

Pubblicazioni
dell'Istituto Nazionale di Geofisica del Consiglio Nazionale delle Ricerche
diretto dal prof. Antonino Lo Surdo

N. 30

MARIO AGENO, GILBERTO BERNARDINI, BERNARDO NESTORE CACCIAPUOTI,
BRUNO FERRETTI e GIAN CARLO WICK

Sulla instabilità del mesotrone

ROMA

ANNO MCMXXXIX - XVIII

ESTRATTO DA " LA RICERCA SCIENTIFICA "

ANNO X - N. 12 - (DICEMBRE 1939-XVIII), pag. 1073

ROMA, 1939-XVIII - TIPOGRAFIA TERME - VIA PIETRO STERBINI, 6.

Riassunto: L'instabilità del mesotrone è stata nuovamente confermata con un'esperienza indipendente dall'ipotesi dell'isotropia nella radiazione cosmica. Contemporaneamente è stata effettuata una accurata misura della vita media di questa particella, misura che ha dato un valore compreso fra tre e quattro microsecondi.

1) Si ritiene generalmente che la componente dura della radiazione penetrante sia di origine secondaria, essendo costituita di mesotroni instabili generati nell'atmosfera, da una radiazione primaria non ancora bene identificata (1). Una prima indicazione della instabilità del mesotrone fu data da Yukawa (2) ammettendo che la particella di massa intermedia introdotta per spiegare le forze nucleari si identificasse coi corpuscoli costituenti la componente dura. Secondo questa identificazione il mesotrone si disintegrerebbe spontaneamente in un elettrone e in un neutrino con una vita media dell'ordine del microsecondo.

Successivamente, sviluppando un'idea di Kulenkampf, Euler e Heisenberg (3) interpretarono quantitativamente l'assorbimento anomalo della componente dura nell'aria (4) mediante l'ipotesi di Yukawa. Su questo principio si basano le determinazioni della vita media del mesotrone eseguite da vari autori (5).

Lasciando da parte l'effetto di temperatura, non ancora completamente chiarito e che del resto non si presta a determinazioni precise, tutte le misure ricordate si basano essenzialmente sul confronto d'intensità direzionali per differenti angoli zenitali e richiedono, per essere valide, l'ipotesi dell'isotropia della componente mesotronica all'atto della sua creazione. Ci è sembrato pertanto interessante stabilire l'esistenza dell'assorbimento anomalo mediante un'esperienza indipendente dall'ipotesi dell'isotropia. Effettivamente sebbene questa ipotesi sia resa plausibile dalla piccolezza degli effetti *azimutali* osservati alle latitudini alle quali le esperienze in questione sono state eseguite, esperienze recenti (6) potevano far sorgere qualche serio dubbio sulla sua attendibilità. E' necessario a questo scopo confrontare l'intensità della componente mesotronica a due diverse altezze sul livello del mare, ma nella *stessa direzione*; se per di più nella misura a maggiore altezza viene interposto fra i contatori in coincidenza uno strato di materia equivalente allo strato d'aria attraversato dalla radiazione fra i due livelli confrontati, la differenza fra le intensità misurate sarà direttamente imputabile alla disintegrazione del mesotrone.

E' chiaro che in un'esperienza così fatta non si possono ottenere effetti così cospicui come nel confronto fra angoli zenitali diversi. Per esempio nell'esperienza di Johnson e Pomerantz (5) venivano confrontate le intensità

verticale e rispettivamente sotto un angolo zenitale di 58° . Ammettendo un'altezza di circa 16 km per il luogo di creazione dei mesotroni provenienti in direzione verticale si trova una differenza di cammino nell'aria di circa 22 km tra le due misure. Nell'esperienza da noi eseguita la disintegrazione del mesotrone veniva misurata su una distanza di soli 3 km; in compenso la misura avveniva probabilmente su mesotroni di energia minore di quella dei mesotroni studiati da Johnson e Pomerantz. Una valutazione grossolana di questa energia si può fare assumendo come spettro dei mesotroni quello comunemente accettato ed espresso dalla funzione $f(E) = E^{-(s+1)}$ con $s = 1,9$. Si trova così che l'energia dei mesotroni da noi investigati è probabilmente fra $1/3$ e $1/2$ quella relativa all'esperienza di Johnson e Pomerantz e che pertanto l'effetto prevedibile per le nostre misure è circa $0,3 \div 0,4$ quello da loro trovato. Poichè Johnson e Pomerantz hanno ottenuto, nelle loro misure, un effetto del 40 %, noi potevamo attenderci dalle nostre un effetto del $11 \div 15$ %.

Per una constatazione ragionevolmente sicura di questa differenza, relativamente piccola occorrono non solo lunghi conteggi, ma anche un'esecuzione accurata e particolari precauzioni atte a garantire il costante funzionamento dell'apparecchio a coincidenza, perchè le misure non possono avere il solito carattere di misure alternate bensì si confrontano misure effettuate in due luoghi diversi.

Il risultato poi non poteva servire che a provare la realtà dell'effetto, più che a una determinazione precisa della vita media.

Ci è parso perciò utile accoppiare l'esperienza in questione con una nuova determinazione della vita media col metodo ordinario della inclinazione. Se infatti si sceglie una direzione zenitale non troppo inclinata (noi abbiamo assunto quella verticale) ciò si ottiene con una misura ulteriore, facile a eseguirsi, fatta sotto un'inclinazione maggiore. Precisamente una misura alla stazione superiore, dell'intensità direzionale, per un angolo zenitale scelto in modo che lo strato d'aria attraversato dai raggi inclinati sia equivalente a quello attraversato dai raggi verticali per giungere alla stazione inferiore.

2) Un'esperienza preliminare del primo tipo fu eseguita da due di noi (Ageno e Ferretti) ma non dette risultati sicuri e venne perciò deciso di riprendere le misure in condizioni migliori.

Come stazione inferiore fu scelto Châtillon (Aosta) (500 m s. l. m.), come stazione superiore Pian Rosà (3460 m s. l. m.) perchè il collegamento fra le due località, nonostante il considerevole dislivello, era notevolmente agevole. Effettivamente, usufruendo della funivia che collega Pian Rosà con Cervinia era possibile effettuare il trasporto del materiale fra le due stazioni entro una giornata.

Le misure a Pian Rosà vennero eseguite in una capanna di legno (spessore delle pareti circa 3 cm) gentilmente costruita, a questo scopo, dalla Soc. an. funivie del Cervino; a Châtillon le misure furono invece effettuate in una soffitta avente un tetto di circa 2 cm di ardesia e sostenuto da alcune travicelle di legno.

Le misure sono state eseguite alternativamente nella località inferiore e superiore in 5 successive riprese.

Il sistema dei contatori è indicato, in scala, dalla fig. 1. Esso era mon-

tato su un supporto in squadra di ferro che poteva inclinarsi, rispetto alla verticale, di quanto occorreva.

Le coincidenze triple venivano misurate fra tre terne di contatori allineate, ogni terna venendo usata come un contatore unico. Nell'esperienza verticale a 500 m e in quella inclinata a 3460 m era interposto fra le terne uno strato di piombo dello spessore di 10 cm per eliminare la componente molle. Nell'esperienza verticale a 3460 m era aggiunto un ulteriore strato di piombo equivalente ai 3 km di aria interposti di cui si dirà in seguito.

L'intensità della componente dura è stata posta proporzionale al numero delle coincidenze triple, salvo due correzioni di cui si dirà nella terza parte di questa pubblicazione. Contemporaneamente alle triple venivano registrate le coincidenze doppie tra le terne estreme. La differenza fra le coincidenze doppie e le triple essendo dovuta essenzialmente alle coincidenze casuali, la registrazione delle doppie ci permetteva di controllare la costanza di funzionamento dell'apparecchio. Per maggior precauzione veniva eseguito frequentemente (ogni ora circa) il controllo degli impulsi di ogni singolo contatore. La temperatura nella capanna a 3460 m è stata mantenuta a valori confrontabili con quelli della stazione inferiore.

3) Le misure da noi eseguite sono dunque le seguenti:

a) a 500 m s. l. m. coincidenze triple in direzione verticale con 10 cm di piombo;

b) a 3460 m s. l. m. coincidenze triple in direzione verticale con 49 cm di piombo;

c) a 3460 m s. l. m. coincidenze triple in direzione inclinata a 45° con 10 cm di piombo.

Lo strato di piombo nella misura *b*) era disposto come nella fig. 1.

Le pressioni registrate alla stazione superiore e inferiore erano rispettivamente 500 e 700 mm Hg circa. L'angolo d'inclinazione ξ venne scelto in base all'equazione $\cos \xi = 500/700$ il che dà appunto $\xi = 45^\circ$. In queste condizioni lo strato d'aria attraversato nelle misure *a*) e *c*) era lo stesso. La scelta dello strato di piombo nell'esperienza *b*) è stata dettata dalle considerazioni seguenti.

Sarebbe stato evidentemente desiderabile impiegare come strato assorbente un materiale di numero atomico più vicino a quello dell'aria. Ciò avrebbe richiesto però o l'impianto di dispositivi costosi o una maggiore distanza fra i contatori, con un aumento corrispondente delle difficoltà sperimentali. D'altra parte ci è sembrato che anche col piombo si potesse ottenere un confronto ragionevole. Lo strato d'aria interposto fra le stazioni inferiore e superiore avendo una massa di circa 278 g/cm^2 , lo strato di piombo contenente un ugual numero di elettroni per cm^3 avrebbe uno spessore di circa 31 cm. A questo valore abbiamo apportato una correzione per tenere conto del minor potere frenante degli elementi pesanti in base alla formula di Bloch (7). Assumendo per il mesotrone una massa pari a 160 masse elettroniche, supponendo inoltre che l'assorbimento della componente dura avvenga solo per frenamento (ionizzazione) e usando la formula di Bloch adattata da Bhabha (8) troviamo che un mesotrone capace di attraversare uno strato d'aria di 278 g/cm^2 ha un'energia di $570 \cdot 10^6 \text{ ev}$. ed è capace di attraversare 444 g/cm^2 di piombo ossia uno spessore di 39 cm (9).

La correzione in base alla formula di Bloch risulta così del 26 %, ma è importante osservare che il valore della correzione non è molto critico.

Un errore di 1 cm nello spessore di piombo, porterebbe in base a dati noti, una variazione di circa 1 % nella intensità misurata.

Anche i dubbi che può far nascere la possibilità di processi di assorbimento diversi dalla ionizzazione (frenamento nucleare, irraggiamento, ecc.)

non ci sembrano molto gravi. Del resto un confronto fra l'assorbimento nel piombo e in altri mezzi è stato fatto da Clay e collaboratori (10) collo scopo di verificare l'equivalenza di strati di uguale massa. Essi hanno trovato che il piombo assorbe meno degli elementi leggeri non solo a parità di massa, ma anche circa il 12 % in meno a parità di elettroni per cm². Questo dato, tenuto conto dei grandi spessori considerati da Clay, è in accordo con la formula di Bhabha.

Infine a prescindere da queste considerazioni è bene tener presente che l'errore da noi commesso nel determinare lo spessore di piombo è se mai in eccesso e tende eventualmente a mascherare l'effetto di disintegrazione nel confronto fra le misure *a*) e *c*). Il fatto che, come si dirà, noi abbiamo trovato in questo caso un effetto dell'or-

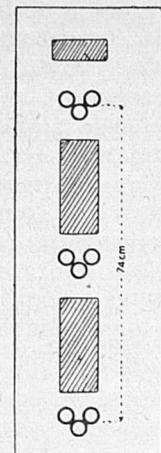


Fig. 1 - Disposizione dei contatti (in scala).

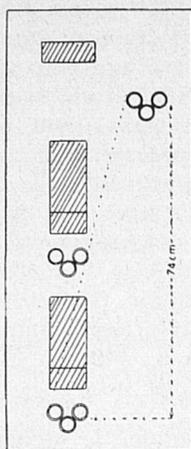


Fig. 2 - Disposizione dei contatti per la misura degli sciame in direzione verticale (in scala).

dine previsto ci conferma che un errore serio non è stato commesso e rende così legittimo anche l'uso del confronto fra *a*) e *b*) per una misura più precisa della costante di disintegrazione del mesotrone.

Abbiamo ancora considerato la possibilità che la deflessione (scattering) delle particelle nel piombo portasse a una diminuzione notevole delle coincidenze triple. Anche per questa obiezione vale la risposta precedente; inoltre vari autori (11) hanno trovato sperimentalmente che la deflessione dei mesotroni è dell'ordine previsto dalle formule di Williams (12). Applicando questa formula al nostro caso abbiamo trovato che l'effetto di deflessione non può influire sulle nostre misure per più di 1 o 2 %.

Il risultato delle nostre misure è dato nelle seguenti tabelle.

TABELLA I

Direzione	Pian Rosà	Inclinata	Châtillon
	Verticale		Verticale
I serie	925 min. 4328 coine. 280 coine/ora	688 min. 2451 coine. 214 coine/ora	1820 min. 7601 coine. 250 coine/ora
II serie	1061 min. 5264 coine. 297 coine/ora	1265 min. 4857 coine. 230 coine/ora	1230 min. 5188 coine. 253 coine/ora

A questi dati è stato necessario apportare due correzioni. La prima è dovuta agli sciame generati nell'aria (sciame di Auger). Il numero delle coincidenze triple prodotto da questi sciame è diverso a seconda dell'altezza

e dell'inclinazione del sistema dei contatori; la correzione è quindi piuttosto importante. Essa è anche notevole come può essere visto dai dati che seguono, ma è da notare che il tenerne conto tende a diminuire anzichè esaltare l'effetto previsto.

Il conteggio degli sciami fu fatto disponendo, sia a Châtillon come a Pian Rosà, i contatori nel modo indicato dalle figg. 2 e 3. La prima si riferisce alla posizione verticale, la seconda a quella inclinata.

Le disposizioni date ai contatori sono naturalmente alquanto arbitrarie, ma il fatto che gli sciami registrati nello stesso luogo (Pian Rosà) con due disposizioni molto diverse (quella della fig. 2 e quella della fig. 3) non diano valori molto dissimili ci fa pensare che i numeri ottenuti abbiano un qualche significato.

Nella tabella seguente sono dati i risultati delle misure di sciami corrispondenti alle due serie di cui nella tabella I, insieme ai valori dell'intensità della radiazione mesotronica, nelle varie condizioni, quando gli sciami siano detratti.

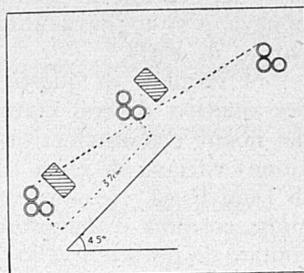


Fig. 3 - Disposizione dei contatori (in scala) per la misura degli sciami in posizione inclinata.

TABELLA II

Direzione	Pian Rosà		Châtillon	
	Verticale	Inclinata	Verticale	Inclinata
I serie sciami	318 min. 140 coine.	164 min. 54 coine.	480 min. 76 coine.	
II serie sciami	300 min. 173 coine.	300 min. 134 coine.	540 min. 104 coine.	
I serie int. mes.	254 ± 4,8 coine/ora	193,9 ± 5,1 coine/ora	241 ± 3 coine/ora	
II serie int. mes.	263 ± 4,8 coine/ora	203,6 ± 4 coine/ora	241,5 ± 3,8 coine/ora	

La seconda correzione riguarda la variazione di rendimento del sistema di contatori, quando varia il numero degli impulsi singoli nei singoli contatori. I contatori erano a miscela di argon e alcool saldati in vetro; le loro dimensioni efficaci erano 3 × 27 cm. Il loro rendimento variava, in condizioni normali (circa 250 impulsi per min.) fra il 96 e il 94%. Agli effetti del loro funzionamento avevano delle caratteristiche che presentavano una zona di saturazione (con variazione del numero degli impulsi inferiori al 5%) estesa per oltre 300 volt. La tensione iniziale era intorno ai 950 volt.

La variazione del rendimento è stata determinata nel modo seguente. Con la registrazione usata nelle misure effettuate a Pian Rosà e a Châtillon si sono contate le coincidenze triple e quaduple fra quattro contatori disposti come nella fig. 4. Il sistema di contatori era protetto da grossi spessori di piombo, sia per ridurre il loro effetto di zero, sia per proteggersi, nei limiti del possibile, da sciami che avrebbero alterato il risultato delle misure stesse. I contatori 1, 2 e 4 erano sempre i medesimi e a essi si riferivano le coincidenze triple. Il contatore 3 era quello in prova e il suo rendimento era

assunto proporzionale al rapporto fra le coincidenze quaduple dei quattro contatori e le coincidenze triple ora dette.

Per variare il numero degli impulsi singoli del contatore in prova si poneva e si toglieva alternativamente, in prossimità di esso, un debole preparato di RaD.

I risultati di queste prove sono rappresentate graficamente nella fig. 5 per quattro diversi contatori. Da essi abbiamo desunto che il rendimento dei nostri contatori (i quattro si riferivano a quattro diverse serie di costruzione) variava di circa l'1 % nel passare dalla stazione di Châtillon a quella di Pian Rosà. Ne segue che a 3500 m s. l. m. l'intensità generale della radiazione cosmica è maggiore di quella registrata e il numero delle coincidenze contate a questo livello deve essere conseguentemente aumentato del 3 %.

4) Tenuto conto delle correzioni il risultato complessivo delle nostre misure, è il seguente:

$$\text{Fra 3500 e 500 m } \frac{j_v (3500) - j_v (500)}{j_v (500)} = 10,2 \pm 1,5 \%$$

$$\text{a 3500 m } \frac{j_v (3500) - j_i (3500)}{j_v (3500)} = 23,1 \pm 1,6 \%$$

dove j_v rappresenta l'intensità nella direzione verticale e j_i quella in direzione inclinata a 45°.

Il primo dato è in accordo con la valutazione approssimata dell'introduzione e l'accordo è ancora migliore se ci si riferisce, nella tabella I alla seconda serie di misure, serie che è stata eseguita per ultima e che differisce dalla prima, dal punto di vista strumentale, in quanto è stata eseguita con un complesso di contatori migliore di quelli impiegati nelle misure anteriori (di questo complesso di contatori fa parte quello cui si riferisce, nella fig. 5, la curva IV). Esso stabilisce l'esistenza dell'effetto di assorbimento anomalo nell'aria indipendentemente dall'ipotesi dell'isotropia.

Il secondo ha dato un valore quantitativo assai maggiore che il primo (più che non risulti dal confronto degli errori statistici) trattandosi di misure eseguite nelle stesse condizioni con frequenti alternanze. Conviene quindi sottoporlo a un'analisi quantitativa più precisa.

Al fine di confrontare il nostro risultato con quello di altri autori supporremo come si fa di solito che la componente dura venga creata quando la radiazione che la genera ha attraversato uno strato d'aria dal limite dell'atmosfera, dello spessore di circa 100 g/m (1/10 di atmosfera). Questa ipotesi si può in un certo senso ritenere convalidata sperimentalmente in base alle recentissime esperienze di Dymond (13) per quanto quelle di Schein, Jesse e Wollan (14) diano un'indicazione un po' diversa in questo senso.

E' però necessario ritenere che nulla sapendosi di preciso sulla radiazione che genera i mesotroni e sul suo assorbimento nell'atmosfera la vita media così dedotta, con apparente precisione, ha un valore convenzionale.

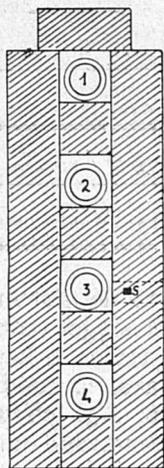


Fig. 4 - Dispositivo per provare il rendimento dei contatori: S è la sorgente radioattiva.

L'esperienza di Schein ecc. (14) dimostra che nel piombo vengono prodotti mesotroni da una radiazione non ionizzante; essa nulla ci dice però sulla produzione di quelle particelle nell'aria. Inoltre le esperienze di Johnson e Barry rendono molto probabile una origine protonica di almeno una parte della componente dura. In complesso come abbiamo già detto, appare conveniente ritenere convenzionale l'altezza di creazione indicata e altrettanto convenzionale il valore da attribuirsi, in base alle esperienze di assorbimento, alla vita media del mesotrone.

La nostra discussione dei risultati sperimentali è solo leggermente diversa da quella di Johnson e Pomerantz (5).

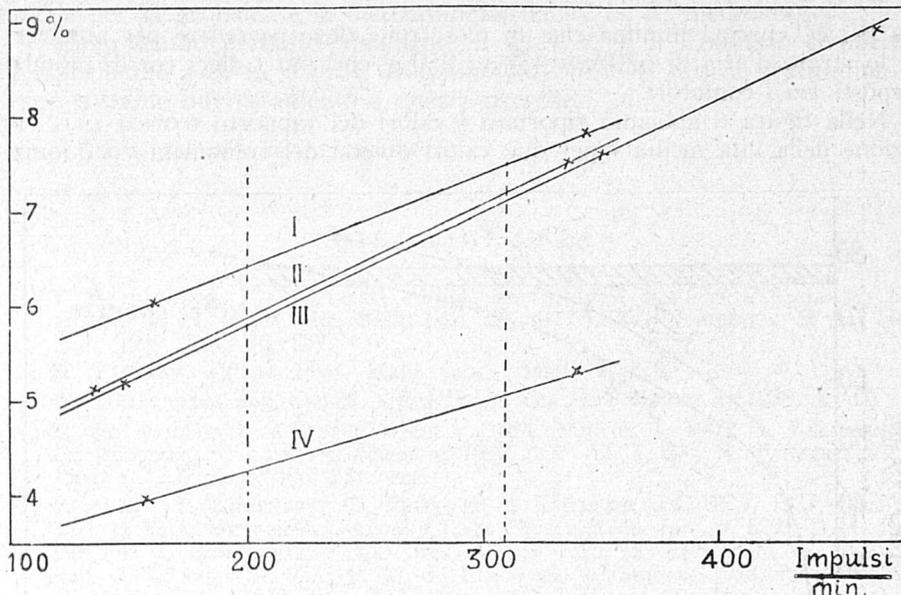


Fig. 5 - Curve di rendimento di quattro contatori. Sono riportate le diminuzioni di rendimento in funzione del numero di impulsi al minuto.

Indichiamo con X la profondità in g/m^2 , sotto il limite dell'atmosfera, a cui avviene l'osservazione (a 3500 m s.l.m. $X = 670 \text{ g}/\text{m}^2$), con J la perdita di energia per ionizzazione riferita a $1 \text{ g}/\text{m}^2$ di aria attraversata, con W l'energia del mesotrone all'arrivo e poniamo

$$W = W' + J X \sec \xi$$

dove W è l'energia iniziale del mesotrone (più rigorosamente l'energia del mesotrone all'atto della creazione è $W - 100 J$). Sia μ la massa del mesotrone, la probabilità $P(W, \xi)$ che il mesotrone arrivi al luogo d'osservazione senza disintegrare è data da

$$P(W, \xi) = \left(\frac{W - 100 J}{W \cos \xi - X J} \frac{X}{100} \right)^{-\frac{\mu c H}{\tau W \cos \xi}}$$

Per l'intensità specifica direzionale $j(W)$ assumeremo la legge ordinarmente ammessa

$$j(W) = \text{cost} \cdot W^{-2,9}$$

Allora il rapporto fra l'intensità inclinata e quella verticale sarà:

$$\frac{j_i}{j_v} = \frac{\int_{W_0}^{\infty} j(W) P(W, 45^\circ) dW}{\int_{W_0}^{\infty} j(W) P(W, 0^\circ) dW}$$

dove W_0 è l'energia minima che un mesotrone deve possedere per attraversare lo strato d'aria di $670/\cos 45^\circ = 950 \text{ g/cm}^2$ più i dieci cm di piombo interposti fra i contatori.

Nella figura 6 abbiamo riportato i valori del rapporto teorico j_i/j_v in funzione della vita media τ per due valori diversi del frenamento per ioniz-

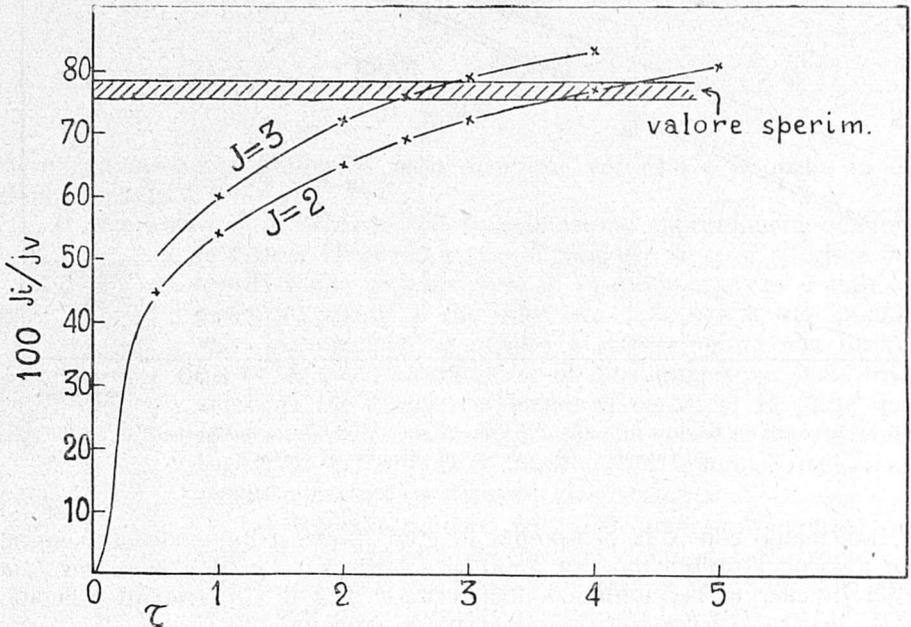


Fig. 6

zazione: $J = 2$ e rispettivamente $J = 3$ milioni di ev per g/cm^2 di aria attraversato (prendendo quindi come energia minima W_0 rispettivamente 2 e 3 miliardi di ev). Il valore sperimentale è riportato in figura come una striscia di larghezza uguale a due volte l'errore quadratico medio. Dal confronto si ricava per τ un valore compreso fra 3,7 e 4,3 microsecondi per $J = 2$ e fra 2,4 e 3 microsecondi per $J = 3$.

Si noti che il valore teorico e sperimentale del frenamento se si suppone che esso avvenga solo per ionizzazione, è più vicino a $J = 2$, ma che ci sono alcune indicazioni per ritenere che il frenamento totale sia in realtà compreso fra 2 e 3 milioni di ev (11).

Si noti ancora che Johnson discute i propri risultati con dati sulla ionizzazione assai vicini al nostro $J = 2$; prendendo nel suo diagramma la curva per $f = 0,1$; $\gamma = 3$ che più si avvicina alle nostre ipotesi si deduce dai suoi risultati un valore compreso fra 3 e 4 microsecondi. Ciò significa che, indipendentemente da quali siano le ipotesi più giuste per dedurre la vita media del rapporto sperimentale, esiste un accordo assai soddisfacente fra i suoi dati e i nostri.

Le esperienze di cui è oggetto questa nota sono state dirette e organizzate dall'Istituto nazionale per la geofisica del C. N. R. che ha la propria sede presso l'Istituto di Fisica della R. Università di Roma, grazie ad un adeguato contributo espressamente concesso, su proposta del Comitato nazionale per la geofisica e la meteorologia, dal C. N. R. medesimo.

Ringraziamo pertanto vivamente il C. N. R. e il Comitato competente ed esprimiamo a S. E. il prof. Antonino Lo Surdo la nostra gratitudine per il suo costante interessamento a queste ricerche.

Roma, 21 novembre 1939-XVIII.

BIBLIOGRAFIA

- (1) T. H. JOHNSON, J. G. BARREY, « Phys. Rev. », 1939, fasc. 56, 219; L. W. NORDHEIM, M. H. HEBB, *ibid.*, 1939, fasc. 56, 494; L. W. NORDHEIM, M. H. HEBB, *ibid.*, 1939, fasc. 56, 502.
- (2) H. YUKAWA, « Proc. Phys. Math. Jap. », fasc. 17, 220.
- (3) W. HEISENBERG und EULER, « Ergebnisse der Ex. Naturw. », 1938, XVII.
- (4) S. DE BENEDETTI, « La ric. scient. », 1934, V, vol. I, 590; G. BERNARDINI e D. BOCCIARELLI, « La ric. scient. », 1935, VI, vol. I, 33; A. EHMERT, « Z. f. Phys. », 1937, fasc. 106, 751; ecc.
- (5) P. AUGER, P. EHRENFEST, A. FRÉON et A. FOURNIER, « C. R. », 1937, fasc. 204, 257; P. EHRENFEST et A. FRÉON, « J. de Phys. », 1938, fasc. 9, 529; T. H. JOHNSON, M. A. POMERANTZ, « Phys. Rev. », 1939, fasc. 55, 104; P. M. S. BLACKETT, *ibid.*, 1938, fasc. 54, 973; P. M. S. BLACKETT, « Nature », 1938, fasc. 142, 992; B. ROSSI, *ibid.*, 1938, fasc. 142, 993.
- (6) D. M. COOPER, « Phys. Rev. », 1939, fasc. 55, 1272.
- (7) F. BLOCK, « Ann. Phys. », 1933, fasc. 16.
- (8) BHABHA, « Proc. Roy. Soc. A », 1938, fasc. 164, 257.
- (9) Cfr. B. FERRETTI, « La ric. scient. », 1939, X, 736.
- (10) J. CLAY and A. G. M. van GEMERT, « Physica VI », 1939, 649.
- (11) C. D. ANDERSON, « Phys. Rev. », 1933, fasc. 43, 381; P. M. S. BLACKETT, « Proc. Roy. Soc. A », 1936, fasc. 154, 564; P. M. S. BLACKETT, *ibid.* A, 1937, fasc. 159, 1; P. M. S. BLACKETT, *ibid.* A, 1937, fasc. 159, 19; C. D. ANDERSON and NEDDERMAYER, « Phys. Rev. », 1936, fasc. 50, 236; CRUSSARD et LEFRINCE-RINGUET, « C. R. », 1937, fasc. 204, 240; P. M. S. BLACKETT and J. G. WILSON, « Proc. Roy. Soc. A », 1937, fasc. 160, 304; P. M. S. BLACKETT and J. G. WILSON, « Proc. Roy. Soc. A », 1938, fasc. 165, 209; J. G. WILSON, « Proc. Roy. Soc. A », 1939, fasc. 172, 517; J. G. WILSON, *ibid.* A, 1938, fasc. 166, 482; P. EHRENFEST, « C. R. », 1938, fasc. 207, 573.
- (12) E. J. WILLIAMS, « Proc. Roy. Soc. », 1939, fasc. 169, 531.
- (13) DYMOND, « Nature »,
- (14) M. SCHEIN, W. P. JESSE, E. O. WOLLAN, « Phys. Rev. », 1939, fasc. 56, 613.