

Sull'assorbimento e sulla disintegrazione dei mesoni alla fine del loro percorso.

M. CONVERSI, E. PANCINI ed O. PICCIONI

Istituto di Fisica dell'Università di Roma - Centro di Fisica Nucleare del C.N.R.

(ricevuto il 10 gennaio 1947)

Riassunto. — Sono descritte alcune esperienze istituite al fine di indagare il comportamento dei mesoni dei due segni assorbiti in uno spessore di materiale denso. Per mezzo di nuclei di ferro magnetizzato venivano alternativamente concentrati i mesoni positivi e negativi sopra un assorbitore di alcuni centimetri di spessore. I mesoni su cui si sperimentava contando le coincidenze ritardate prodotte dagli elettroni di disintegrazione, avevano energie per le quali l'esclusione di quelli di un segno, operata dal campo magnetico, era, secondo un calcolo riportato, pressochè totale. Dalle misure è risultato che i mesoni negativi, che terminano il loro percorso in una lastra di ferro, non si disintegrano. Sembra quindi che tali mesoni vengano catturati dai nuclei dell'assorbitore di ferro, in accordo con le previsioni teoriche di TOMONAGA e ARAKI. I risultati delle misure, eseguite usando un assorbitore di grafite, sono invece in contrasto con la teoria, giacchè la loro più semplice interpretazione conduce a ritenere che i mesoni negativi generati nel carbonio seguano l'ordinario processo di disintegrazione.

Summary. — The behaviour of positive and negative mesons stopped in a thickness of dense material have been investigated. The mesons of either sign were alternately concentrated on an absorber of several centimeters thickness by means of magnetized iron cores. The disintegration electrons were recorded by means of a delayed coincidence system with a resolving time of about 10^{-6} sec. The energy of the observed mesons was chosen in such a way that, as shown by an approximated calculation, when the magnetic lenses converge the mesons of a given sign, they exclude completely the mesons of opposite sign. The results of the measurements show that the negative mesons stopped in iron do not disintegrate. This is in agreement with the theory of TOMONAGA and ARAKI, according to which they are captured by the nuclei of the absorber. Using graphite as absorber, on the contrary, a number of delayed coincidences has been recorded and the most direct interpretation of the fact is that also the negative mesons stopped in carbon undergo the ordinary decay-process, in contrast with the above mentioned theory.

1. - Introduzione.

Alcuni anni or sono S. TOMANAGA e G. ARAKI, ricollegandosi ad un lavoro teorico di H. YUKAWA e T. OKAYAMA ⁽¹⁾, hanno previsto ⁽²⁾ che il comportamento dei mesoni che terminano il loro percorso in uno spessore di materiale, deve essere sostanzialmente diverso per i mesoni dei due segni. Secondo i loro calcoli, infatti, quando i mesoni sono verso la fine del loro percorso, subentra, in concorrenza con il processo di disintegrazione spontanea, un processo di cattura da parte dei nuclei. Più precisamente per i mesoni positivi, soggetti alla repulsione coulombiana dei nuclei, tale processo avrebbe una probabilità trascurabile in confronto a quella di disintegrazione; per i negativi invece, la probabilità di cattura sarebbe, alle bassissime energie, assai maggiore dell'altra. Secondo questo schema, in uno spessore di materia di densità sufficientemente elevata, soltanto i mesoni positivi subirebbero praticamente il processo disintegrativo generando altrettanti elettroni positivi ritardati.

RASETTI ⁽³⁾ e, indipendentemente, AUGER, MAZE e CHAMINADE ⁽⁴⁾ effettuarono le prime esperienze atte ad avere un'indicazione circa l'esattezza delle previsioni teoriche cui abbiamo accennato. Essi ottennero tuttavia risultati discordi. Precisamente dalle misure di RASETTI si deduce, in accordo con la teoria, che solo la metà circa dei mesoni assorbiti in uno spessore di alluminio subisce il processo disintegrativo, mentre AUGER e coll. trovarono che praticamente tutti i mesoni si disintegrano.

Altre esperienze dello stesso tipo furono eseguite indipendentemente, durante il periodo bellico, da ROSSI e NERESON ⁽⁵⁾ (assorbitore di alluminio) e da due di noi ⁽⁶⁾ (assorbitore di ferro), ottenendo risultati analoghi a quelli di RASETTI.

Tutte queste esperienze furono condotte misurando, con tecniche diverse, le coincidenze ritardate tra vari gruppi di contatori, in modo da ottenere il rapporto η tra il numero degli elettroni prodotti dalla disintegrazione dei mesoni assorbiti in un certo spessore di materiale denso (assorbitore) e il numero dei mesoni stessi.

Nelle esperienze di questo tipo una fondamentale causa di errore può essere l'incertezza sul valore del ritardo introdotto. Effettivamente quel che

⁽¹⁾ H. YUKAWA and T. OKAYAMA: «Scient. Papers Inst. Phys. and Chem. Research», **36**, 385 (1939).

⁽²⁾ S. TOMANAGA and G. ARAKI: «Phys. Rev.», **58**, 90 (1940).

⁽³⁾ F. RASETTI: «Phys. Rev.», **60**, 198 (1941).

⁽⁴⁾ P. AUGER, R. MAZE et R. CHAMINADE: «Compt. Rend.», **213**, 381 (1941).

⁽⁵⁾ B. ROSSI and N. NERESON: «Phys. Rev.», **64**, 199 (1943).

⁽⁶⁾ M. CONVERSI e O. PICCIONI: «Nuovo Cimento», **2**, 71 (1944); «Phys. Rev.», **70**, 874 (1946).

si può misurare direttamente con sufficiente esattezza è la differenza tra i ritardi dei vari rami del sistema registratore ma non il ritardo assoluto. Tuttavia nella nostra esperienza ora citata fu determinato il valore del ritardo assoluto. L'errore sul valore del rapporto η così ottenuto si riduce allora, praticamente, al solo errore statistico. Si è trovato in tal modo $\eta = 0,49 \pm 0,07$ e come valore per eccesso $\eta = 0,56 \pm 0,08$.

L'insieme delle esperienze ora ricordate sembrava indicare che realmente soltanto la metà dei mesoni subisce la disintegrazione. Era perciò desiderabile mettere direttamente in evidenza se ciò era dovuto, secondo lo schema di TOMONAGA e ARAKI, al diverso comportamento dei mesoni dei due segni. Per far questo occorreva eseguire un'esperienza nella quale si potesse sperimentare su mesoni di un solo segno e ciò fu possibile, come preciseremo nel seguito, usando blocchi di ferro magnetizzato capaci di concentrare i corpuscoli carichi di un segno e di allontanare quelli di segno opposto.

I risultati delle esperienze riferite in questa nota sono già stati pubblicati per mezzo di due successive lettere ⁽⁷⁾ ⁽⁸⁾.

2. - Disposizione dei contatori e dei circuiti magnetici.

La fig. 1 mostra, in scala, la disposizione dei contatori e dei circuiti magnetici con i quali venivano concentrati i mesoni di un segno sull'assorbitore *Ass*.

I due contatori sovrastanti i circuiti magnetici *M* erano in parallelo; così pure i due contatori posti subito sotto. Ciascuno dei due circuiti magnetici, analoghi a quelli utilizzati in precedenti esperienze ⁽⁹⁾, è realizzato per mezzo di due blocchi di ferro *A*, *B* avvolti con filo di rame e avvicinati l'uno all'altro. Fissato il senso di percorrenza della corrente negli avvolgimenti, il campo magnetico, normale al piano della fig. 1 *a*) ha, nella sezione *A*, verso opposto a quello che esso possiede nella sezione *B*, cosicchè *M* si comporta, grosso modo, come una lente cilindrica: convergente per le particelle di un segno e divergente per quelle di segno opposto.

I mesoni sui quali noi sperimentavamo erano quelli assorbiti dallo spessore *Ass*, cioè quelli appartenenti alla banda di energie compresa tra l'energia necessaria per attraversare il ferro di *M* (20 cm) e quella richiesta per attraversare, oltre ad *M*, anche lo spessore *Ass*. Per poter sperimentare sui soli mesoni di un dato segno era quindi sufficiente che l'esclusione dei mesoni di

⁽⁷⁾ M. CONVERSI, E. PANCINI and O. PICCIONI: «Phys. Rev.», **68**, 232 (1945).

⁽⁸⁾ M. CONVERSI, E. PANCINI and O. PICCIONI: «Phys. Rev.», **71**, 209 (1947).

⁽⁹⁾ G. BERNARDINI e M. CONVERSI: «La Ric. Scient.», **11**, 858 (1940); G. BERNARDINI, M. CONVERSI, E. PANCINI, E. SCROCCO and G. C. WICK: «Phys. Rev.», **68**, 109 (1945).

segno opposto avvenisse per quelli compresi nella banda di energia ora detta. Da un calcolo riportato nel n. 4 è risultato che questa condizione era prati-

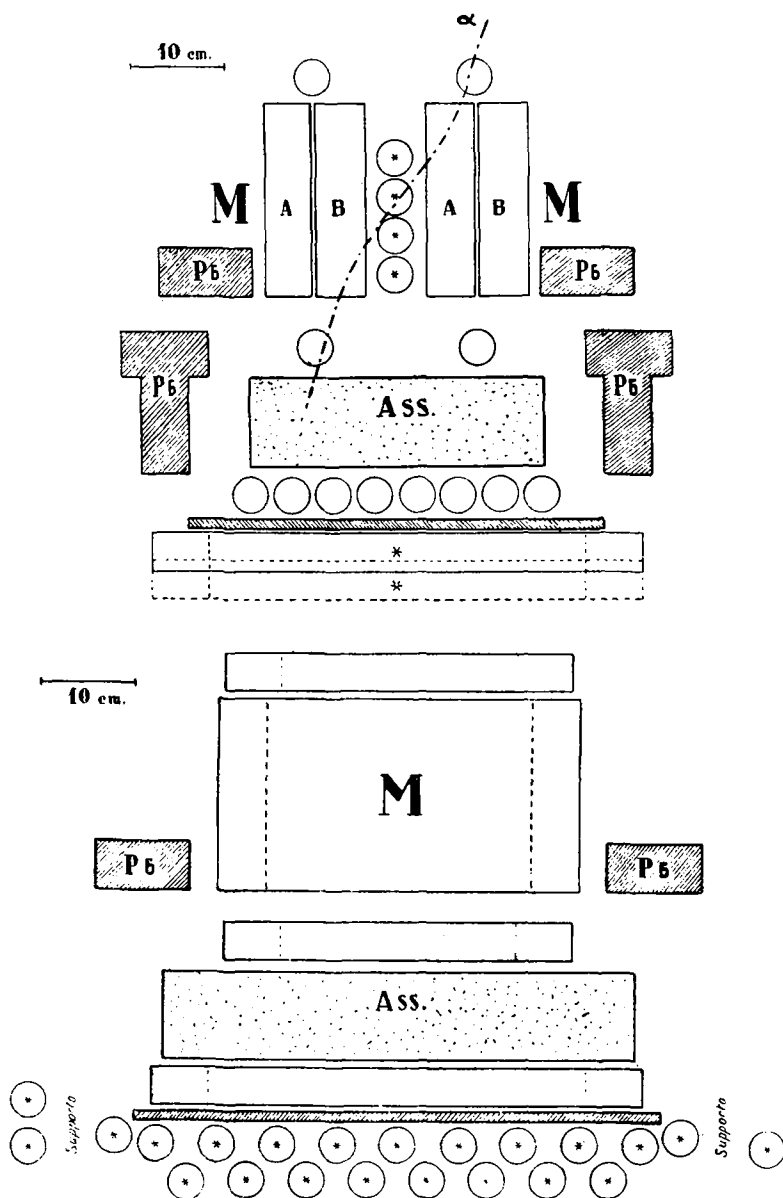


Fig. 1 a) e b). — Disposizione dei contatori e dei circuiti magnetici.

camente realizzata per il valore del campo magnetico ($B = 15.400$ gauss ca.) presente nei blocchi di ferro durante le nostre misure.

I 20 cm di ferro costituenti i circuiti magnetici interposti tra il 1° e il

2° gruppo di contatori assorbivano la quasi totalità della componente elettronica della radiazione incidente (*): essi consentivano inoltre di porsi in una regione dello spettro mesonico differenziale favorevole agli effetti dell'intensità giacchè, come è noto, tale spettro presenta, al livello del mare, un massimo in prossimità dell'energia $E = 4 \cdot 10^8$ eV.

Il 3° gruppo di contatori, posto subito sotto l'assorbitore *Ass*, rivelava gli eventi ritardati connessi con l'assorbimento dei mesoni in *Ass* perchè i suoi impulsi venivano normalmente registrati solo se in coincidenza ritardata con quelli dei primi due gruppi.

I contatori contrassegnati con asterisco costituivano un 4° gruppo collegato al circuito delle coincidenze quaduple. Questo 4° gruppo aveva funzione di « anticoincidenza »: in effetti facendo la differenza tra le coincidenze ritardate triple e quaduple si otteneva l'esclusione pressochè completa delle coincidenze casuali giacchè, per il nostro dispositivo, le casuali triple erano accompagnate per la quasi totalità da casuali quaduple. Della piccola correzione da apportare alla differenza detta per tener conto delle casuali non escluse si parlerà comunque nel n. 5.

I quattro contatori del 4° gruppo, interposti tra i due elettromagneti *M*, assicuravano in particolare (nei limiti del loro rendimento) l'anticoincidenza di quelle particelle che, per il loro segno e per la loro energia, avrebbero dovuto essere escluse dall'azione divergente del campo, ma che, seguendo traiettorie del tipo di quella contrassegnata in fig. 1 con la lettera α , finivano in realtà il loro percorso nell'assorbitore.

Tra il 3° e il 4° gruppo di contatori era interposta una lastra di piombo dello spessore di 1 cm con lo scopo di frenare gli elettroni di disintegrazione che avevano attraversato uno dei contatori del 3° gruppo: all'emissione ritardata di un tale elettrone corrispondeva così una tripla non accompagnata da una quadrupla.

Gli ulteriori schermi di Pb disegnati nella fig. 1 avevano il compito di proteggere i contatori dagli sciami.

I contatori da noi adoperati, del tipo metallico standard usato nell'Istituto di Fisica di Roma, avevano pareti di ottone dello spessore di 1 mm ed erano riempiti con 10 cm Hg di argon e 1 cm Hg di alcool.

Mediante osservazione oscillografica ci si assicurava frequentemente che le ampiezze degli impulsi fossero, per i contatori di ciascun gruppo, eguali entro il 20 % (**).

(*) La componente elettronica non assorbita non alterava del resto i risultati finali delle nostre misure, sia per la simmetria dei processi cui essa dà luogo, sia per il fatto che essa non produce coincidenze ritardate.

(**) I catodi dei contatori erano collegati a terra ed i loro fili, attraverso resistenze da 10 $M\Omega$, ad un partitore che consentiva di aggiustare la tensione entro ± 5 volt.

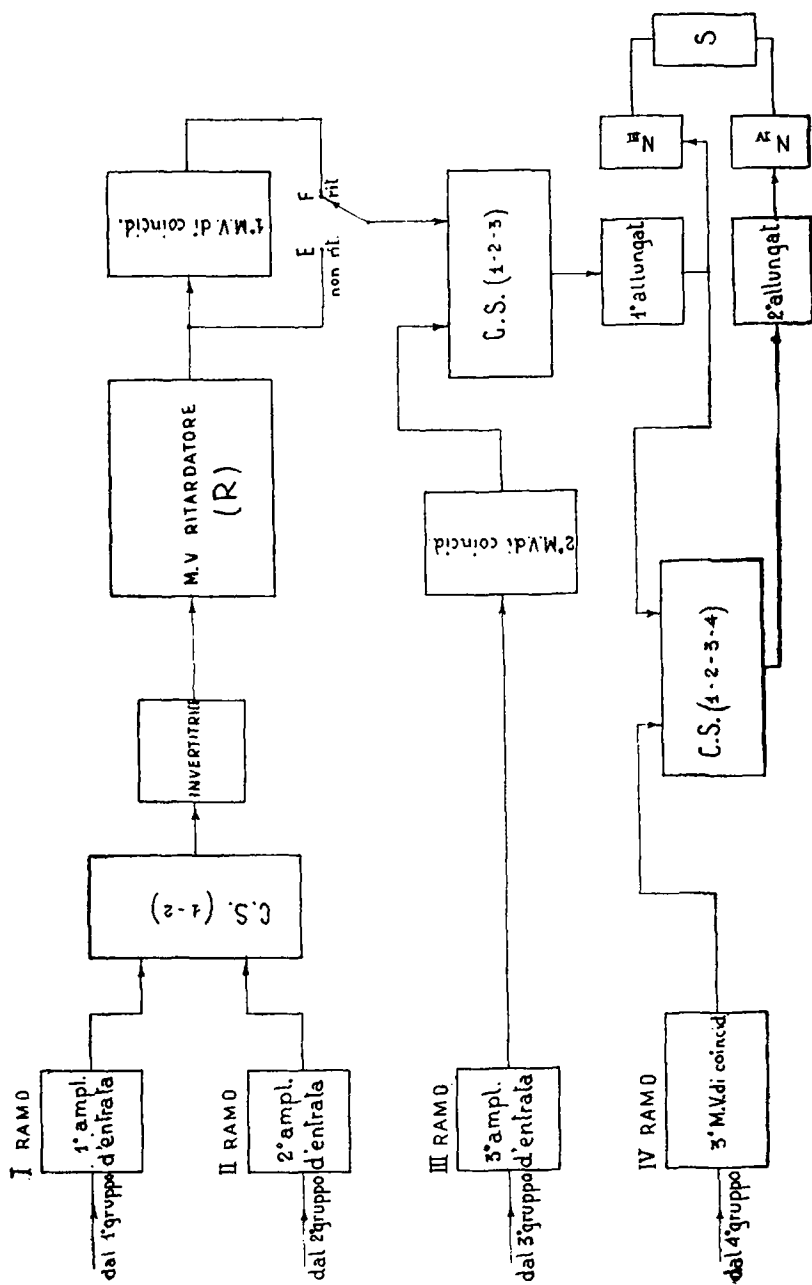


Fig. 2. - Dispositivo per la registrazione delle coincidenze.

3. - Dispositivo per la registrazione delle coincidenze.

Rinviando ad un precedente lavoro ⁽¹⁰⁾ per una descrizione completa del complesso registratore, ci limiteremo qui a darne una rapida descrizione, sufficiente a comprenderne, in linea di principio, il funzionamento.

La disposizione delle varie parti (conglobate in un unico montaggio) è rappresentata schematicamente in fig. 2.

I sistemi C. S. (1 — 2), C. S. (1 — 2 — 3) e C. S. (1 — 2 — 3 — 4) sono circuiti di coincidenze « in serie » ad elevato potere risolutivo, realizzati e descritti da uno di noi in una precedente pubblicazione ⁽¹¹⁾. In C. S. (1 — 2) coincidono, attraverso gli stadi amplificatori d'entrata, gli impulsi provenienti dai primi due gruppi di contatori. Poichè l'uscita dei sistemi C. S. è prelevata sul catodo secondario delle valvole ad emissione secondaria che in essi sono utilizzate, l'impulso è positivo. Il multivibratore (*) ritardatore d'altra parte, al pari degli altri M. V. (di coincidenza) da noi usati, è comandato soltanto da impulsi negativi. Ciò giustifica l'introduzione di uno stadio invertitore tra l'uscita di C. S. (1 — 2) e l'entrata del M. V. ritardatore. Al sopraggiungere dell'impulso negativo di comando quest'ultimo dà luogo ad un impulso positivo di forma sensibilmente rettangolare, la durata del quale dipende dalla scelta di alcuni elementi (resistenze e capacità) del circuito stesso; l'insieme di questi elementi costituisce un « gruppo ritardatore » intercambiabile, R , la cui scelta determina, come vedremo più chiaramente tra un momento, il valore del ritardo introdotto.

Anche i M. V. di coincidenza danno luogo ad impulsi di forma rettangolare. L'inizio dell'impulso 0_{12} del 1° M. V. di coincidenza ha luogo in corrispondenza del termine dell'impulso 0 del M. V. ritardatore, giacchè, come si è detto, il 1° M. V. al pari degli altri è sensibile solo ad impulsi negativi e quindi è comandato (per il basso valore della costante di tempo di entrata) dalla discesa del M. V. ritardatore. Di conseguenza l'impulso 0_{12} presenta, rispetto all'impulso di coincidenza doppia, un ritardo che, se si prescinde dai ritardi inerenti alle costanti di tempo dei circuiti anodici (*ritardi propri* di ciascun ramo) risulta appunto uguale a 0 .

Mentre una delle due valvole di C. S. (1 — 2 — 3) è collegata permanentemente con l'uscita del 2° M. V. di coincidenza, l'altra valvola può essere connessa con l'uscita E del M. V. ritardatore o con l'uscita F del 1° M. V. di coincidenza. Nel primo caso il sistema C. S. (1 — 2 — 3) registra le coincidenze *non ritardate* tra i primi tre rami; nel secondo caso, invece, la coinci-

(*) Useremo nel seguito l'abbreviazione M.V.

⁽¹⁰⁾ M. CONVERSI e O. PICCIONI: « Nuovo Cimento », **2**, 40 (1944); « Phys. Rev. », **70**, 859 (1946).

⁽¹¹⁾ O. PICCIONI: « Nuovo Cimento », **1**, 56 (1943).

denza avviene tra l'impulso θ_{12} del 1° M. V. di coincidenza e l'impulso θ_3 del 2° M. V. di coincidenza; cioè tra due impulsi che presentano uno sfasamento pari alla durata θ dell'impulso del M. V. ritardatore (*coincidenza ritardata*). Attesa la rettangolarità della forma degli impulsi dati dai vari M. V., si riconosce che nel secondo caso $T = \theta_{12} + \theta_3$ è il doppio del potere risolutivo di C. S. (1 - 2 - 3).

Tra le uscite dei sistemi C. S. (1 — 2 — 3) e C. S. (1 — 2 — 3 — 4) e i corrispondenti circuiti di numerazione sono stati introdotti dei circuiti (allun-

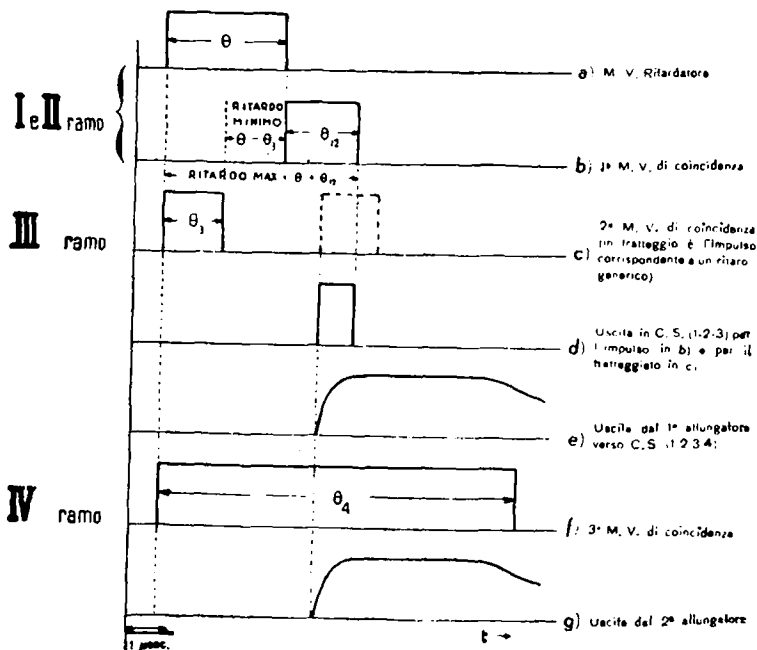


Fig. 3. - Disposizione mutua degli impulsi nei vari punti della registrazione.

gatori) atti ad accrescere la durata degli impulsi stessi in modo da essere certi della loro registrazione.

Il funzionamento del nostro apparato registratore è illustrato dalla fig. 3 che indica la mutua disposizione nel tempo degli impulsi nei vari stadi dell'apparato stesso. Risulta dalla figura che, perchè si abbia una coincidenza tripla, l'impulso del III ramo deve avere un ritardo compreso tra $\theta - \theta_3$ e $\theta + \theta_{12}$, cosicchè dei mesoni che vengono assorbiti in *Ass* (fig. 1) il nostro sistema può registrare soltanto quelli che disintegrano in un qualsiasi istante dell'intervallo di tempo $\theta_{12} + \theta_3$ con inizio al tempo $\theta - \theta_3$. La fig. 3 a quel che si è detto ora si riferisce al caso ipotetico che siano simultanei gli impulsi alle entrate dei quattro rami della registrazione e che siano trascurabili le differenze tra i ritardi propri dei rami stessi. Queste condizioni non sono certo realizzate in pratica, e non essendo nota la forma della salita degli impulsi dei

contatori non è possibile effettuare una taratura della registrazione dalla quale si possa desumere il ritardo assoluto che il III ramo presenta effettivamente (nelle condizioni di regolare funzionamento) rispetto ai primi due. Abbiamo già accennato nel n. 1 che è stato possibile tuttavia valutare il ritardo assoluto ϑ ; ciò si è fatto utilizzando la curva IV (ϑ) che si ottiene misurando le coincidenze quadruple ritardate per vari *piccoli* ritardi. Effettivamente per piccoli ritardi del M. V. ritardatore si registrano (con intensità che decresce fortemente al crescere del ritardo) le coincidenze (che diremo *casuali di ritardo*) prodotte da un'unica particella che attraversa i quattro gruppi di contatori producendo nel 3° un impulso la cui ripidità di salita è convenientemente minore di quella degli impulsi dei primi due. Ora la ripidità di salita degli impulsi di un contatore è soggetta a fluttuazioni le quali sono responsabili dell'andamento della curva IV (ϑ) e, come è stato mostrato in un precedente lavoro (⁶), il punto di flesso presentato da tale curva coincide con l'origine ($\vartheta = 0$) dei ritardi assoluti. Peraltro in un tipo di esperienza come quella qui riportata, non si rende necessaria una conoscenza particolarmente precisa del ritardo ϑ giacchè le conclusioni si traggono dai risultati di misure eseguite in diverse condizioni, ma utilizzando lo stesso ritardo assoluto: gli effetti di eventuali variazioni di quest'ultimo nel tempo, vengono mascherati alternando le misure stesse sistematicamente.

Per tutta la durata dell'esperienza si è avuto cura di misurare, una o più volte al giorno, l'intensità delle coincidenze ritardate, introducendo nel M. V. ritardatore un gruppo *R* corrispondente ad un piccolo ritardo. L'intensità delle quadruple registrata in queste condizioni — dovute essenzialmente alle casuali di ritardo — era relativamente elevata (~ 150 imp./ora) e forniva un punto della curva IV (ϑ) situato nel tratto ad elevata pendenza della curva stessa: essa era quindi particolarmente sensibile ad eventuali variazioni del ritardo assoluto generate da cambiamenti accidentali dei ritardi propri dei rami o da variazioni nelle condizioni di funzionamento dei contatori. Da questi conteggi si deduceva inoltre il valore del rapporto ρ_1 tra le quadruple e le triple, una precisa determinazione del quale era richiesta (v. n. 5) per introdurre nelle misure la correzione connessa al rendimento del sistema.

Le misure eseguite quotidianamente con un piccolo ritardo costituivano dunque un controllo della regolarità di funzionamento del nostro apparato sperimentale. Gli altri controlli, eseguiti meno frequentemente, furono sostanzialmente gli stessi già descritti nelle due precedenti pubblicazioni già citate (⁶), (¹⁰). In queste stesse pubblicazioni è descritto il dispositivo di taratura mediante il quale era possibile controllare oscillograficamente il funzionamento della registrazione nelle sue varie parti e, in particolare, misurare i tempi propri dei vari multivibratori.

Per essere certi che disturbi atmosferici o della rete non venissero registrati dai numeratori, è stato usato un « circuito di silenziamento » *S* (fig. 2):

esso, al sopraggiungere di un eventuale disturbo, o anche quando la tensione di rete scendeva al di sotto di un prestabilito valore, interrompeva il funzionamento dei circuiti di numerazione per un tempo di circa 80 sec. In tal modo quando la tensione di rete tornava al suo giusto valore dopo un periodo, per es. di sospensione, tutto l'apparato aveva agio di rientrare in regime di regolare funzionamento prima che i numeratori fossero in grado di contare. Gli eventuali disturbi venivano registrati da un voltografo. Questo stesso registratore (fig. 2) serviva inoltre a mostrare l'andamento della tensione di rete durante ciascuna misura e a controllare il funzionamento dei numeratori: esso era infatti collegato anche con i circuiti di numerazione in maniera da registrare le coincidenze, permettendo altresì di distinguere in modo inequivocabile una tripla da una quadrupla. Questo metodo di conteggio presentava poi l'ovvio vantaggio di mostrare la distribuzione delle coincidenze nel tempo.

Durante parte delle misure della 2^a serie e durante tutte quelle della 3^a, la tensione di rete fu stabilizzata mediante un trasformatore autoregolatore che, per un carico prestabilito, presentava in uscita variazioni del 5 % ca. quando la tensione d'entrata variava del 50 %.

4. - Effetto dei circuiti magnetici.

Come si è detto nel n. 2 i circuiti magnetici usati per questa esperienza si comportano come lenti cilindriche convergenti per i mesoni di un segno e divergenti per quelli di segno opposto. Si è pure detto che per lo scopo che ci proponevamo di raggiungere era desiderabile che, in una certa banda di energie, i magneti riuscissero a discriminare completamente le particelle dei due segni, nel senso che se il campo era disposto in modo da convergere per es. le particelle negative, esso doveva escludere completamente quelle positive appartenenti a quella banda di energia.

Per valutare questa capacità di discriminazione abbiamo calcolato in primo luogo la traiettoria di un mesone in un blocco di ferro indefinito magnetizzato uniformemente, per il caso di un mesone incidente in direzione normale a quella del campo magnetico B (traiettoria giacente in un piano perpendicolare alla direzione del campo). Poichè per la banda di energie che interessa i mesoni incidono sui nuclei di ferro con un'energia superiore a quella corrispondente al minimo di ionizzazione e ne escono con una inferiore, si è ritenuto opportuno tener conto in modo esatto delle perdite di energia per ionizzazione usando la formula di BETHE.

Indicando con ρ il raggio di curvatura della traiettoria e con γ l'energia totale del mesone espressa in unità μc^2 si ha:

$$\rho = \frac{\mu c}{eB} \sqrt{\gamma^2 - 1}$$

Detta $A(\gamma)$ la perdita di energia per ionizzazione risulta inoltre (v. fig. 4):

$$\theta(\gamma) = -eBc \int \frac{d\gamma}{A(\gamma)\sqrt{\gamma^2 - 1}}$$

$$x(\gamma) = \mu c^2 \int \frac{\cos \theta(\gamma) d\gamma}{A(\gamma)}$$

Eliminando γ tra queste si ottiene $\theta(x)$ ed infine:

$$y(x) = \int_0^x \operatorname{tg} \theta(x) dx .$$

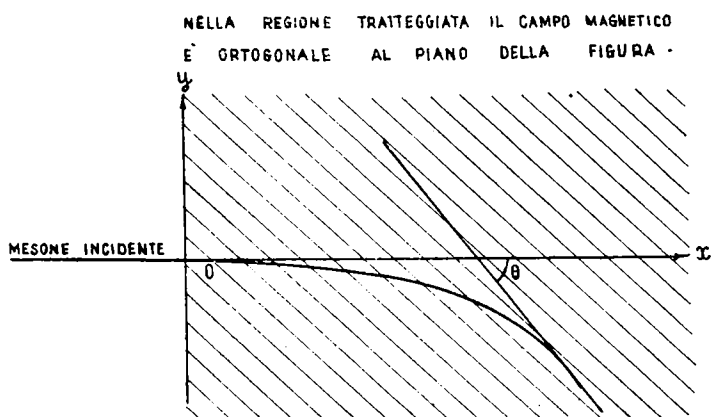


Fig. 4. - Angolo di deviazione in funzione dello spessore di ferro attraversato dal mesone.

Il calcolo è stato eseguito in parte con metodi grafici ed il risultato è riportato in fig. 5. Lungo la traiettoria di fig. 5 sono stati segnati i valori di γ corrispondenti e, per l'ultimo tratto, il relativo « range » in cm di ferro.

Riportando questa traiettoria su di un modello in scala del magnete e del telescopio dei contatori in modo che la traiettoria emergesse dall'estremo inferiore del magnete in corrispondenza del valore del range desiderato, si è potuto calcolare l'angolo permesso α relativo ai punti del contatore inferiore (contatore del 2° gruppo).

In fig. 6 è riportato il risultato per le particelle che vengono allontanate per effetto del campo. Come si vede, anche per i valori più elevati del range (5 cm di Fe) l'integrale $\int \alpha dr$ ha un valore assai piccolo (dell'ordine di 10^{-3} cm · radiante, in confronto a $1/3$ cm · radiante ca. che è il corrispondente valore in assenza di campo).

L'effetto di discriminazione dei circuiti magnetici si può dunque ritenere, per range minori di 5 cm di Fe, praticamente totale.

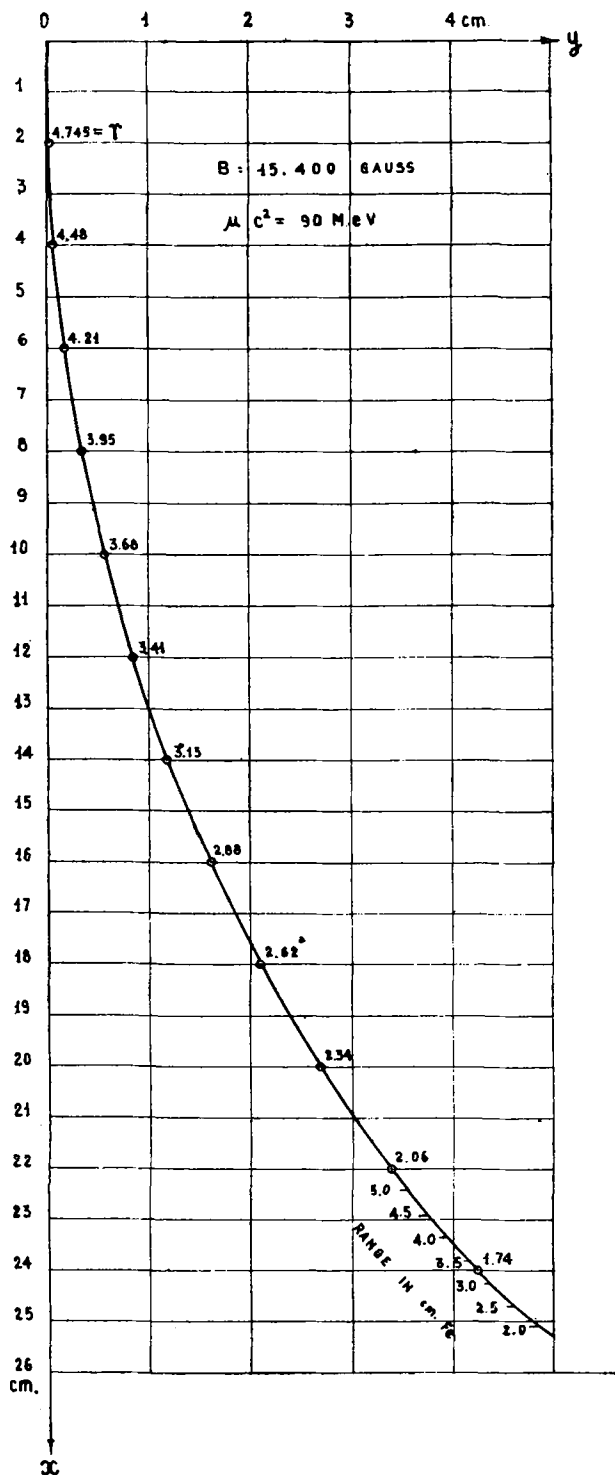


Fig. 5. - Traiettoria di un mesone incidente in direzione normale a quella del campo magnetico.

Questa valutazione ha naturalmente valore orientativo, perchè nè si è tenuto conto della natura tridimensionale del problema (*), nè della diffusione dei mesoni nel ferro dei magneti.

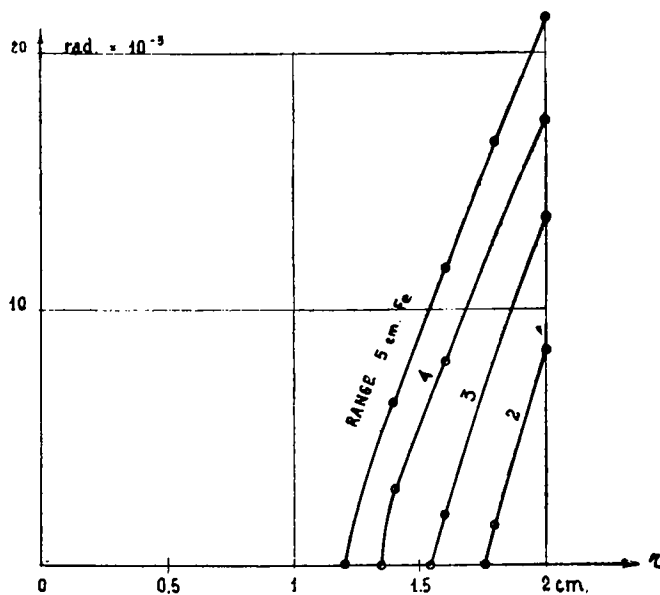


Fig. 6. - Angolo permesso in funzione della distanza dal centro del contatore, per vari valori del « range ».

5. - I risultati delle misure.

Le misure da noi eseguite per studiare il comportamento dei mesoni dei due segni alla fine del loro percorso, possono essere distinte in tre serie.

Di una prima serie, eseguita nell'estate del 1945, sono stati resi noti i risultati per mezzo di una lettera all'Editore (7). In questa serie il valore del campo magnetico dei blocchi magnetizzati era $B = 13.800$ gauss e la disposizione dei contatori era leggermente diversa da quella rappresentata in fig. 1 giacchè il 3° gruppo era costituito da 6 (invece che da 8) contatori (i due contatori estremi disegnati in fig. 1 essendo adibiti come contatori di anticoincidenza, cioè collegati a quelli del 4° gruppo). L'assorbitore era una lastra di ferro dello spessore di 3 cm. Il ritardo assoluto ϑ era in questa serie, come in quelle successive, prossimo ad un microsec. L'esperienza fu eseguita in una capanna situata sulla terrazza dell'Istituto di Fisica: lo spes-

(*) L'errore che si commette considerando il problema in due dimensioni è peraltro assai piccolo [v. anche bibliogr. (16)].

sore del tetto della capanna si può considerare trascurabile agli effetti dell'assorbimento mesonico.

Al termine di questa prima serie furono introdotti nel dispositivo sperimentale alcuni perfezionamenti tendenti ad accrescere la intensità delle coincidenze ritardate e a garantire una più sicura esclusione dei mesoni di un segno che venivano frenati nell'assorbitore. L'inizio della seconda serie di misure avvenne circa un anno dopo quello della prima, ma i risultati delle due serie, come vedremo tra breve, sono sostanzialmente in accordo.

In questa seconda serie e nella successiva, il valore del campo magnetico nei circuiti magnetici era $B = 15.400$ gauss; i contatori del 3° gruppo erano 8 così come è mostrato in fig. 1. L'assorbitore usato nella seconda serie era ancora una lastra di ferro avente però uno spessore di 5 cm.

Sia nella 1ª che nella 2ª serie venivano sistematicamente alternate misure eseguite concentrando sull'assorbitore una volta i mesoni di un segno, un'altra quelli di segno opposto e ancora misure (di controllo) concentrando i mesoni negativi in assenza di assorbitore.

Nella 3ª serie di misure, infine, fu introdotta la grafite come materiale assorbente; ma, per motivi che preciseremo nel numero successivo, fummo indotti ad usare due diversi assorbitori per i due casi in cui si concentravano i mesoni dei due segni. Precisamente l'assorbitore usato quando si concentravano i mesoni positivi era costituito da cilindri di grafite (*) del diametro di 5 cm (e della lunghezza di 50 cm) equivalenti nel loro insieme ad una lastra dello spessore di ca. 4 cm. Invece per le misure nelle quali si sperimentava sui mesoni negativi ai cilindri di grafite era sovrapposta una lastra di ferro spessa 5 cm. In questa serie venivano inoltre alternate, con le precedenti, misure effettuate concentrando i mesoni negativi sopra uno spessore di 6,2 cm di ferro.

Le misure della 2ª e 3ª serie furono eseguite al primo piano dell'Istituto (sotto uno spessore di circa 30 gr/cm²) onde avere una migliore protezione dagli sciami).

Per l'interpretazione dei risultati ottenuti occorre tener conto in primo luogo della correzione — cui abbiamo accennato nel n. 2 — dovuta alle casuali non escluse dall'anticoincidenza.

Effettivamente detta M l'intensità delle coincidenze dovute agli eventi ritardati connessi con il frenamento dei mesoni nell'assorbitore e indicata con Δ la differenza tra le coincidenze triple e quaduple ritardate, si riconosce che per il nostro dispositivo si può porre ⁽¹⁰⁾:

$$M = \Delta - pIV \pm \sqrt{\Delta},$$

(*) I cilindri poggiavano direttamente sui contatori del 3° gruppo.

dove

$$p = \frac{1 - \rho_1}{\rho_1}.$$

Il rapporto ρ_1 tra triple e quadruple può essere misurato, come si è detto nel n. 3, in coincidenze non ritardate o introducendo un piccolo ritardo. Il valore di p si determina quindi con grande precisione.

Poichè tale valore è risultato di circa 0,05 si vede del resto che la correzione pIV è di piccola entità.

I valori di M corrispondenti alle varie misure sono riportati nella tabella seguente.

TABELLA I. - Risultati delle misure.

Serie	Se- gno	Assorbitore	III	IV	t	IV/ora	M	$\frac{M_-}{M_+}$
1°	+	3 cm Fe	117	59	117 ^h 16'	0,33 ± 0,045	0,31 ± 0,045	0,17
	—	3 cm Fe	92	79	168 ^h 06'	0,47 ± 0,055	0,054	
	—	Assente	20	17	80 ^h 46'	0,21 ± 0,05	0,027	
2°	+	5 cm Fe	213	106	155 ^h —	0,69 ± 0,07	0,67 ± 0,065	0,048
	—	5 cm Fe	172	158	206 ^h —	0,77 ± 0,06	0,03	
	—	Assente	71	69	107 ^h 45'	0,64 ± 0,08	— 0,01	
3°	+	4 cm C	170	101	179 ^h 20'	0,56 ± 0,055	0,36 ± 0,045	0,75
	—	4 cm C + 5 cm Fe	218	146	243 ^h —	0,60 ± 0,05	0,27 ± 0,035	
	—	6 cm Fe	128	120	240 ^h —	0,50 ± 0,045	0,008	

6. - Discussione.

a). Cominceremo con l'esaminare le prime due serie di misure che, per essere state eseguite usando lo stesso materiale come assorbitore, risultano ben confrontabili.

Per rendersi conto delle differenze tra i risultati ottenuti con le due serie, occorre tener presente la diversità delle condizioni in cui esse sono state eseguite.

Effettivamente mentre l'intensità M_- relativa alla 2^a serie si può, sulla base dei dati contenuti nella tabella, riguardare come praticamente nulla, altrettanto non può dirsi per l'intensità M_- relativa alla 1^a serie. Occorre

però ricordare che quest'ultima è stata eseguita utilizzando un campo magnetico sensibilmente inferiore a quello usato nella 2^a. Inoltre si deve qui aggiungere che la disposizione dei quattro contatori di anticoincidenza interposti tra gli elettromagneti era, nella 1^a serie, lievemente diversa che nelle altre: i contatori invece di essere a ridosso uno dell'altro, così come è mostrato nella fig. 1, erano infatti distanziati di $4 \div 5$ mm. Ciò non aveva praticamente influenza sul rendimento del sistema (rapporto tra le quadruple e le triple) misurato in coincidenze non ritardate (prendendo cioè particelle di tutte le energie) mentre per le particelle di bassa energia che seguivano traiettorie del tipo della α di fig. 1, il rendimento era, in queste condizioni, sensibilmente minore.

Sembra quindi che il piccolo effetto M_{-} registrato nella 1^a serie si possa riguardare come un effetto strumentale.

Le nostre misure mostrano dunque che realmente i mesoni negativi assorbiti dal ferro non subiscono la disintegrazione.

Per quanto riguarda le intensità delle quadruple ritardate, riportate in tabella, osserviamo che esse presentano, nelle prime due serie, una lieve differenza nei due casi corrispondenti all'assorbimento dei mesoni dei due segni. Per quanto tale differenza non sia fuori degli errori, il fatto che essa si ripeta con lo stesso segno nelle due serie può far pensare che non si tratti di una fluttuazione. In realtà, se si tien conto delle particelle positive che terminano il loro percorso nell'assorbitore seguendo traiettorie del tipo della α di fig. 1 *a*), si riconosce che è verosimile riscontrare, nel caso in cui si concentrano i mesoni negativi, un numero di quadruple maggiore che nell'altro caso. Le particelle dette infatti, disintegrando nell'assorbitore dopo aver attraversato uno dei contatori di anticoincidenza, danno luogo a coincidenze ritardate quadruple.

Per studiare il comportamento dei mesoni negativi assorbiti in un materiale di basso numero atomico noi pensammo di usare un assorbitore di grafite. Ben si prestava questo materiale al nostro scopo perchè la sua densità è sufficientemente elevata da garantire, per le coincidenze ritardate, un'intensità ragionevole anche per uno spessore di pochi centimetri.

La grafite di cui potevamo disporre era costituita da cilindri di 5 cm di diametro, equivalente — come si è detto nel numero precedente — ad una lastra omogenea dello spessore di circa 4 cm.

Agli effetti dell'assorbimento dei mesoni un simile spessore di grafite equivaleva ad uno spessore di 1,2 cm di ferro ⁽¹²⁾. Ora usando un tale assorbitore noi avremmo sperimentato su mesoni di energia media diversa da

⁽¹²⁾ V. per es. G. C. WICK: « La Ric. Scient. », 12, 858 (1941).

quella (*) relativa alle due serie precedenti, mentre per stabilire un confronto tra il comportamento dei mesoni negativi nel ferro e nel carbonio era evidentemente desiderabile, a priori, porsi nelle condizioni della 2ª serie. È essenzialmente per questa ragione che, nelle misure in cui si concentravano i mesoni negativi, allo spessore di grafite è stato sovrapposto uno spessore di 5 cm di ferro (**). Sostituendo poi alla grafite uno spessore equivalente di ferro (1,2 cm) era possibile confrontare direttamente il comportamento dei mesoni negativi assorbiti nei due materiali e appartenenti alla stessa banda di energie.

Le misure precedenti venivano sistematicamente alternate tra di loro e — onde avere un ulteriore dato — con misure in cui si concentravano i mesoni positivi sull'assorbitore di grafite. Naturalmente in queste ultime misure non si poteva sovrapporre alla grafite il ferro perchè in tal caso si sarebbero registrati anche elettroni generati dalla disintegrazione dei mesoni positivi nel ferro stesso. La diversa banda di energia determinata dalla diversità degli assorbitori usati, rende quindi tali misure non rigorosamente confrontabili con le precedenti. Va tenuto presente però che le due bande di energia differiscono soltanto nella posizione da esse occupata nello spettro, non nella loro ampiezza (in quanto, per i risultati delle due serie precedenti, si deve ritenere che i mesoni negativi frenati nel ferro sovrastante la grafite non danno luogo ad eventi ritardati). La diversità degli assorbitori agirà allora sull'intensità degli effetti M_+ , M_- sia per la differente posizione occupata dalle rispettive bande di energia nello spettro, che per la conseguente diversa azione dei circuiti magnetici. Ricordando però che lo spettro differenziale mesonico presenta un massimo al l.d.m. in corrispondenza di un'energia che è abbastanza prossima a quella richiesta per attraversare i 20 cm di Fe costituenti i nostri magneti, si riconosce, sulla base dei calcoli riportati nel n. 4, che il confronto tra gli effetti M_+ ed M_- osservati nella 3ª serie, si può praticamente effettuare senza introdurre correzioni di sorta.

(*) Dato che la penetrazione media degli elettroni di disintegrazione nel ferro è di circa 2,5 cm ⁽¹³⁾ (*) i mesoni sui quali si sperimentava nella 2ª serie eran quelli frenati negli ultimi 2,5 cm ca. dell'assorbitore di Fe.

(**) Non 3,8 cm, come era preferibile, perchè non disponevamo di blocchi di ferro di questo spessore.

⁽¹³⁾ BETHE and HEITLER: «Proc. Roy. Soc.», A, 146, 83 (1934).

TABELLA II. — Risultati delle misure in camera di Wilson su mesoni a fine range.

AUTORI	Gas	Campo Oersted	Press. atmospere	Massa	Carica	Elettr. disintegr.
NEDDERMEYER, ecc. « Phys. Rev. », 54, 88 (1938)	2/3 He. 1/3 Ar + Alcool	7.900	1	240 ± 35	+	Incerto
NISHINA, ecc. « Phys Review », 55, 585 (1939)	Aria + Alcool	12.600	1,3	170 ± 9	—	No
MAYER-LEIBNITZ: « Z. S. für Phys. », 112, 569 (1939)	C ₃ H ₈	2.700	1 (?)	120 ± 30 100 ± 30 20 ? 55 ± 35 170 ± 100	— + + — +	No ? ? ? ?
WILLIAMS, ecc.: « Nat. », 145, 102 (1940)	?	1.180	1 (?)	250 ± 70	+	Sì
WILLIAMS, ecc.: « Nat. », 145, 818 (1940)	Argon	?	80	? ?	? ?	Sì (?) Sì (?)
JOHNSON, ecc.: « Phys. Rev. », 61, 380 (1941)	Argon	1.150	1,3	75 + 90 — 40	—	No
DE BENEDETTI, ecc.: « Phys. Rev. », 62, 552 (1942)	Argon + Alcool propi-Neo + H ₂ O	No	70	40 — 400	?	Sì

b). I risultati delle prime due serie di misure possono essere interpretati ammettendo, in accordo con le previsioni teoriche di TOMONAGA e ARAKI, che i mesoni negativi che terminano il loro percorso in un blocco di ferro, vengano catturati dai nuclei dell'assorbitore prima ancora di disintegrarsi. I mesoni positivi invece, disintegrando, sono responsabili dell'effetto M_+ riscontrato nelle condizioni in cui essi vengono assorbiti.

Che cosa consegua alla cattura dei mesoni negativi da parte dei nuclei dell'assorbitore, non è possibile dire in base alle misure qui riportate.

È attualmente in progetto un'esperienza atta a far luce sull'ipotesi che la cattura del mesone negativo sia accompagnata dall'emissione di un quanto γ .

Passando a discutere i risultati della 3ª serie di misure, notiamo in primo luogo che essi sono in contrasto con la teoria di TOMONAGA e ARAKI. Queste misure mostrano infatti in modo assai chiaro la presenza di un effetto M_- .

da parte dei mesoni assorbiti nella grafite, mentre secondo la teoria il processo di cattura dovrebbe essere ancora estremamente più probabile del processo di disintegrazione.

Abbiamo ritenuto opportuno di riportare nella tabella II i pochi dati noti relativi a fotografie in camera di Wilson di mesoni a fine percorso. Non sembra scaturire alcuna contraddizione dal confronto tra questi dati e quelli dell'esperienza qui riferita. Va solo notata la fotografia di NISHINA e coll., per l'interpretazione della quale si può pensare che il mesone negativo sia stato assorbito da un nucleo di ossigeno.

Per quanto riguarda poi la diversa entità degli effetti M_+ ed M_- trovati con la grafite, si può osservare che diversi sperimentatori ⁽¹⁴⁾, ⁽¹⁵⁾, ⁽¹⁶⁾, concordano nel riscontrare nella componente mesonica al l.d.m. un eccesso positivo in misura del 20 % ca. Dai dati riportati nella tabella si deduce:

$$2(M_+ - M_-)/(M_+ + M_-) = 0,28 \pm 0,18.$$

Sembra dunque naturale attribuire all'eccesso positivo la differenza osservata tra gli effetti M_+ ed M_- .

Non si può peraltro escludere che tale differenza sia in parte dovuta ad eventuali impurità contenute nella grafite da noi usata. In effetti, ammettendo che nella grafite siano presenti anche piccole percentuali di elementi di elevato potere atomico e che per il carbonio non abbia luogo la cattura dei mesoni negativi (contrariamente a quel che accadrebbe secondo i calcoli di TOMONAGA e ARAKI) si può prevedere che, a causa dell'elevato numero di urti che un mesone « termico » compie contro i nuclei dell'assorbitore prima di disintegrarsi, la probabilità di cattura non sia trascurabile per i mesoni negativi.

Ringraziamo il Prof. G. BERNARDINI per il costante interessamento con cui ha seguito questa ricerca.

⁽¹⁴⁾ H. JONES: « Rev. Mod. Phys. », **11**, 235 (1939).

⁽¹⁵⁾ D. H. HUGHES: « Phys. Rev. », **57**, 592 (1940).

⁽¹⁶⁾ G. BERNARDINI, M. CONVERSI, E. PANCINI e G. C. WICK: « Ric. Scient. », **12**, 1227 (1941) e « Phys. Rev. », **60**, 535 (1941).