

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

---

**N. 17**

MARIO AGENO

Sugli effetti di scambio  
nella radiazione cosmica

ROMA  
ANNO MCMXXXIX - XVII

ESTRATTO DA "LA RICERCA SCIENTIFICA"  
ANNO X - N. 7-8 - (LUGLIO-AGOSTO 1939- XVII), Pag. 675

ROMA - TIP. DELLE TERME - VIA PIETRO STERBINI, 2-6

---

**Riassunto:** Si discutono le precedenti esperienze dirette a mettere in evidenza gli effetti di scambio e si fa vedere come non siano conclusive sia per difetto di precisione, sia per la mancata eliminazione degli effetti di diffusione. Si descrive un nuovo dispositivo sperimentale che evita gli inconvenienti dei precedenti. Si descrive una registrazione per contatori con coincidenze e anticoincidenze di rendimento particolarmente elevato. Si espongono i risultati delle misure eseguite, in base ai quali si conclude per l'inesistenza di effetti di scambio in percentuale maggiore del 0,3 %.

1. - E' stato messo in evidenza da H. J. Bhabha <sup>(1)</sup> che un neutrone o un protone di energia relativistica, attraversando la materia, procede fino ad urtare un protone o un neutrone rispettivamente, al quale cede quasi totalmente la sua energia e che viene proiettato quasi esattamente nella direzione della particella incidente. Quindi una particella pesante di energia relativistica nell'attraversare la materia percorre metà della sua traiettoria sotto forma di neutrone e metà sotto forma di protone. Questo effetto è una conseguenza caratteristica delle interazioni di scambio e non si verifica se l'interazione tra protone e neutrone non è di questo tipo.

L'esperienza suggerita da Bhabha, allo scopo di decidere sulla natura dell'interazione tra particelle pesanti fu tentato da Jacobsen e da Clay indipendentemente, quando ancora si riteneva che la parte dura della radiazione cosmica fosse costituita da protoni. Il loro dispositivo sperimentale era costituito da un telescopio di tre contatori a filo di Geiger, tra i quali s'interponevano due masse di piombo dello spessore ciascuna di dieci centimetri. Assumendo infatti come sezione d'urto per il processo che ci interessa la sezione geometrica, si calcola un cammino libero medio in piombo di circa dieci centimetri. Essi misurarono il rapporto tra le coincidenze doppie dei due contatori estremi e le triple dei tre contatori, rapporto che avrebbe dovuto essere 2,5 nel caso che l'effetto si verificasse ed uno nel caso contrario. Nei limiti della precisione delle loro misure questo rapporto fu da entrambi trovato uguale all'unità.

Una seconda esperienza più precisa fu tentata lo scorso anno da Wasiutynska e Wertenstein <sup>(2)</sup> con un dispositivo sperimentale diverso (fig. 1). Lo spessore di ciascuna delle due masse di piombo fu da essi portato a 30 cm e furono aggiunti i due contatori 1 e 5 allo scopo di selezionare le particelle di provenienza quasi verticale, dato che alcune misure preventive avevano

---

<sup>(1)</sup> H. J. BHABHA, « Nature », 134, 934 (1934) — « Nature », 139, 1021 (1937).

<sup>(2)</sup> Z. WASIUTYNSKA, L. WERTENSTEIN, « Nature », 142, 475 (1938).

mostrato l'esistenza di particelle traversanti i contatori 2 e 4 ma non il contatore 3, in seguito a diffusione nel piombo. La loro esperienza consisteva nella misura contemporanea delle quadruple dei contatori 1, 2, 4, 5 e delle quadruple dei contatori 1, 3, 4, 5, e diede come risultato:

(1, 2, 4, 5)	$3,44 \pm 0,2$ per ora
(1, 3, 4, 5)	$3,53 \pm 0,2$ per ora

cioè un risultato pienamente concordante con le precedenti misure di Jacobsen e di Clay.

Sul significato di questa esperienza sono da fare le osservazioni seguenti. Il fatto che Wasiutynska e Wertenstein abbiano trovata necessaria l'aggiunta dei contatori 1,5 per ridurre l'importanza degli effetti di diffusione e degli sciami generantisi nel piombo, dimostra che i loro piombi non erano, come avrebbero dovuto essere, sagomati esattamente sulle dimensioni della zona sensibile dei contatori. Ciò risulta del resto anche dalla figura da essi pubblicata e qui esattamente riprodotta. Non è di conseguenza esclusa la possibilità che delle particelle oblique traversanti il contatore 1 ma non il contatore 2 incidano nel piombo superiore e subiscano qui una diffusione o generino uno sciame duro, in modo tale da attivare i contatori 3, 4, 5. Che un fatto di questo genere possa effettivamente avvenire e con intensità tale da perturbare seriamente i risultati dell'esperienza (da 0,1 a 0,5 per ora) risulta da misure da me eseguite a scopo orientativo. Il secondo dei due numeri di Wasiutynska e Wertenstein potrebbe quindi essere molto maggiore del vero e l'effetto da essi cercato essere completamente mascherato per questa ragione.

Inoltre, la precisione delle misure da essi eseguite è appena inferiore al 6 per cento, mentre è noto da misure in camera di Wilson che la percentuale di protoni presente nella radiazione cosmica è certamente inferiore a questo numero.

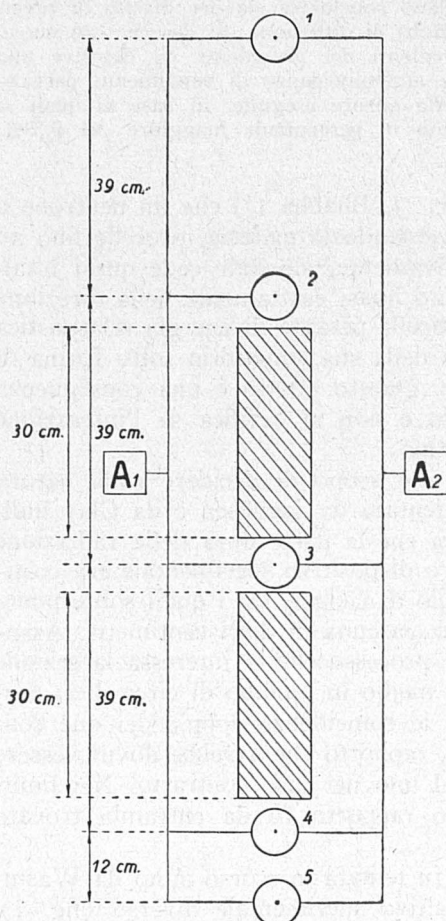


Fig. 1

2. - Per questa ragione, e data l'importanza dell'argomento, ho ritenuto conveniente il tentare di mettere in evidenza l'effetto di scambio con un dispositivo sperimentale che:



a) permettesse di raggiungere una precisione notevolmente maggiore di quella di Wasiutynska e Wertenstein;

b) eliminasse completamente gli inconvenienti della diffusione.

Alla prima di queste esigenze risponde il dispositivo di anticoincidenza che sarà descritto in seguito; alla seconda la sagomazione accurata dei piombi interposti tra i contatori. Inoltre i controlli molteplici, continuati lungo tutto il corso delle misure, hanno sempre garantito il perfetto funzionamento sia dei contatori, sia della registrazione.

Il dispositivo sperimentale da me adottato è rappresentato nell'annessa figura 2. L'esperienza è consistita nella misura contemporanea delle coincidenze quaduple dei contatori 1, 2, 4, 5 e delle stesse coincidenze con l'aggiunta del contatore 3 in anticoincidenza. Questa seconda misura fornisce da sola il numero di particelle che attivano i contatori 1, 2, 4, 5 e non il contatore 3. Ora, questo può avvenire per due ragioni:

a) perchè la particella attraversa il contatore 3 sotto forma di particella non ionizzante e gli altri invece sotto forma di particella ionizzante;

b) perchè il contatore 3 non ha rendimento del 100% e quindi non è attivato da alcune delle particelle che attivano gli altri.

L'esperienza doveva dunque farsi confrontando il rendimento dell'anticoincidenza 3 in due diverse disposizioni sperimentali, in una delle quali non intervenisse l'effetto di scambio. L'effetto stesso doveva manifestarsi come una diminuzione di rendimento.

Ho ottenuto lo scopo facendo misure alternative con e senza i dieci centimetri di piombo in *B*. Il piombo *C* posto tra i contatori 4 e 5 garantisce contro un apparente aumento di rendimento nella seconda misura, dovuto a fotoni traversanti il contatore 3 e generanti sciami nell'aria o nella parete del contatore 4.

Bisognava inoltre assicurarsi che le coincidenze casuali dei contatori 1, 2, 4, 5, fossero in numero trascurabile in confronto al numero delle particelle passanti attraverso l'anticoincidenza. Tale numero è evidentemente dato da:

$$N = 2 N_1 N_2 \tau$$

ove  $N_1$  è il numero delle sistematiche dei contatori 1, 2 che non attraversano l'anticoincidenza 3;  $N_2$  il numero delle sistematiche dei contatori 4, 5 che non attraversano l'anticoincidenza 3, e  $\tau$  è il potere risolutivo della registrazione. Essendo  $\tau = 5 \cdot 10^{-5}$ , il numero delle casuali risulta di circa una ogni 200 ore e quindi del tutto trascurabile. Mi sono comunque assicurato direttamente della cosa, misurando il rendimento dell'anticoincidenza (senza piombo in *B*) sia mediante le triple dei contatori 1, 4, 5, sia mediante le quaduple 1, 2, 4, 5. La coincidenza dei risultati ha provato che sia in triple sia in quaduple il numero delle casuali è trascurabile (in triple, il numero delle casuali, calcolato dal potere risolutivo risultava di circa una al giorno).

3. - I contatori usati nella presente esperienza avevano 3 cm di diametro e 28 cm di lunghezza utile, con filo di tungsteno di 0,1 mm retto da rondelle

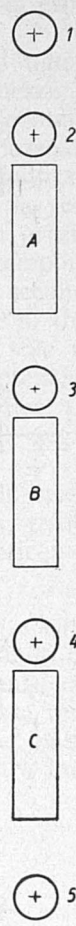


Fig. 2

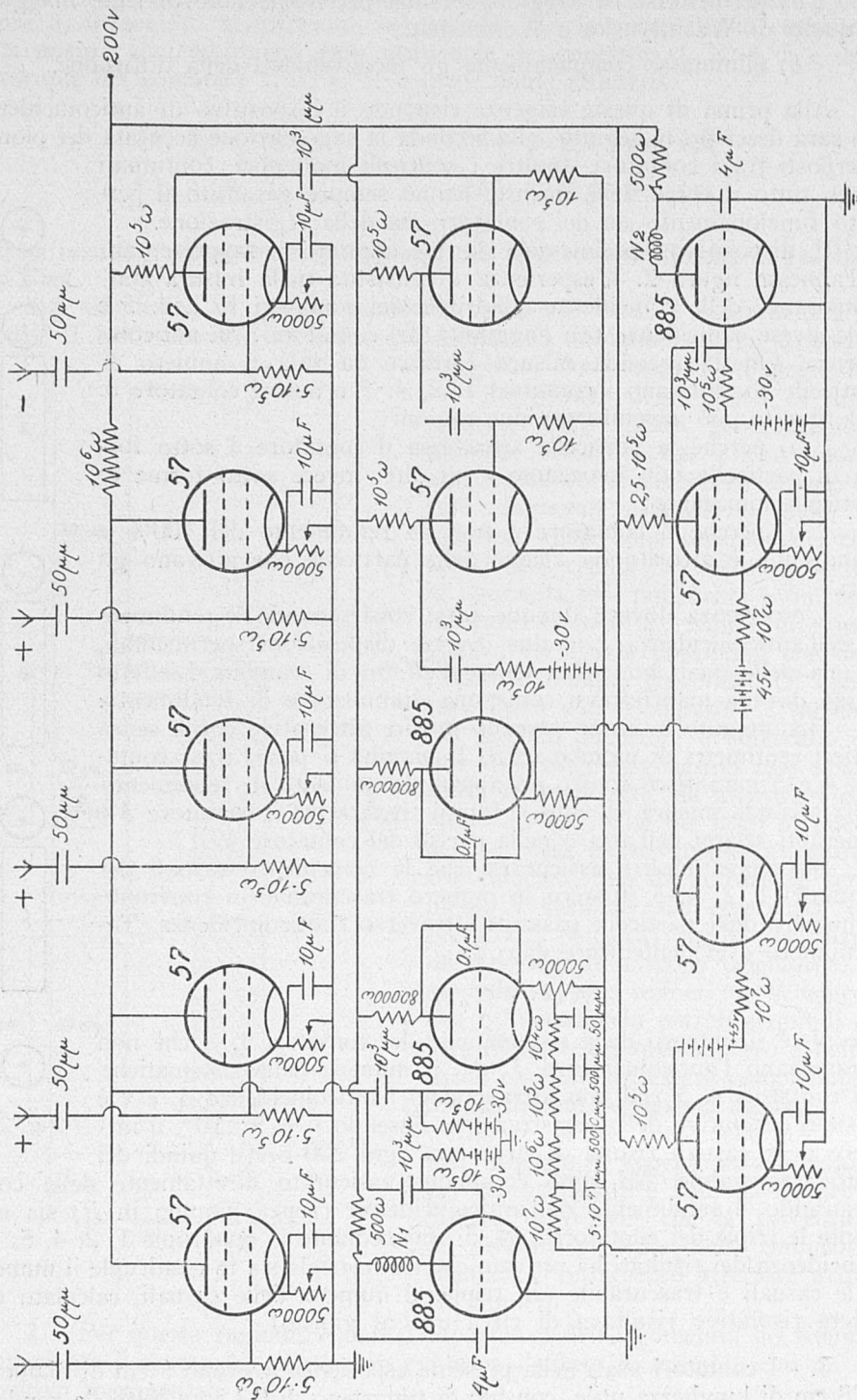


Fig. 3

di mica, erano saldati in vetro e contenevano 2 cm di vapori di acetone. La tensione di funzionamento era di 1700 volt, con un pianerottolo di circa 150 volt. Il loro rendimento era del 98 % circa.

Lo schema dell'amplificatore è dato nella fig. 3. Esso è nelle sue linee essenziali identico a quello costruito da Fermi e Bernardini per i contatori comandanti una camera di Wilson e da essi non ancora pubblicato. Sono state introdotte solo alcune modificazioni nei valori di alcune resistenze e capacità, per migliorarne la messa a punto e renderlo più adatto a questa esperienza.

Come si vede dalla fig. 3, gli impulsi di coincidenza, resi tutti uguali per mezzo di un thyatron (un 885 R.C.A.) vengono ritardati per mezzo di un filtro di capacità e resistenze allo scopo di portarli al centro del contemporaneo impulso di anticoincidenza, allungato opportunamente per mezzo di un secondo thyatron. L'impulso di coincidenza viene quindi amplificato e portato sulla griglia di una 57 in saturazione. Questa valvola ha la resistenza anodica comune ad un'altra 57, normalmente spenta, sulla cui griglia arriva l'impulso di anticoincidenza. Se i due impulsi arrivano contemporaneamente, la corrente nella prima valvola s'interrompe e nella seconda aumenta bruscamente, in modo tale che nessun impulso si trasmette al thyatron che comanda il numeratore meccanico  $N_2$ . Se invece arriva solo un impulso di coincidenza, esso produce una brusca variazione di potenziale sulla griglia del thyatron che viene registrata dal numeratore meccanico. Gli impulsi di anticoincidenza non vengono registrati perchè piccoli e di segno negativo <sup>(3)</sup>.

Il rendimento del ramo di anticoincidenza, provato attaccando lo stesso contatore su di un ramo di coincidenza e su quello di anticoincidenza, risulta praticamente indistinguibile dal 100 %. Sicchè il rendimento dell'anticoincidenza, si riduce ad essere il rendimento del contatore relativo.

4. - Il confronto tra i rendimenti dell'anticoincidenza con piombo e senza piombo in *B* è stato eseguito alternando ogni 24 ore circa e controllando costantemente il funzionamento dei contatori, sia guardandone gli impulsi con un elettrometro a filo, sia misurandone gli effetti di zero, con la stessa registrazione. Gli stessi cinque contatori hanno funzionato praticamente inalterati per tutto il corso dell'esperienza e non sono stati mai permutati tra loro.

Il risultato di 500 ore di conteggi è il seguente:

	Minuti	Quadruple	Quadruple più anticoincidenza	(1 - rendimento)
senza <i>Pb</i> . . . .	14985	7371	156	2,14 ± 0,2 %
con <i>Pb</i> . . . .	15060	6678	138	2,06 ± 0,2 %

In base a questo risultato si può concludere che se l'effetto di scambio esiste, esso non supera il 3 per mille. Inoltre, ammesso che l'interazione tra protone e neutrone sia, come si ritiene, di scambio, si deduce che nella radiazione cosmica dura non esistono protoni di energia relativistica in quantità maggiore dell'1 %.

Sono in corso misure con analogo dispositivo sperimentale tendenti a studiare la diffusione della radiazione dura nel piombo e in altre sostanze.

Roma, 4 giugno 1939-XVII.

<sup>(3)</sup> La tensione per gli schermi delle 57 è ottenuta mediante una unica derivazione dalla tensione di alimentazione.