $D + Li$ il numero delle disintegrazioni osservate nell'argon non supera il 15 % di quelle osservate nell'aria.

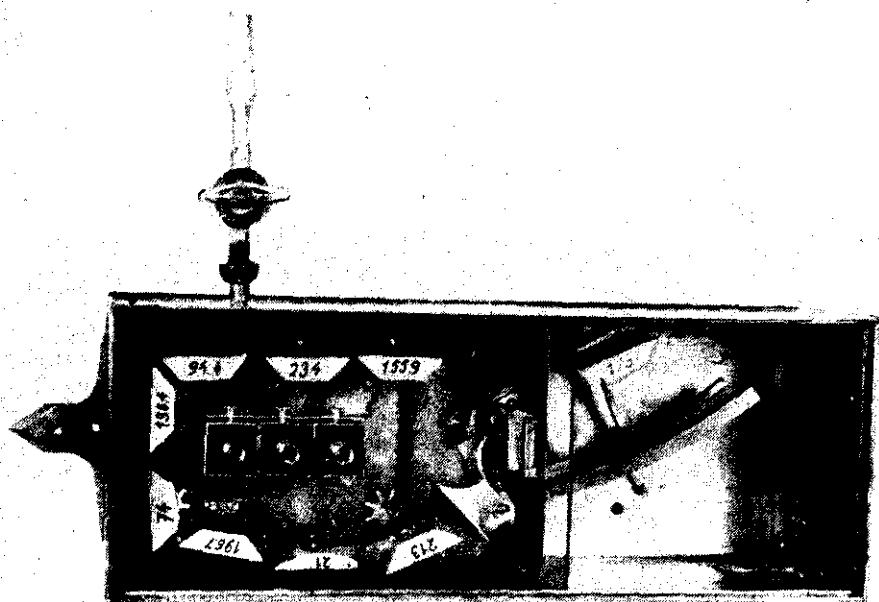


FIG. 3. - Cassetta dei contatori.

Allo scopo di poter tenere i contatori pieni di argon senza bisogno di inserire inutili pareti di alluminio sul percorso dei protoni abbiamo preferito anche questa volta rinchiudere tutte le parti essenziali del sistema entro una scatola di ottone a tenuta e riempire questa di argon tecnico.

Tale scatola, le cui dimensioni sono $37 \times 14 \times 12$ cm³, è rappresentata priva di coperchio, nella fig. 3.

In tale figura sono ben visibili i tre contatori proporzionali, quadrati, di $24 \times 24 \text{ mm}^2$ di sezione e 40 mm. di lunghezza utile.

Essi sono muniti di anello di guardia messo a terra ed hanno un filo di tungsteno di 0,2 mm. di diametro.

A destra si trova l'arco di paraffina di raggio $\rho = 26,12 \text{ cm.}$ e di 11 cm. di corda. L'altezza della paraffina in direzione perpendicolare al piano della figura è pure di 40 mm. Il supporto della paraffina è costituito da una lamina di ottone di 0,1 mm. di spessore, mantenuta curva da due archi di bronzo lavorati con gran precisione e fissati lungo i suoi orli superiore ed inferiore. Allo scopo di poter far ruotare l'arco di paraffina dall'esterno della scatola di ottone, questo è montato su di un perno portato da un cono metallico bene ingrassato.

Nella fig. 3 sono altresì ben visibili il diaframma di ottone indicato con D nella fig. 1, avente una finestra di $30 \times 40 \text{ mm}^2$ e a destra di questo uno sportello di ottone, di 2 mm. di spessore, mosso da un relais fissato sul fondo della scatola, il quale permette di aprire o chiudere il diaframma D. E' infatti chiaro che le coincidenze triple registrate dai tre contatori sono dovute, in parte, ai protoni di rinculo provenienti dall'arco di paraffina ed in parte alle disintegrazioni prodotte dai neutroni entro l'argon ed i materiali vari con cui sono costruiti i contatori, le quali danno luogo ad un fondo di coincidenze causali.

Dato che con il diaframma D chiuso si contano solo queste ultime, è chiaro che la differenza fra i numeri di coincidenze triple contate con il diaframma rispettivamente aperto e chiuso è da imputarsi ai soli protoni provenienti dalla paraffina.

Una catena di bicicletta, movibile a mano dall'esterno a mezzo di un altro cono ben ingrassato, permette inoltre di inserire sul percorso dei protoni opportuni spessori di alluminio, allo scopo di determinare la curva di assorbimento dei protoni di rinculo.

Come risulta dalla [5] l'energia dei protoni di rinculo dovuti a neutroni di una ben determinata energia E è pari a E per $\theta_p = 0^\circ$ e a $E/2$ per $\theta_p = 45^\circ$. Volendo quindi contare sotto ciascuno di questi due angoli il numero dei protoni di rinculo dovuti a neutroni di energia superiore od eguale ad un valore prefissato E_0 abbiamo proceduto nel se-

guente modo. Mentre tutte le altre cinque pareti dei tre contatori erano costituite da foglie di alluminio di $1,92 \text{ mgr./cm}^2$, la prima parete del primo contatore era fatta da uno spessore tale da far registrare solo i protoni di energia maggiore o eguale a $E_0/2$. In tal modo mentre nelle misure a 45° non c'è più bisogno di inserire alcun assorbitore sul percorso dei protoni, nelle misure a 0° è necessario aggiungere un assorbitore che sposti l'energia minima necessaria ad un protone per venir registrato da $E_0/2$ ad E_0 . Tale assorbitore è stato fissato ad un piccolo braccio di ottone connesso rigidamente all'arco di paraffina: come risulta dalla fig. 3, quando la paraffina è ruotata di lato nella disposizione usata per le misure a 45° , tale assorbitore si trova fuori dal percorso dei protoni; mentre quando la paraffina si trova nella disposizione per le misure in avanti, tale assorbitore viene a coprire il diaframma D.

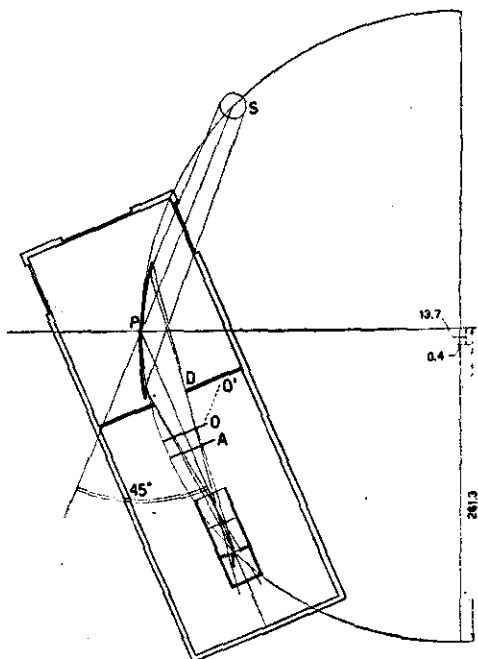


FIG. 4.

Nella figura 4 riproduciamo infine uno schema della camera d'urto della sorgente e dei contatori da cui risultano le dimensioni delle varie parti.

Si noti in particolare che il diaframma I che limita l'apertura del sistema dei tre contatori è di 12 mm. e che la sorgente dei neutroni è limitata, a mezzo di un opportuno diaframma inserito entro l'estremità inferiore del tubo, ad un disco di 20 mm. Le distanze SP e PI sono entrambe di 20 cm. Si noti inoltre che le pareti della camera erano state assottigliate da 4 mm. a 0,1 mm. in quelle zone in cui vengono a passare i neutroni incidenti sulla paraffina.

Nella stessa figura sono state segnate le coordinate del centro dell'arco di paraffina rispetto al centro del cerchio passante per SPI. A rap-

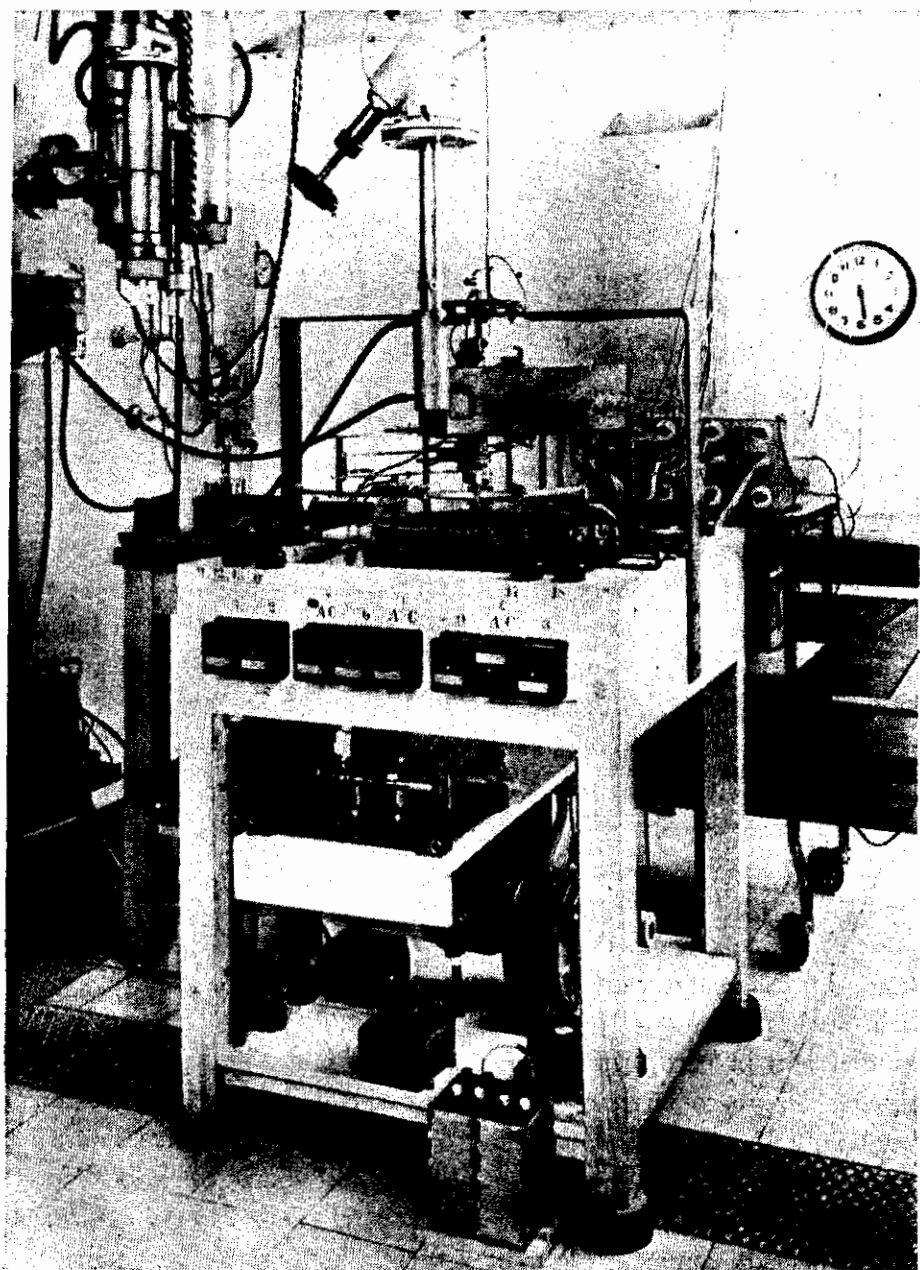


FIG. 5. - Apparecchio per la esecuzione automatica delle misure.

presenta l'assorbitore di Al inserito sul percorso dei protoni; O ed O' sono le due posizioni assunte dallo sportello che chiude ed apre il diaframma D.

b) *Il dispositivo per le misure sotto diversi angoli.* — La camera d'urto descritta in a) è stata quindi montata su di un asse verticale passante per il centro P della paraffina in modo da permetterle di ruotare come è stato spiegato nel par. 2 a). Nella fig. 5 diamo una fotografia dell'insieme della camera d'urto, del dispositivo automatico che ora passiamo a descrivere e della estremità inferiore del tubo.

Infatti allo scopo di evitare gli errori sistematici dovuti a lente variazioni dell'intensità del tubo, abbiamo disposto le cose in modo da poter alternare assai frequentemente le misure sia sotto i diversi angoli che con il diaframma D aperto e chiuso.

Abbiamo quindi ritenuto opportuno far sì che il nostro apparecchio cambiasse disposizione in modo automatico ogni 28 secondi.

Il funzionamento automatico (fig. 6) si ottiene mediante due motori che funzionano alternativamente mediante due teleruttori (1 e 2) dei quali quando l'uno è chiuso l'altro è aperto e viceversa; uno dei motori è sincrono e provvede a regolare la durata delle misure, l'altro è un motore asincrono trifase fortemente demoltiplicato destinato ai movimenti della cassetta. Alcuni contatti momentanei che chiudono o aprono dei teleruttori o commutatori sono azionati in parte dal motore sincrono mediante l'asticella S portata dal disco che fa un giro ogni 30 secondi, e in parte dall'asticella T solidale con la cassetta C.

Questi contatti provvedono, come in seguito è descritto, a regolare il succedersi delle operazioni.

L'apparecchio ripete successivamente tre misure con diaframma D aperto e tre con diaframma D chiuso, nelle tre posizioni $+45^\circ$, 0° , -45° , registrando ciascuna misura con apposito numeratore.

Nella fig. 6 è rappresentato l'apparecchio durante l'esecuzione di una misura nella posizione $+45^\circ$ con diaframma aperto; l'interruttore 2 è chiuso ed il motore sincrono è in rotazione in modo che quando l'asticella S, portata dal disco che fa un giro in 30 sec., arriva a chiudere il contatto b, si interrompe la connessione tra l'uscita delle coincidenze e l'entrata della registrazione, ponendo fine alla misura che veniva registrata dal numeratore a destra in alto.

Il disco portato dal motore sincrono continua a girare e l'asticella S raggiunge il contatto 14 che chiudendosi per un istante fa interrompere la connessione 2 e chiudere la 1: in conseguenza si arresta il motore sincrono, appena sorpassato per inerzia il contatto 14 e parte il motore M che fa ruotare in senso anti-orario la cassetta che si arresterà non appena

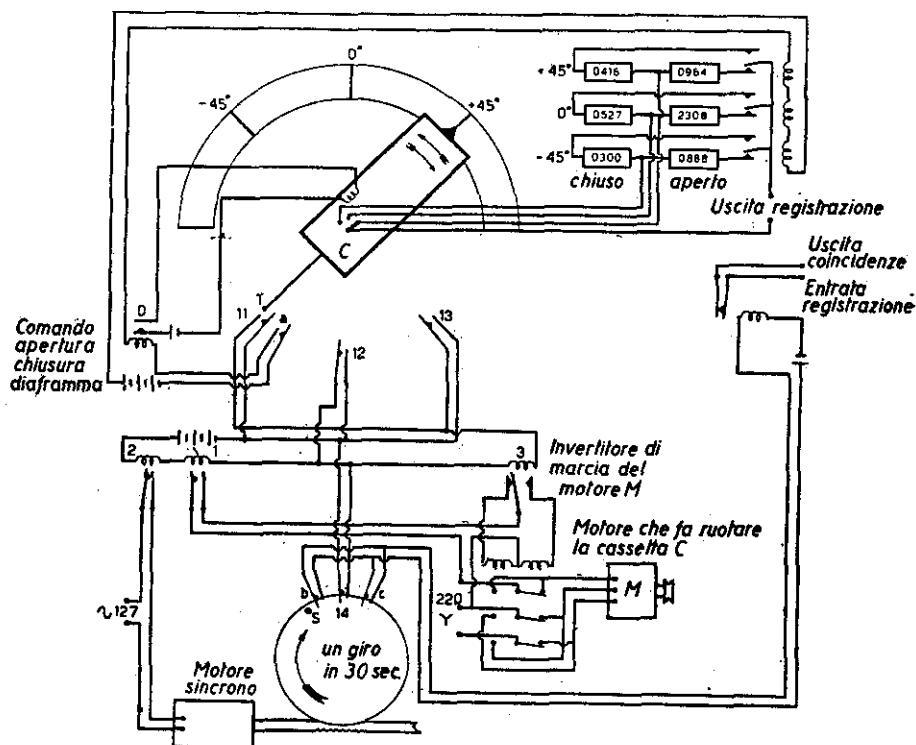


FIG. 6. - Schema delle connessioni elettriche.

oltrepassato il contatto 12 che aziona nuovamente i teleruttori 1 e 2 arrestando il motore M e facendo ripartire il sincrono. In tal modo con la chiusura del contatto c si inizia una nuova misura nella posizione di 0° (sempre con diaframma D aperto); essa viene registrata con il numeratore centrale a destra che automaticamente è entrato in connessione per la rotazione del commutatore solidale con la cassetta. Questa misura finisce con la chiusura del contatto b e successivamente il contatto 14 fa fermare il sincrono e ripartire il motore M che fa ruotare ancora nel senso anti-orario la cassetta finchè la chiusura del contatto 13 non determina

nuovamente l'arresto del motore M e la messa in marcia del sincrono. La chiusura del contatto 13, come quella del contatto 11, oltre alle operazioni provocate dai contatti 14 e 12, determina a mezzo del teleruttore 3 il funzionamento dell'invertitore di marcia del motore M, in modo che, alla fine della misura a 45° , che viene registrata dal numeratore a destra in basso, la cassetta riparte in senso orario senza fermarsi nella posizione centrale, finchè si chiude il contatto 11 e si inizia così una nuova serie di operazioni come quelle descritte.

Poichè prima di chiudere il contatto 11 l'asticella T aveva momentaneamente stabilito il contatto *a*, era stato chiuso (dal teleruttore O) il diaframma D che arresta tutti i protoni provenienti dalla paraffina e commutate le connessioni dei numeratori escludendo quelli di destra e inserendo quelli di sinistra dove vengono così registrate le misure nelle tre posizioni a diaframma D chiuso.

Il ciclo delle operazioni descritte si ripete finchè non venga tolta la tensione che alimenta uno dei motori.

Un adatto sistema di leve azionato dalla rotazione della cassetta determina una rotazione del cono che porta l'arco di paraffina che in tal modo per ogni posizione della cassetta assume nell'interno la voluta posizione. Opportuni arresti dell'arco di paraffina e della cassetta garantiscono che le varie posizioni siano realizzate con la dovuta precisione.

Per garantirci che la distanza SP fra il centro della sorgente di neutroni e il centro P dell'arco di paraffina fosse esattamente 200 millimetri abbiamo costruito un calibro metallico consistente in una lamina in cui erano praticate due sedi che si adattavano esattamente all'estremità del tubo, e dell'asse di rotazione della camera d'urto. Tale calibro era poi piegato a forma di indice ad un estremo in modo da poter controllare, contemporaneamente alla distanza SP, l'allineamento ossia che lo zero dell'arco graduato visibile di scorcio nella fig. 5, venisse a giacere sulla retta SP.

c) *La registrazione.* — Parte della misure fatte con i neutroni del Li sono state eseguite con la stessa registrazione usata nel nostro precedente lavoro. Avendo tuttavia avuto ad un certo punto il sospetto (come chiariremo in seguito) che il potere risolutivo del sistema fosse insufficiente, abbiamo modificato il nostro sistema di registrazione ottenendo così di diminuire notevolmente il fondo delle casuali.

Le modifiche apportate sono le seguenti: in primo luogo i fili dei contatori, anzichè essere connessi in modo diretto alle griglie delle prime valvole, sono stati accoppiati a questi con una capacità di $10^3 \mu\text{F}$; la fuga del contatore era di $10 \text{ M}\Omega$ e quella della griglia della corrispondente valvola di $2 \text{ M}\Omega$.

Oltre a questo abbiamo inserito in ciascuno dei tre rami della registrazione, fra la seconda valvola amplificatrice e la valvola di coincidenza un multivibratore, costituito da 2 6J7 metalliche, avente lo scopo di ridurre notevolmente la durata degli impulsi; la costante di tempo del multivibratore è di 10^{-5} sec . Infine la resistenza di placca comune alle tre valvole di coincidenza è stata abbassata a $3 \cdot 10^4 \Omega$; queste lavorano con 65 volt di tensione anodica e 150 volt di tensione di schermo.

Nelle misure con i neutroni del B, le coincidenze venivano inviate attraverso ad un accoppiamento di capacità alla griglia di un tiratrone che azionava direttamente i numeratori.

Nelle misure con i neutroni del Li, data la assai maggiore intensità abbiamo inserito fra l'uscita delle coincidenze ed i numeratori una scala di 8 Philips 4686. In tal modo invece di registrare il numero vero di coincidenze triple avvenute in un dato tempo, si registra il rapporto di tale numero ad 8 trascurando il resto (che può essere sia positivo che negativo). Si viene così ad introdurre un errore nelle misure. E' tuttavia facile dimostrare che la condizione a cui debbono soddisfare i numeri n_1 ed n_2 ottenuti con tale approssimazione a mezzo di una scala di 2m tubi, affinché tale errore sia trascurabile rispetto all'errore sulla differenza $n_1 - n_2$ dovuta alle fluttuazioni statistiche (si ricordi che ciò che a noi interessa è la differenza fra le coincidenze osservate con il diaframma D aperto e chiuso) è che:

$$n_1 + n_2 \gg 4 \frac{1 + 2^2 + \dots + m^2}{m}$$

$$n_1, n_2 \gg \frac{1 + 2^2 + \dots + m^2}{m}$$

Dopo alcune prove abbiamo usato una scala di 8 tubi appunto allo scopo di metterci in tali condizioni.