

# Osservazione delle interazioni dei Raggi Cosmici con la Materia

## I Raggi Cosmici

- Nel 1911 studiando le perdite di carica che si verificavano negli elettrometri, Hess scoprì che la Terra è continuamente investita da un flusso di Radiazione capace di ionizzare l'aria, in grado di attraversare spessori di materia condensata, molto più energetica della Radiazione Luminosa. A causa della sua origine sconosciuta e provenienza extraterrestre venne detta Radiazione Cosmica
- Oggi sappiamo che tale radiazione quando giunge dallo spazio esterno ai limiti dell'Atmosfera Terrestre è composta da particelle cariche, delle quali l'86% circa (in numero) sono protoni, il 12% circa particelle alpha (cioè nuclei di Elio), l'1% circa elettroni e positroni e il resto nuclei leggeri (Litio, Berillio, Boro), Medi, Pesanti e molto pesanti. In traccia. Queste particelle hanno energie che vanno dal MeV ( $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-13} \text{ Joule}$ ) fino a  $10^{20} \text{ Joule}$ . Al flusso di particelle cariche si affianca un flusso di Raggi Gamma con energie dello stesso tipo.
- Il moto di queste particelle quando entrano nel sistema solare e si avvicinano alla Terra è influenzato dal campo magnetico terrestre pertanto il flusso che giunge ai limiti dell'atmosfera terrestre dipende dalla latitudine del luogo e dalla direzione di arrivo. Alle latitudini intermedie come quella di Milano ai limiti dell'atmosfera terrestre giungono circa  $600 \text{ particelle /m}^2 \text{ sec sr}$  con energia superiore a 4.5 GeV. ( $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$ ). Questa Radiazione è detta Radiazione Cosmica Primaria
- Quando penetrano nell'atmosfera terrestre le particelle dei Raggi Cosmici Primari interagiscono con le molecole dell'aria modificando la loro energia e anche la loro composizione: in particolare per effetto delle interazioni nucleari e del decadimento dei prodotti di tali interazioni compaiono particelle come i neutroni, i mesoni  $\pi$  e i muoni o particelle  $\mu$ , oltre ad un gran numero di elettroni, positroni e fotoni gamma. Questa radiazione osservabile a terra è detta Radiazione Cosmica Secondaria
- Per circa cinquant'anni la Radiazione Cosmica Secondaria è stata la principale sorgente di particelle (allora) sconosciute utilizzata dalla nascente Fisica delle Particelle Elementari: è tra queste particelle che furono scoperti (osservati per la prima volta) i positroni, i muoni, i mesoni  $\pi$  e poi altri tipi di particelle elementari. Oggi la Fisica delle Particelle Elementari ha imparato a produrre le particelle utilizzando acceleratori come quello del CERN, ma i Raggi Cosmici Secondari continuano ad essere utili per studiare le interazioni Radiazione – Materia, mentre quelli primari sono ancora l'unica sorgente di particelle di altissima energia non producibili agli acceleratori.

## Osservazione delle Interazioni dei Raggi Cosmici

In questo esperimento si dispone di

- 1) Camera a scintilla costituita da cinque moduli indipendenti, posti tra
- 2) Una coppia di contatori a scintillazione plastici. Esse sono collegate a formare un “telescopio” che attraverso un sistema elettronico detto di “coincidenza” fornisce un segnale ogni volta che entrambi i contatori sono attraversati da una medesima particella carica. Questo segnale viene utilizzato per attivare la camera a scintilla posta tra i due contatori rendendo visibile il percorso fatto dalla particella nello spazio posto tra i due scintillatori ed occupato dalla camera a scintilla. L'insieme “telescopio” più camera a Scintilla è illustrato in figura 1.

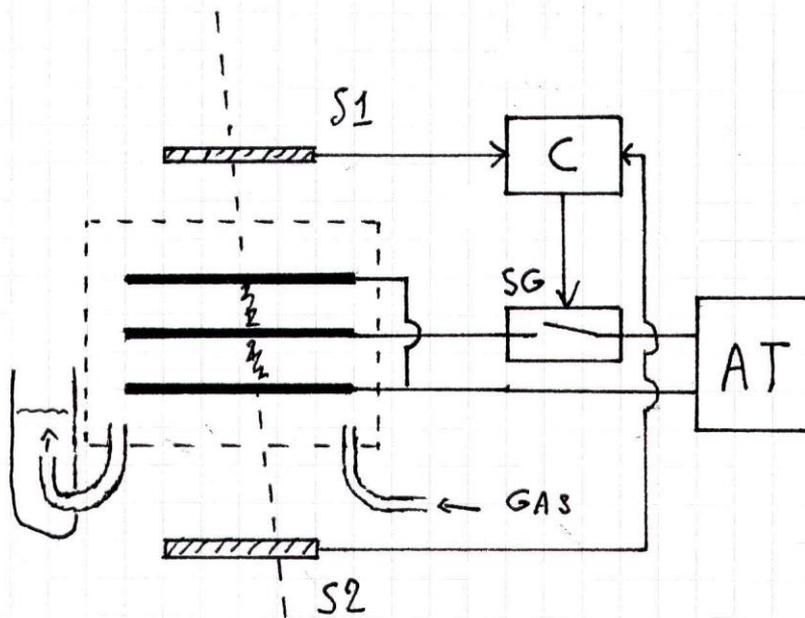


Figura 1 : Schema di principio di una camera a scintilla e del suo sistema di controllo  
S1 ed S2 = contatori a Scintillazione, C = circuito di coincidenza temporale, SG = circuito di apertura e chiusura dell' Alta Tensione (Spark Gap), AT = Alimentatore ad Alta Tensione  
Gas = miscela di Elio ed Argon che riempie lo spazio tra i piatti che formano i moduli della camera a scintille.

- 3) una serie di materiali con diverso potere assorbente (lastre di materiali diversi) che possono essere inseriti tra i moduli della camera.

L'insieme dei cinque moduli e del Telescopio di contatori a Scintillazione possono essere combinati in due distinte configurazioni (A e B) (vedi figura 2).

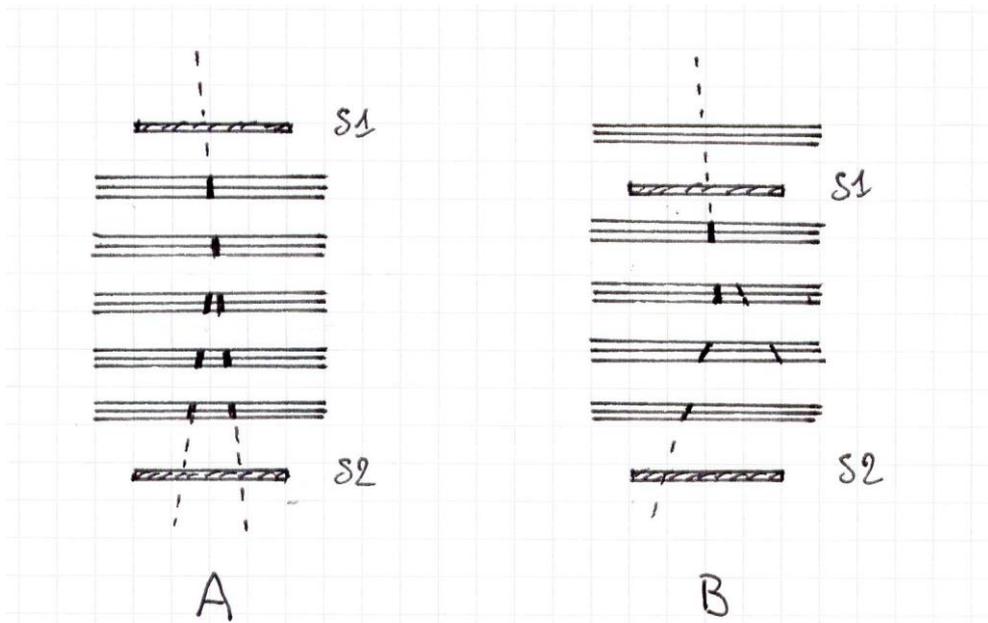


Figura 2 : Combinazioni dei moduli della Camera a Scintille e del Telescopio di Contatori a Scintillazione. Configurazione A : adatta alla rivelazione di particelle cariche. Configurazione B : adatta alla rivelazione delle interazioni prodotte da particelle neutre (prive di carica). In entrambe le configurazioni la distanza relativa dei diversi moduli può essere variata e tra questi moduli è possibile inserire lastre di materiale assorbente di diverso spessore e densità.

In configurazione A la camera a scintilla viene attivata solo quando l'evento registrato è prodotto da una particella carica. In configurazione B l'evento è provocato da una particella neutra che produce per interazione una particella carica dopo aver attraversato il primo modulo (in cui in effetti non si vede alcuna traccia)

Il tipo di interazione delle particelle che attraversano con la materia presente nella camera permette di dividere statisticamente le particelle in alcuni gruppi (vedi figura 3):

- muoni attraversano i diversi strati di materia con bassissime probabilità di interazione. Le tracce lasciate dai muoni pertanto sono sostanzialmente diritte o con piccole deviazioni dovute a diffusione. (figura 3a). Unica eccezione potrebbe essere costituita da un muone di energia tanto bassa da fermarsi nel materiale e decadere producendo un elettrone (oltre ad un neutrino) e quindi dando origine ad una seconda traccia, dovuta all'elettrone) che parte dove si interrompe la prima.
- mesoni  $\pi$  e protoni possono sia attraversare la camera sostanzialmente inalterati o con piccoli scattering come nel caso precedente oppure dare luogo ad una interazione nucleare con uno degli atomi presente nel materiale producendo una o più particelle che viaggiano in diverse direzioni (si osserva ciò che in gergo è detta "stella". Maggiore è la quantità di materiale maggiore è la probabilità di produrre una stella) (figura 3b)..
- elettroni sia positivi che negativi possono dar luogo ad una catena di processi di produzione di Raggi Gamma (che non lasciano traccia) i quali a loro volta possono produrre coppie elettrone/positrone (figura 3c).. Se la quantità di materia presente lungo il percorso è molta i processi si ripetono e danno luogo ad una moltiplicazione crescente di elettroni/positroni tutti raggruppati attorno alla direzione dell'elettrone/positrone iniziale, formando uno "sciame" (figura 3d). Per facilitare la produzione di sciami elettromagnetici conviene inserire tra i diversi moduli spessori di circa 5 mm di piombo.
- .

In pratica quando si hanno i soli moduli delle camere a scintilla senza materiale interposto si vedono prevalentemente tracce dritte, difficilmente attribuibili ai diversi tipi di particelle. Inserendo materiale in spessori e di densità via via crescente si possono mettere in evidenza i mesoni  $\pi$  e i protoni grazie alla comparsa di “stelle” e gli elettroni grazie alla comparsa degli sciame.

Tra i Raggi Cosmici Secondari ci sono anche particelle neutre e fotoni. Per poterli osservare è necessario porre i moduli della camera a scintilla ad esempio nella disposizione B. In questo caso assenza di tracce nelle camere poste al di sopra degli scintillatori e presenza di tracce in quelle poste tra gli scintillatori indica che l'evento è stato provocato da una particella neutra (ad es, un neutrone) o un Raggio Gamma che ha interagito nel materiale sottostante il primo modulo producendo cariche viste dal sistema di scintillatori in coincidenza.

### **Suggerimenti per le osservazioni**

- 1)cominciare ad osservare cosa accade con il sistema in configurazione A senza materiale tra i moduli delle camere
- 2)Inserire materiali diversi e per lo stesso materiale d spessore crescente tra i moduli delle camere a scintilla e/o sopra lo scintillatore superiore e vedere come variano i rapporti tracce singole/stelle, tracce singole/sciame, stelle/sciame
- 3)Provare ad aumentare la distanza tra i due scintillatori. Come cambia l' intervallo di tempo medio tra due scatti della camera a scintille ? Perché ?
- 4)Le tracce sono tridimensionali. Per questo la camera a scintilla può essere osservata da due direzioni tra loro ortogonali. Come vanno combinate le due immagini per avere la direzione reale delle tracce ?
- 5)Dopo aver osservato per qualche tempo a occhio si suggerisce di inserire il sistema digitalizza le due immagini e le immagazzina sul PC. Accumulare un certo numero di immagini digitalizzate e poi analizzarle.

### **La Camera a Scintille**

E' un rivelatore sviluppato a partire dagli anni '60 che consente di visualizzare il percorso fatto da una particella elementare carica di alta energia che attraversa un gas. In pratica è costituita da due piastre conduttrici separate da una distanza di qualche mm tra i quali viene posto un gas. (vedi figura 1). Tra le due piastre può essere applicata una differenza di potenziale di alcuni kV insufficiente a dar luogo ad una scarica elettrica. Se però una particella carica di alta energia attraversa il sistema nel gas lungo il percorso fatto dalla particella compare una colonna di ioni positivi e negativi che rendono in quel punto il gas conduttore. Se prima che gli ioni prodotti nel gas si disperdano, al sistema viene applicata la predetta alta tensione, lungo la colonna di ioni scocca una scintilla. Disponendo di una serie di moduli identici posti uno sopra l' altro il percorso fatto dalla particella carica che attraversa tali moduli è evidenziato da una scia di scintille. Subito dopo la scintilla, mentre il sistema di alta tensione si “ricarica” il sistema di coincidenza viene bloccato per un breve tempo (“tempo morto”) durante il quale la camera resta inattiva e ai piatti viene applicata una tensione di circa 400 V allo scopo di eliminare tutti gli ioni che fossero ancora presenti dopo la produzione delle scintille.

Nel nostro caso la Camera a Scintille è costituita da una serie di cinque moduli combinabili. Ogni modulo è composta da tre piastre metalliche equispaziate separate tra di loro di circa 7 mm, tra cui circola una miscela di Elio ed Argon. . Le due piastre esterne possono essere poste ad un potenziale di circa 7 kV rispetto alla piastra centrale. L' alta tensione viene applicata, solo quando serve, attraverso uno speciale interruttore per alta tensione, detto Spark Gap, comandato elettronicamente dal segnale di coincidenza fornito da una coppia di contatori a scintillazione. Il gas immesso nella camera al posto dell' aria (che richiederebbe valori dell' alta tensione circa troppo elevate e produrrebbe scintille mal definite) è una miscela di Elio ed Argon mantenuto, per mezzo di un sistema di regolatori all' immissione e facendo defluire il gas attraverso un tubo

immerso in acqua (gorgogliatore) ad una pressione leggermente superiore a quella atmosferica. In tal modo, anche se i moduli non sono a tenuta stagna l'aria non può entrare e contaminare il gas presente tra le piastre. Le bollicine di gas che escono dal gorgogliatore visualizzano il flusso di gas. E' opportuno che il flusso del gas (misurabile contando le bollicine/minuto prodotte) sia il più basso possibile per evitare disturbi alla colonna di ioni prodotta dalle particelle che attraversano la camera. In alcuni casi è conveniente lasciar fluire il gas per qualche minuto per espellere tutta l'aria, quindi interrompere il flusso ed osservare in condizioni statiche. La miscela pure di Elio ad Argon dà luogo a scintille di color rosa viola. La presenza di aria rende le scintille mal definite e di colore bluastrò. Quando il colore e la definizione delle scintille cambiano occorre rinnovare il gas.

I cinque moduli disponibili sono inseribili in un apposito castello assieme ai rivelatori a scintillazione e a piastre di materiale assorbente. Il sistema permette di variare le distanze tra i diversi componenti e di combinarli in diverso modo.

Le scintille possono essere osservate ad occhio nudo (con Elio+Argon hanno colore rosa-violetto, mentre in presenza di aria diventano bianco-bluastrò) da due direzioni ortogonali. E' anche possibile applicare a ciascun modulo un sistema digitalizzatore che memorizza su PC le coordinate delle scintille viste nelle due direzioni ortogonali.

E' importante ricordare nel maneggiare i moduli che essendoci in gioco alte tensioni, tutti gli spostamenti dei moduli devono essere fatti ad alimentazioni spente e che piccole tracce di sporco o umidità prodotte ad esempio con le mani, sui connettori e sui cavi di alta tensione possono impedire il funzionamento delle camera a causa di dispersioni della tensione.