

PUBBLICAZIONI
DELL'ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA
DEL CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE
diretto dal prof. ANTONINO LO SURDO Accademico d'Italia

N. 70

GILBERTO BERNARDINI
BERNARDO NESTORE CACCIAPUOTI

Sulla componente elettronica della
radiazione cosmica e la teoria dei
processi moltiplicativi

ROMA
ANNO MCMXLI-XIX

ESTRATTO DA "LA RICERCA SCIENTIFICA",

ANNO 12° - N. 10 - OTTOBRE 1941 - XIX pag. 981

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

Riassunto: Con un metodo basato sulla proprietà che hanno gli elettroni di generare degli sciami, si studia la componente elettronica della radiazione cosmica al livello del mare e a 3500 m di altezza. I risultati delle misure sono posti in confronto con la teoria dei processi moltiplicativi.

1. — Con la teoria dei processi moltiplicativi di Bhabha e Heitler ⁽¹⁾, Carlson e Oppenheimer ⁽²⁾ e la conseguente interpretazione delle curve di transizione (fra queste essenzialmente quella di Pfozzer ⁽³⁾ nell'alta atmosfera) il problema della componente elettronica della radiazione cosmica sembrava praticamente esaurito. In questi ultimi tempi però, anche a prescindere dalla recentissima pubblicazione di Schein, Jesse e Wollan ⁽⁴⁾ che minaccia di capovolgere totalmente certe concezioni, delle difficoltà sono sorte intorno all'interpretazione di molti fenomeni strettamente connessi con la componente elettronica e le sue relazioni con la componente mesotronica ⁽⁵⁾.

Gli elettroni presenti nella radiazione cosmica sono, almeno in parte, certamente generati dai mesotroni attraverso i processi di interazione coulombiana e di disintegrazione ed è un problema di notevole interesse, e che si presenta frequentemente nella discussione delle esperienze, il riuscire a distinguere, con una certa precisione, la percentuale di elettroni che si accompagna ai mesotroni, a varie altezze e profondità rispetto al livello del mare.

Il metodo consueto con cui si fa questo, che è poi quello che portò, in un primo tempo, all'identificazione delle due componenti essenziali della radiazione cosmica ⁽⁶⁾, consiste nel ricavare la curva di assorbimento e nell'estrapolare a zero quella parte di essa che corrisponde agli spessori più elevati. Ora, in questa estrapolazione si va spesso incontro a delle incertezze che derivano dal fatto che nelle curve di assorbimento resta assai indeterminato il punto in cui la componente elettronica comincia a sovrapporsi a quella mesotronica.

Contemporaneamente resta indeterminata anche quale sia effettivamente la penetrazione della componente elettronica, penetrazione che importa conoscere, anche dal punto di vista pratico, nella progettazione di tutte quelle esperienze nelle quali si vogliono eliminare le cause di errore dovute agli sciami.

Arley ⁽⁷⁾ ha completato i calcoli della teoria dei processi moltiplicativi, valutando fra l'altro questa penetrazione, ma per quanto ci consta, un atten-

dibile confronto fra i calcoli di Arley e i risultati sperimentali non è stato ancora fatto (*).

Per queste ragioni un'esperienza basata su un criterio un po' diverso da quello seguito allorchè si interpretano le normali curve di assorbimento, è stata istituita con lo scopo di determinare la penetrazione effettiva della componente elettronica e fare un confronto con i calcoli di Arley.

2. — Il principio dell'esperienza è quello di separare la componente elettronica dalla mesotronica sfruttando il fatto che gli elettroni danno luogo, a differenza dei mesotroni, ai processi in cascata.

Il dispositivo sperimentale è schematicamente indicato dalla fig. 1. I contatori 1, 2 e 3, in coincidenza, limitano l'angolo solido entro il quale vengono osservate le particelle cosmiche; il gruppo di contatori indicati dalle lettere *a*) *b*) *c*) *d*) è invece destinato a rivelare, con la massima efficienza possibile, tutti gli sciame (di due o più particelle) che possono emergere dal piombo *S*.

Per raggiungere questo scopo i contatori ora detti sono stati collegati con due distinti sistemi di valvole per coincidenze doppie e precisamente: tutti i contatori segnati dalle lettere *a*) e *b*) con uno di questi sistemi e quelli segnati dalle lettere *c*) e *d*) con l'altro; i contatori segnati da una stessa lettera sono quelli che furono collegati, con accoppiamento resistenza e capacità, a una stessa valvola. Si può allora vedere dalla fig. 1, che effettivamente uno sciame emergente da *S* aveva una elevata probabilità di essere rivelato mentre una particella singola, contenuta nell'angolo dei contatori 1, 2 e 3 poteva attraversare il gruppo *a*) *b*) *c*) *d*) senza dar luogo a una coincidenza doppia.

La registrazione (vedi fig. 2) permetteva di registrare contemporaneamente e indipendentemente le coincidenze triple fra i contatori 1, 2 e 3, le coincidenze doppie fra i contatori *a*) *b*) e *c*) *d*) e infine le coincidenze quintuple dovute al passaggio simultaneo di una particella nei tre contatori 1, 2, 3 e di uno sciame in una qualsiasi delle coppie *a*) *b*) e *c*) *d*) (**).

I contatori del gruppo *a*) *b*) *c*) *d*) erano posti direttamente a contatto con le loro pareti metalliche onde eliminare, nei limiti del possibile, gli spazi nocivi. La loro tenuta era peraltro ottenuta senza ricorrere a mastici e precisamente a mezzo di saldature di rame su vetro. In modo identico erano fatti i contatori 1, 2 e 3; tutti quanti erano riempiti con la miscela di Trost e avevano una lunghezza efficace di 40 cm.

L'esperienza consisteva nel variare alternativamente (in generale ogni ora) lo spessore del piombo assorbitore *A* interposto fra i contatori 2 e 3 in modo da ricavare, insieme a una normale curva di assorbimento in coincidenze triple, anche una curva delle coincidenze quintuple. Queste indicavano in quale misura erano via via eliminate, dall'assorbitore *A*, quelle particelle che si accompagnavano con almeno un altro corpuscolo emergente simultaneamente da *S* ed esterno al cono sotteso dai contatori 1, 2 e 3.

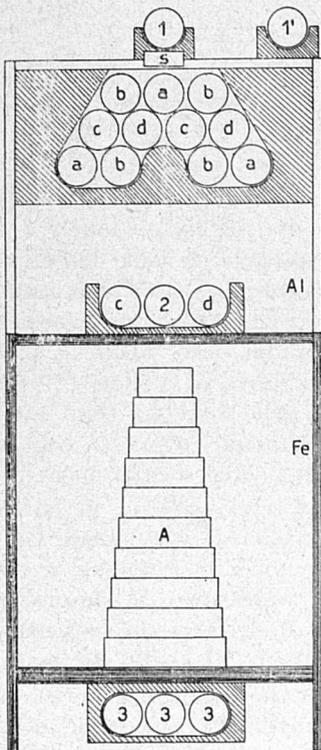


Fig. 1

(*) Un'indicazione dell'attendibilità della teoria di Arley si trova nelle curve di assorbimento, della parte più molle della radiazione cosmica, pubblicate recentemente da O. Piccioni (8) e da S. Patanè (9).

(**) In questo caso per sciame intendiamo un gruppo di due o più particelle qualunque esse siano; per esempio anche un mesotrone e un suo secondario elettronico.

3. — Con l'apparecchio ora descritto sono state eseguite due serie di misure: una a Roma (50 m sul l.m.) l'altra a Pian Rosà (Cervinia) a 3480 m sul l.m. Nei due casi l'apparecchio aveva sopra di sè, alla distanza di circa 2 m, unicamente un leggero tetto di legno di circa 2 cm di spessore.

Per poter fare un confronto fra le due serie, le misure di Roma sono state effettuate in parte prima della serie di Pian Rosà, in parte dopo. Si è potuto così constatare che durante il periodo in cui si è protratta l'esperienza l'apparecchio non ha, nel suo complesso, subito variazioni apprezzabili. Dei contatori uno solo (il contatore 1) fu cambiato durante lo svolgersi dell'esperienza perchè il numero dei suoi impulsi singoli era andato lentamente aumentando.

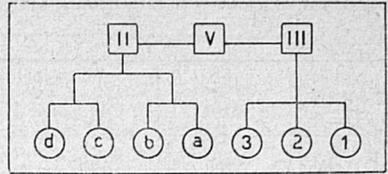


Fig. 2

I risultati della serie eseguita a Roma sono riportati nella tabella I.

TABELLA I.

cm di Pb	tempo in minuti	coincidenze		coincidenze all'ora	
		triple	quintuple	triple	quintuple
0	1336	7207	884	326 ± 3,8	40 ± 1,35
3	1140	5733	490	302 ± 4	25,8 ± 1,15
6	2070	9969	652	289 ± 2,9	18,9 ± 0,74
9	2158	10219	651	280 ± 2,8	18,1 ± 0,71
12	2036	9323	562	275 ± 2,9	16,6 ± 0,7
15	2183	9787	615	269 ± 2,7	16,9 ± 0,68
21	1916	8311	542	260 ± 2,9	16,9 ± 0,73
30	1913	7716	524	242 ± 2,8	16,4 ± 0,72

Quelli della serie eseguita a Pian Rosà nella tabella II.

TABELLA II.

cm di Pb	tempo in minuti	coincidenze		coincidenze all'ora	
		triple	quintuple	triple	quintuple
0	1300	19471	4697	897 ± 6,5	216,7 ± 3,2
3	1446	17799	2998	738 ± 5,5	124,5 ± 2,3
6	2277	25463	3276	672 ± 4,2	86,2 ± 1,5
9	2813	29093	3354	622 ± 3,6	71,6 ± 1,2
12	2881	28898	3261	602 ± 3,5	67,9 ± 1,2
15	1471	14231	1564	581 ± 4,9	63,8 ± 1,6
21	2304	20714	2372	541 ± 3,7	61,7 ± 1,3
30	1214	9897	1207	488 ± 4,9	59,7 ± 1,7

Il nostro apparecchio era però particolarmente sensibile agli sciami provenienti dall'aria. Per avere un'indicazione dell'entità di questi sono state eseguite delle misure, sia a Roma come a Pian Rosà, spostando dalla posizione 1 a quella 1' il contatore superiore così come è indicato nella fig. 1. In tal modo questo contatore restava esterno al cono sotteso da quelli 2 e 3 così che una coincidenza tripla doveva essere provocata da almeno due particelle. Una coincidenza quintupla era poi dovuta ad almeno due particelle accompagnate da uno sciame capace di dare una coincidenza doppia in una delle coppie a) b) o c) d). Di questo sciame potevano far parte naturalmente le particelle ionizzanti che davano luogo ad una tripla; una sola coppia di particelle non era però sufficiente in nessun modo a provocare una coincidenza quintupla.

E' però da aggiungere che, data la disposizione del piombo A rispetto ai contatori 3, in molti casi, ma non sempre, una coincidenza tripla o quintupla era dovuta

a delle particelle di cui una almeno attraversava tutto lo spessore del piombo *A* stesso.

I risultati di queste misure di sciami sono riassunti nelle seguenti tabelle di cui la prima si riferisce a Roma (III), la seconda a Pian Rosà (IV).

TABELLA III.

cm di Pb	tempo in minuti	concidenze		coincidenze all'ora	
		triple	quintuple	triple	quintuple
0	781	269	135	20,61 ± 1,25	10,37 ± 0,89
3	1322	325	141	14,75 ± 0,82	6,4 ± 0,54
6	1650	335	101	12,2 ± 0,67	3,68 ± 0,37
9	1955	329	110	9,9 ± 0,55	3,37 ± 0,32
12	2148	358	100	10 ± 0,53	2,8 ± 0,28
15	2092	339	106	9,73 ± 0,53	3,04 ± 0,29
21	2511	398	110	9,5 ± 0,49	2,63 ± 0,25
30	2384	406	121	10,2 ± 0,51	3,04 ± 0,28

TABELLA IV.

cm di Pb	tempo in minuti	concidenze		coincidenze all'ora	
		triple	quintuple	triple	quintuple
0	680	1938	1049	171 ± 3,9	92,5 ± 2,9
3	1500	2392	1464	95,7 ± 2	58,6 ± 1,5
6	1308	1594	977	73,2 ± 1,9	45,8 ± 1,4
9	1564	1612	1006	61,8 ± 1,5	38,6 ± 1,5
12	1775	1618	1050	54,7 ± 1,3	35,5 ± 1,1
15	1665	1570	953	56,6 ± 1,5	34,4 ± 1,1
21	1844	1708	1036	55,6 ± 1,3	33,7 ± 1
30	1976	1847	1100	56,1 ± 1,2	33,4 ± 1

Nella fig. 3 sono riportate le coincidenze quintuple osservate a Roma. La curva I è quella delle quintuple date dalla tabella I, la curva III quella degli sciami (in quintuple) dati dalla tabella III. Nella stessa figura, a tratto pieno, è data, con i suoi errori, la curva differenza delle due.

Analogamente nella fig. 4 sono riportate le coincidenze quintuple osservate a Pian Rosà. In questa la curva II si riferisce ai dati della tabella II e la curva IV ai dati della tabella IV; la curva a tratto pieno è la differenza delle due.

4. — Interessa in primo luogo un esame delle curve a tratto pieno delle figure 3 e 4 e un loro confronto. Per maggior chiarezza diamo qui sotto le coincidenze triple e quintuple corrette degli sciami che esse rappresentano.

TABELLA V.

cm di Pb	concid./ora a Roma		concid./ora a Pian Rosà	
	triple	quintuple	triple	quintuple
0	305,4 ± 4	29,6 ± 1,6	726 ± 7,5	124,2 ± 4,5
3	287,2 ± 4,1	19,4 ± 1,25	642 ± 5,8	65,9 ± 2,8
6	276,8 ± 3	15,2 ± 0,8	599 ± 4,6	40,4 ± 2,2
9	270,1 ± 2,8	14,7 ± 0,77	560 ± 3,9	33 ± 1,7
12	265 ± 2,9	13,8 ± 0,77	547 ± 3,7	32,4 ± 1,6
15	259,3 ± 2,8	13,86 ± 0,74	524 ± 5,1	29,4 ± 1,9
21	251 ± 2,9	14,2 ± 0,77	485 ± 4	28 ± 1,6
30	232 ± 2,8	13,4 ± 0,6	432 ± 5	26,3 ± 1,9

Queste curve, per quanto è stato detto sopra, sono, con una certa attendibilità, le curve di assorbimento delle particelle singole capaci di generare nel piombo S (spessore 1,5 cm) o nelle pareti dei contatori $a) b) c) d)$ (spes-

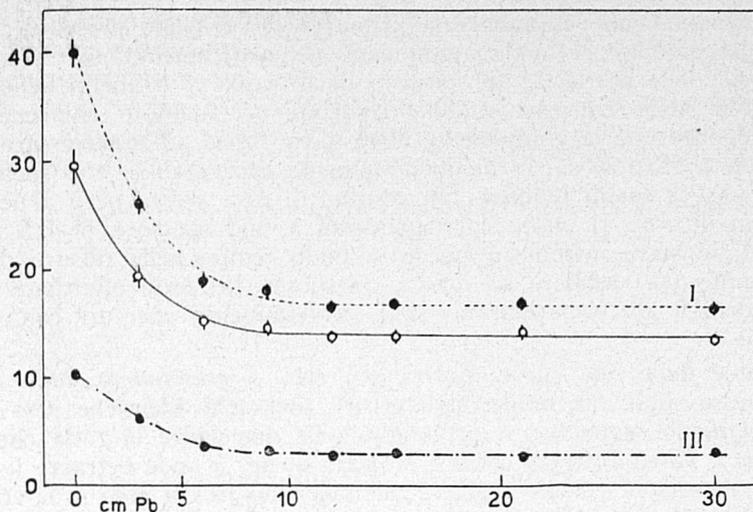


Fig. 3

sore globale equivalente circa 1,5 mm di Pb) uno sciame di almeno due particelle ionizzanti. Delle due particelle una deve essere capace di attraversare, direttamente o a mezzo dei suoi secondari, il piombo A .

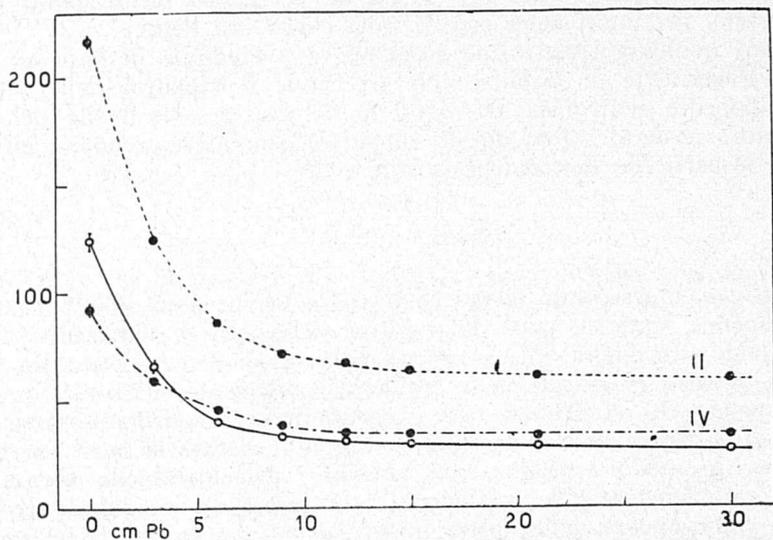


Fig. 4

Nelle curve si distingue nettamente una prima parte, compresa fra 0 e 9 cm di piombo, e ovviamente dovuta ad elettroni, e un « fondo » costituito da coincidenze casuali (non più di 1 l'ora, come è stato controllato

anche da esperienze dirette) e da quei mesotroni che generano nel piombo S (o nelle pareti dei contatori a) b) c) d)) almeno un secondario elettronico capace di attraversare uno dei contatori a) b) c) d) fuori dell'angolo solido sotteso dai contatori 1, 2 e 3.

Cominciamo con l'esaminare la prima parte: tenendo presente che allo spessore del piombo A è da aggiungere sistematicamente, nel valutare la penetrazione delle particelle, lo spessore del piombo S e quello delle pareti dei contatori, dalle curve sopradette, riportate per maggior chiarezza nella fig. 5 si deduce che la componente elettronica riesce ad attraversare, sia a Roma come a Pian Rosà, in modo nettamente apprezzabile, uno spessore di $6 + 1,5 = 7,5$ cm di piombo. Un residuo di essa arriva però a penetrare circa 9 cm di Pb . Il punto corrispondente a uno spessore di 7,5 cm del piombo A , è stato introdotto in un secondo tempo nelle misure di Pian Rosà appunto per decidere su questa questione. Le serie effettuate con lo spessore di 7,5 cm si rivelarono però perfettamente coerenti con le precedenti.

L'esame delle due curve mostra poi che, *a prescindere dalla diversa intensità*, esse sono, nei limiti degli errori, pressochè identiche. Ciò si può vedere nel modo seguente: si prolunghi nelle due curve la retta che passa per i punti a 15 ed a 30 cm come è indicato in fig. 5 onde detrarre il *fondo*, dovuto ai mesotroni ed alle casuali, nell'intervallo in cui esso si sovrappone alla componente elettronica. Data la debole entità di detto fondo, l'estrapolazione implica questa volta un errore molto minore di quello che si commetterebbe estrapolando in modo analogo in una normale curva di assorbimento. Si moltiplichino poi le intensità della componente elettronica osservate a Roma per il fattore 6,2 e si confrontino i valori così ottenuti con la curva della componente elettronica a Pian Rosà. Si ottiene allora la serie di punti contrassegnati, nella fig. 5, da un cerchietto pieno, punti che si distribuiscono, nei limiti degli errori, sulla curva ora detta.

Questo risultato è conforme a quanto è prevedibile in base ai calcoli di Arley e permette di stabilire con precisione il rapporto delle intensità della componente elettronica fra 3500 m di altezza e il livello del mare. Per quanto si è detto sopra, questo rapporto, quando si prendano in considerazione le particelle elettroniche isolate, è

$$E_{3500}/E_0 \approx 6$$

Effettivamente secondo la teoria di Arley la curva di assorbimento nel piombo dipende piuttosto poco dalla forma dello spettro elettronico; d'altra parte secondo Nordheim ⁽¹⁰⁾ la parte della componente elettronica che è dovuta ai processi in cascata della cosiddetta componente elettronica primaria ha uno spettro che si propaga più o meno inalterato nell'atmosfera e gli elettroni di disintegrazione, che interessano in generale le basse energie si comportano in modo analogo. Una sensibile variazione nella forma della curva di assorbimento delle coincidenze quintuple non era quindi da aspettarsi così come appare dalle nostre misure.

La riduzione d'intensità fra Pian Rosà e il livello del mare dovrebbe essere, ove intervenissero i soli processi in cascata, da 9,5 a 1 ⁽¹¹⁾. La riduzione osservata è in realtà minore in ragione della presenza degli elettroni di disintegrazione. Su questo punto ritorneremo nel seguito.

Un raffronto più stretto fra la curva calcolata da Arley per l'assorbimento della componente elettronica nel piombo e una delle nostre curve di coincidenze quintuple, corrette dagli sciami, è dato nella fig. 5, dove i punti contrassegnati da un quadratino sono dedotti appunto dalla curva di Arley quando si assuma per il coefficiente α che caratterizza lo spettro il valore 10. Si può allora osservare che l'intensità della componente elettronica non decade, per assorbimento nel piombo, così rapidamente come la teoria prevederebbe. Forse ciò può ascriversi al fatto che gli elettroni di maggior energia hanno una maggiore probabilità di generare nel piombo S uno sciame rivelabile attraverso il complesso dei contatori $a) b) c) d)$, ma questo non sembra

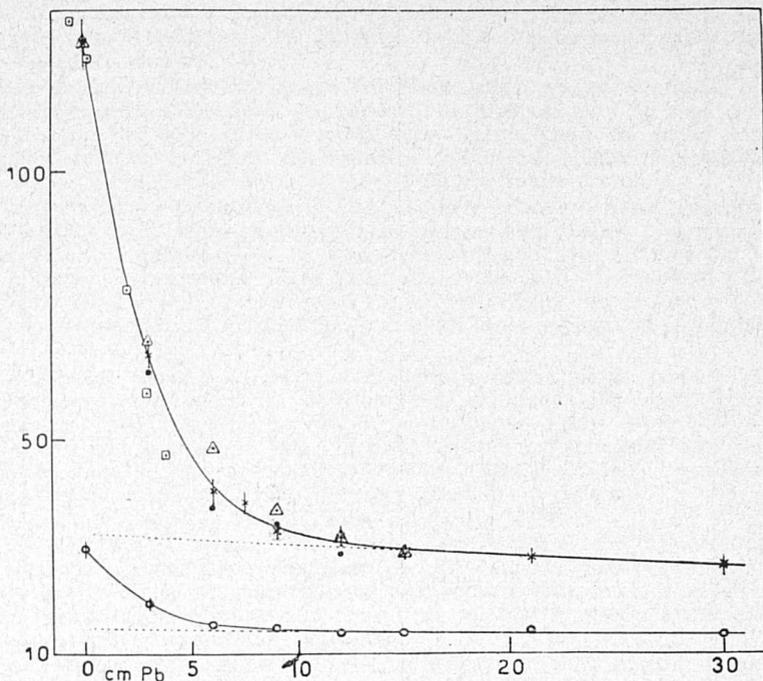


Fig. 5

il caso perchè si può vedere che anche la curva di assorbimento in coincidenze triple manifesta, quando si consideri quella parte che interessa la componente elettronica, la stessa divergenza.

A nostro avviso la cosa si spiega invece attribuendo ad α un valore minore di 10, ossia una maggiore energia media allo spettro elettronico. Una indicazione in questo senso si ha nell'andamento della curva degli sciami a Pian Rosà (fig. 4). Questa, detratto al solito modo il « fondo » e riportata in scala conveniente sulla fig. 5 (curva di Pian Rosà) ha l'andamento individuato dai punti contrassegnati da un triangolino. Sembra allora che la curva degli sciami abbia, per gli spessori di 6 a 9 cm di piombo, un andamento più sostenuto delle curve delle particelle singole. E' però da notare che anche per gli sciami, la penetrazione massima non sembra superare i $9 + 1,5 = 10,5$ cm di piombo.

Vogliamo anche rilevare che la proporzionalità esistente fra le curve

delle quintuple corrette dagli sciami e diminuite del fondo sussiste anche, nei limiti degli errori, per le curve delle quintuple non corrette dagli sciami, ma pur sempre diminuite del fondo. Il fattore di proporzionalità risulta essere in questo caso un po' maggiore di 6 (circa 6,4) in quanto in realtà l'intensità degli sciami aumenta, fra Roma e Pian Rosà, per un fattore che è un po' maggiore di 6 (circa 8).

5. — Per proseguire nella nostra discussione è utile adesso rivolgere la nostra attenzione anche alle coincidenze triple. Esse forniscono, con notevole precisione, fra 1,5 e 31,5 cm di piombo, delle curve di assorbimento della radiazione cosmica. Dette

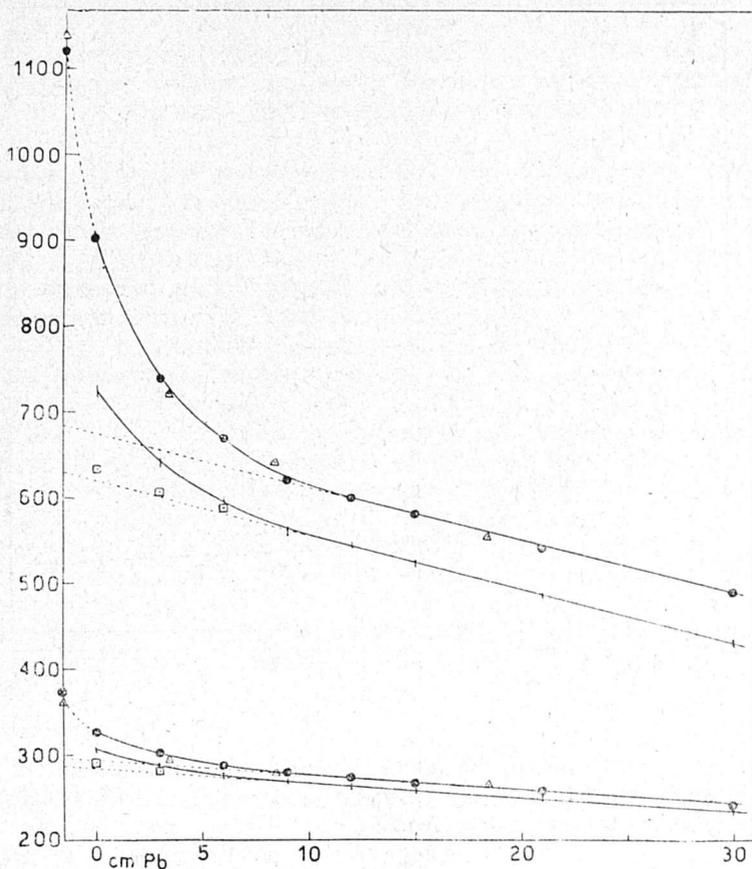


Fig. 6

curve sono riportate nella fig. 6; quelle in cui sono segnati gli errori sono corrette per gli sciami, conforme ai dati della tabella V. Esse sono anche completate con i punti osservati togliendo il piombo S e il mazzo dei contatori $a) b) c) d)$ e corrispondenti quindi a uno schermo di spessore uguale a quello dovuto alle sole pareti dei tre contatori 1, 2 e 3 ($Pb = 0$).

Intanto da queste curve si ricava ancora, effettuando la solita estrapolazione, il valore del rapporto delle intensità della componente elettronica fra Pian Rosà e Roma. Questo rapporto, se si considerano le coincidenze triple corrette dagli sciami, risulta essere ancora circa 6 (5,8). Diviene un poco maggiore (circa 7) se si considerano invece le coincidenze triple senza detrarvi gli sciami in conseguenza del fatto che il

numero degli sciami in coincidenze triple (due o più particelle provenienti dall'atmosfera) varia per un fattore che è circa 11 fra Pian Rosà e Roma. Come per le quintuple, le triple che si possono attribuire a particelle elettroniche, hanno, per i vari spessori, delle intensità pressoché proporzionali confermando così che la curva di assorbimento della componente elettronica non varia sensibilmente fra 3500 m e il livello del mare.

Che questa concordanza di risultati fra triple e quintuple debba verificarsi è cosa per altro naturale ed è dovuta essenzialmente all'alta efficienza del dispositivo di contatori *a) b) c) d)*. Effettivamente detraendo, fra 0 e 9 cm di spessore del piombo *A*, dalle coincidenze triple (corrette degli sciami) le coincidenze quintuple (sempre corrette degli sciami) dovute agli elettroni e date dalla tabella V, si ottengono i punti segnati in figura da quadratini; punti che si distribuiscono in notevole prossimità della retta con cui si estrapola la componente dura. Si constata così che i contatori *a) b) c) d)* segnalavano in coincidenze quintuple la massima parte degli elettroni che attraversavano il telescopio dei contatori 1, 2 e 3 e *in modo praticamente indipendente dalla loro energia*.

Quanto precede mostra che quella correzione degli sciami da taluni considerata come essenziale nella valutazione dei rapporti di intensità non ha quel peso che si potrebbe credere. Sia dalle curve corrette degli sciami, come da quelle non corrette noi otteniamo sempre un valore del rapporto dell'intensità della componente elettronica, fra 3500 m e il livello del mare, che si aggira intorno a 6.

Un valore analogo fu dedotto da Cacciapuoti ⁽¹²⁾ in esperienze eseguite appunto fra Roma e Pian Rosà, senza effettuare la correzione degli sciami. Noi vediamo adesso come egli, dato il carattere delle sue considerazioni, non avesse commesso un errore sensibile e come le conclusioni allora raggiunte (vedi anche Bernardini, Cacciapuoti, Ferretti, Piccioni, e Wick) ⁽¹³⁾ fossero ragionevoli. Nella fig. 6 sono riportati, con dei punti contrassegnati da triangolini, i risultati delle misure di Cacciapuoti.

6. — Le triple forniscono anche, con notevole precisione, il rapporto d'intensità della componente mesotronica fra 3500 e 50 m sul livello del mare. Naturalmente questo rapporto varia leggermente quando si assumono valori diversi degli spessori del piombo *A*. Per esempio i valori delle intensità corrispondenti allo schermo di 12 cm di *Pb* danno per questo rapporto il valore $M_{3500}/M_{50} = 2,06$, quelle corrispondenti allo schermo di 30 cm danno il valore $M_{3500}/M_{50} = 1,86$.

Vogliamo qui osservare che dai dati di Rossi, Hilberry e Hoag ⁽¹⁴⁾ per uno spessore di 12,7 cm si ricava, interpolando, un rapporto che è perfettamente in accordo con quello dato precedentemente per 12 cm. Da questi dati infatti si ha $M_{3500}/M_{50} = 2,03$. Ciò serve a dimostrare una volta di più come le esperienze sulla radiazione cosmica siano influenzate meno di quanto si crede generalmente dai particolari dispositivi sperimentali impiegati.

L'esperienza da noi eseguita dà anche un'indicazione sulla misura in cui la componente mesotronica genera dei secondari elettronici. E' infatti ragionevole attribuire essenzialmente a questi secondari il « fondo » delle due curve della fig. 5, se non altro perchè il rapporto di detto fondo fra Pian Rosà e Roma è circa 2, proprio come il valore attorno a cui oscilla il rapporto M_{3500}/M_{50} di cui sopra.

Ovviamente questi elettroni secondari sono prodotti essenzialmente per urto coulombiano essendo escluso che essi siano dovuti in modo apprezzabile al processo di disintegrazione proprio ai mesotroni. Poiché è noto ⁽¹⁵⁾ che la penetrazione di detti secondari non supera in modo apprezzabile il cm di piombo, si può ritenere nelle nostre condizioni sperimentali che essi raggiungano nel piombo *S* la condizione di equilibrio rispetto ai mesotroni che li producono. Se mai così facendo si commetterà un errore per difetto in quanto questi secondari, nelle condizioni di equilibrio, saranno in numero un po' maggiore.

Si può allora confrontare il numero dei secondari da noi trovati con quanto prevedono le valutazioni teoriche. Il confronto può esser fatto nel modo seguente: secondo le nostre misure i secondari generati per interazione coulombiana e rivelabili nelle nostre condizioni sperimentali sono circa il 6% dell'intensità della componente mesotronica. Se si osserva che per la rivelazione di questi secondari elettronici il nostro apparecchio doveva avere un'efficienza pregiudicata solo, praticamente (oltre che dallo spessore delle pareti dei contatori) dall'angolo morto esistente fra i due contatori centrali *c) d)* della seconda linea del gruppo *a) b) c) d)*, si riconosce che questa percentuale può essere aumentata al $7 \div 8\%$.

Questo valore è in discreto accordo con quanto si può prevedere in base ai calcoli di Williams, quando si tenga conto che le pareti dei contatori devono effettuare un taglio sulle energie intorno ai 10^7 e.V.. E' poi in ottimo accordo, sempre secondo quanto si può dedurre dai calcoli di Williams con la percentuale ($\approx 5\%$) dei secondari elettronici generati per urto in aria o in mezzi di numero atomico basso ⁽¹⁷⁾.

A dire il vero secondo Williams, volendo ammettere per il taglio sulle energie un valore ragionevole, le percentuali da noi trovate sono un po' basse ma è da rilevare che i valori calcolati da Williams costituiscono sicuramente un limite superiore e che non è ben chiaro di quanto questo limite ecceda il valore effettivo. Per esempio in base ai calcoli di Bhabha ⁽¹⁸⁾ l'accordo fra i nostri valori sperimentali e quelli teorici, quando si assuma come energia media dei mesotroni $3 \cdot 10^9$ e.V. sarebbe molto migliore per non dire addirittura buono; sembra però che i calcoli di Bhabha siano invece errati per difetto.

Stühlinger ⁽¹⁹⁾ ha recentemente pubblicato un'esperienza (effettuata al livello del mare) che è abbastanza analoga alla nostra, appunto per valutare i secondari elettronici che si accompagnano con un mesotrone. Anch'egli trova un valore sensibilmente inferiore a quello prevedibile teoricamente, ma osservazioni effettuate con camera di Wilson gli hanno permesso di riconoscere l'esistenza di un gran numero di secondari di bassa energia che il dispositivo in coincidenze era incapace di rivelare. Noi riteniamo pertanto che in base ai calcoli di Williams si possono correttamente valutare i rapporti delle intensità elettroniche secondarie in mezzi diversi (queste intensità dipendono per altro molto poco dal numero atomico) ma non altrettanto bene i valori delle percentuali di cui sopra, e che questo debba ascriversi al fatto che lo spettro elettronico corrispondente ha, solo molto grossolanamente, la forma $f(E) dE = E^{-1,9} dE$ generalmente assunta. Inoltre Williams ammette sicuramente un valore eccessivo all'energia massima che un mesotrone può cedere, per certo, a un elettrone.

7. — Quanto precede permette di dare con una certa precisione il valore del rapporto $E_{3500}/E_0 = 6$ e quello del rapporto $M_{3500}/M_0 = 2$; inoltre consente di affermare la proporzionalità praticamente rigorosa fra componente mesotronica e secondari elettronici prodotti per urto, dando anche una misura del numero di questi ultimi. Sulla base di questi dati è possibile stabilire una valutazione del residuo della componente elettronica, fino a ora considerata come primaria, presente al livello del mare.

Indichiamo con R_0 questo residuo e con R l'intensità della componente elettronica primaria a 3500 m. Corrispondentemente siano I_0 e I i valori dell'intensità dei secondari prodotti per urto e D_0 e D quelli dell'intensità dei secondari prodotti per disintegrazione. Si ha allora

$$(R + D + I) / (R_0 + D_0 + I_0) = 6$$

$$I / I_0 = 2$$

D'altra parte in base alla teoria dei processi in cascata, si può ritenere ⁽¹¹⁾ che (*)

$$R / R_0 \approx 9$$

e assumendo una vita media di $2 \div 3$ microsecondi, che ⁽¹⁸⁾

$$D_0 / D \approx 2,5$$

ne segue

$$3 R_0 \approx 4 I_0 + 3,5 D_0$$

da cui la relazione

$$R_0 \approx I_0 + D_0$$

(*) Un'indicazione sperimentale sul valore di questo rapporto si deduce anche dai rapporti delle intensità degli sciami (in triple o in quintuple) da noi osservati.

relazione che è in accordo con quanto è già stato dedotto per altra via ⁽¹⁵⁾, ⁽¹⁶⁾, ma che è in contrasto, come è stato più volte rilevato ⁽¹³⁾ con un valore della vita media del mesotrone inferiore a 3 microsecondi.

Si può allora concludere, a prescindere da quella che può essere l'origine del residuo R_0 , che la componente elettronica si comporta, fra i 3500 m e il livello del mare, come se essa fosse dovuta in parte ai processi di interazione e di disintegrazione del mesotrone, in parte a una radiazione elettronica proveniente da altezze superiori e non in equilibrio con quella mesotronica.

8. — Infine vogliamo cercare di porre in relazione i risultati delle nostre misure con quelli, piuttosto sorprendenti, pubblicati recentemente da Schein, Jesse e Wollan ⁽⁴⁾.

Come abbiamo già detto ⁽¹⁰⁾ al di sotto del massimo della curva di Pfozter lo spettro elettronico (a prescindere dal fattore intensità), non dovrebbe variare in modo apprezzabile. Inoltre secondo i calcoli di Arley, la curva di assorbimento dipende assai poco dall'energia media di questo spettro. Si può allora pensare di estendere, anche ad altezze superiori a quella a cui noi abbiamo sperimentato, una parte dei risultati precedentemente esposti. Si può cioè ritenere che anche ad altezze superiori ai 3500 m, almeno prima di raggiungere il massimo della curva di Pfozter, una eventuale curva di assorbimento della componente elettronica non avrebbe, *a prescindere dal fattore intensità*, un andamento molto diverso da quello indicato dalle curve della figura 5.

Ebbene Schein, Jesse e Wollan, in base alle loro misure fatte con palloni stratosferici, ritengono che questo non sia il caso e che 4 cm di piombo siano sufficienti ad eliminare pressochè totalmente la componente elettronica.

Quanto noi sappiamo delle esperienze di Schein, Jesse e Wollan è ancora, in ragione delle difficoltà, esistenti nelle comunicazioni internazionali, molto incompleto. Da quello che ci è stato possibile comprendere sembra che l'affermazione di cui sopra possa considerarsi valida soltanto per la radiazione elettronica che si può osservare quasi al limite dell'atmosfera, *oltre il massimo di Pfozter*. Fra il massimo e il livello del mare sembrano infatti mancare le misure corrispondenti a schermi di 4 e di 6 cm di piombo, lo schermo minimo usato essendo di 8 cm. Ora noi abbiamo visto che 8 cm di piombo sono realmente sufficienti ad eliminare la massima parte della componente elettronica; quindi, ferma restando l'asserzione di Schein e coll. per l'altissima atmosfera, è per noi meno probabile ch'essa possa esser valida fra il massimo di Pfozter (circa 1 m di acqua equiv.) e i 3÷4000 m.

Del resto, allo stato attuale delle nostre conoscenze, delle grandi difficoltà si incontrano comunque quando si voglia conciliare la curva di Pfozter con quanto hanno osservato Schein e coll. Questa curva ha infatti (vedi citazione 11) l'andamento tipico dei processi moltiplicativi, tanto che è stata considerata fino a ora come la prova più evidente e brillante della teoria di Bhabha e Heitler, Carlson e Oppenheimer ed è da pensare che effettivamente essa sia essenzialmente dovuta a degli elettroni. Quali sono gli elettroni che danno luogo a questi processi? Quelli prodotti per interazione coulombiana dai mesotroni certamente no, data la loro debole entità e la loro relativamente molto bassa energia; restano quindi, volendo mantenere le nostre considerazioni nei limiti dei fenomeni per ora conosciuti, quelli di disintegrazione. Ma questi, assumendo per il mesotrone una vita media di 2÷3 microsecondi, non sembra che possano dar luogo a elettroni in tale entità

e di tale energia da spiegare l'andamento della curva di Pfozter. E' in questo senso molto istruttiva l'analisi fatta da Euler e Heisenberg ⁽²⁰⁾ nel ben noto lavoro « Theoretische Gesichtspunkte zur Deutung der kosmischen Strahlung »).

La questione della vita media del mesotrone è tuttora molto oscura. I vari esperimenti fatti per determinarla fluttuano intorno al microsecondo molto più di quello che non consentano gli errori sperimentali e ulteriori e più raffinate esperienze saranno necessarie per decidere in merito ⁽²¹⁾.

Anche la teoria dei processi moltiplicativi e in particolare i calcoli di Arley, che consentono un'analisi così precisa di questi fenomeni, richiedono un ulteriore ed accurato esame sperimentale e per questo nuove esperienze sono ora in corso.

9. — Le esperienze pubblicate in questa nota fanno parte del complesso di ricerche compiute dalla Spedizione per lo studio dei raggi cosmici in alta montagna (Cervinia, inverno 1940-41) organizzata dall'Istituto nazionale di geofisica coi mezzi forniti parte dal Comitato per la geofisica e la meteorologia e parte dal fondo di fisica nucleare del Consiglio nazionale delle ricerche.

E' per noi un grato dovere ringraziare la Soc. an. Cervinia per tutte le agevolazioni che ci ha concesso durante lo svolgimento delle esperienze.

BIBLIOGRAFIA

- (1) BHABHA H. J. e HEITLER W., « Proc. Roy. Soc. », v. CLIX, 1937, p. 432.
- (2) CARLSON J. F. and OPPENHEIMER J. K., « Phys. Rev. », v. LII, 1937, p. 220.
- (3) PFOZTER G., « Zeit. f. Phys. », v. CII, 1936, p. 23.
- (4) SCHEIN M., JESSE W. P. and WOLLAN E. O., « Phys. Rev. », v. LIX, 1941, p. 615.
- (5) NORDHEIM L. W., « Phys. Rev. », v. LIX, 1941, p. 554; BERNARDINI G., CACCIAPUOTI B. N., FERRETTI B., PICCIONI O. e WICK G. C., « Ric. scient. », 1939, n. 11, p. 1010 e « Phys. Rev. », v. LVIII, 1940, p. 1017.
- (6) ROSSI B., « La radiation cosmique », Hermann, Paris, 1935; AUGER, EHRENFEST et LEPRINCE RINGUET, « J. de phys. et rad. », v. VII, 1936, p. 58.
- (7) ARLEY N., « Proc. Roy. Soc. », v. CLXVIII, 1938, p. 519.
- (8) PICCIONI O., « Ric. scient. », 1940, n. 5, p. 298.
- (9) PATANÈ S., « Ric. scient. », 1941, n. 4, p. 426.
- (10) NORDHEIM L. W., « Phys. Rev. », v. LI, 1937, p. 1110.
- (11) NORDHEIM L. W., « Phys. Rev. », v. LIII, 1938, p. 694; HEITLER W., « Proc. Roy. Soc. », v. CLXI, 1937, p. 261.
- (12) CACCIAPUOTI B. N., « Ric. scient. », 1939, n. 12, p. 1082.
- (13) BERNARDINI G., CACCIAPUOTI B. N., FERRETTI B., PICCIONI O. e WICK G. C., loc. cit.
- (14) ROSSI B., HILBERRY N. and HOAG J. B., « Phys. Rev. », v. LVII, 1940, p. 461.
- (15) SCHWEGLER A., « Zeit. f. Phys. », v. XCVI, 1935, p. 62.
- (16) WILLIAMS E. J., « Proc. Cambridge Phil. Soc. », v. XXXVI, 1940, p. 183.
- (17) AUGER P., « Zuricher Vortrag », Springer, 1936, Berlin; BERNARDINI G., CACCIAPUOTI B. N., FERRETTI B., PICCIONI O. e WICK G. C., « Atti della Reale Accademia d'Italia », Memorie della Classe di Scienze Fis., Mat. e Nat., v. XI, 1940, p. 471.
- (18) BHABHA H. J., « Proc. Roy. Soc. », v. CLXIV, 1938, p. 257.
- (19) STÜHLINGER E., « Zeit. f. Phys. », v. CXVI, 1940, p. 281.
- (20) EULER H. und HEISENBERG W., « Ergeb. der Ex. Naturwiss. », v. XVII, 1938, p. 1.
- (21) BERNARDINI G., CACCIAPUOTI B. N., PANCINI E., PICCIONI O. e WICK G. C., in corso di pubblicazione.