

Determinazione Della Distribuzione Angolare Dei Raggi Cosmici

Finalità dell'esperienza

L'esperienza ha lo scopo principale di determinare la distribuzione angolare dei raggi cosmici al livello del mare e la loro distribuzione in velocità. Per raggiungere tale scopo dovremo calibrare un odometro costituito da una lunga barra di scintillatore plastico letta alle due estremità da due fotomoltiplicatori. La differenza temporale fra i segnali dai due fotomoltiplicatori ci consentirà di determinare la posizione in cui il raggio cosmico ha attraversato la barra. Un terzo scintillatore posto in basso ci permetterà infine di determinare un secondo punto della traiettoria e da qui di ricostruire la direzione di provenienza del raggio cosmico. Dovremo prestare molta attenzione alla differente efficienza di rivelazione al variare dell'angolo di incidenza.

Apparato sperimentale

L'apparato sperimentale consiste in:

1. una lunga barra di scintillatore plastico letta alle due estremità da due fotomoltiplicatori
2. una sottile barra di scintillatore plastico letto da un terzo fotomoltiplicatore che si può posizionare sopra la barra in varie posizioni
3. un sistema di acquisizione basato su una scheda DRS o a quattro canali
4. un sistema di trigger basato su discriminatori e coincidenze in logica nim
5. un oscilloscopio per la calibrazione ed il debug dell'apparato.

Strategia

Possiamo determinare la direzione di provenienza di un raggio cosmico usando l'apparato sperimentale rappresentato in Fig.1.

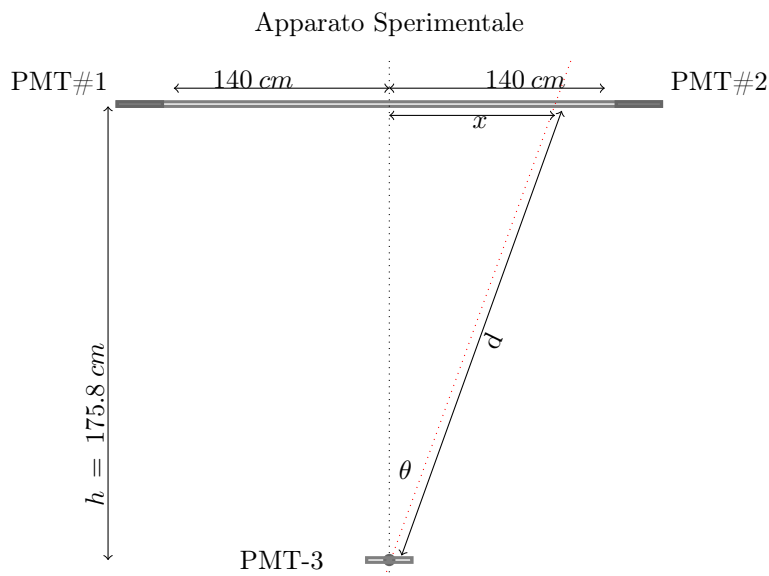


Fig.1 Rappresentazione schematica dell'apparato sperimentale.
Le misure sono indicative e vanno determinate in fase di presa dati.

Selezioniamo gli eventi in cui il raggio cosmico attraversi sia la paletta scintillante inferiore che la barra scintillante superiore e produca segnali da ognuno dei tre fotomoltiplicatori. Dalla differenza dei tempi dei segnali prodotti dai PMT#1 e PMT#2 ricostruiremo la posizione in cui il raggio cosmico ha attraversato la barra superiore e da questo ricostruiremo l'angolo di incidenza θ .

Dalla misura del tempo di volo del raggio cosmico potremo anche stimare la velocità della particella.

Per prima cosa dobbiamo impostare il sistema per osservare almeno qualche raggio cosmico e di lì cercheremo di ottimizzare la configurazione.

Iniziamo ponendo lo scintillatore 3 sopra il centro della barra e collegando i tre fotomoltiplicatori agli ingressi di altrettanti discriminatori. Facciamo proseguire il segnale verso gli ingressi dell'oscilloscopio avendo cura di scegliere per ciascuna connessione cavi coassiali di opportuna lunghezza (non devono essere tesi, né restare ciondoloni). Vogliamo usare le differenze di tempo per ricostruire la

posizione, quindi poniamo cura nello scegliere cavi di uguale lunghezza per ciascuno dei tre canali.

Impostiamo gli ingressi dell'oscilloscopio su un'impedenza di ingresso 50 Ohm. Effettuate le connessioni accendiamo il crate NIM e alimentiamo i tre fotomoltiplicatori ad una tensione attorno a 1500V. Triggeriamo sul pmt#1 (fronte di discesa, modalità normale) e determiniamo un livello di trigger per cui osserviamo un segnale anche sul pmt#2.

Utilizzeremo questo livello per determinare il punto di lavoro del pmt #2.

Impostiamo la soglia del discriminatore del pmt#1 su questo valore appena determinato e le larghezze degli impulsi di ciascuno dei tre discriminatori su un valore di qualche decina di ns.

Ora vogliamo osservare i segnali in coincidenza fra il pmt#3 posto sul centro della barra ed il pmt#1: questi eventi corrispondono a cosmici che attraversano la barra in prossimità del suo centro e sono molto utili per determinare il punto di lavoro del pmt #2.

Collegiamo le uscite dei discriminatore #1 e #3 all'unità di coincidenza e l'uscita LIN della coincidenza al contatore. Regoliamo la soglia del discriminatore #3 in modo da osservare le coincidenze doppie.

Ora cerchiamo di determinare il punto di lavoro del pmt #2 costruendo una curva in cui riportiamo l'efficienza del pmt#2 (triple / doppie corretto per il fake rate delle doppie) verso il rate di conteggi singoli del pmt#2 in funzione della tensione di alimentazione del pmt#2. Variamo la tensione di alimentazione fra 1200V e 1800 V. Utilizziamo come soglia del discriminatore #2 quella impostata per il discriminatore #1. Vogliamo avere una precisione sull'efficienza dell'ordine dell'1% acquisiamo quindi un campione sufficientemente ampio.

Ripetiamo la procedura per due altri valori di soglia del PMT#2.

Dall'esame delle tre curve scegliamo il punto di lavoro e la soglia di discriminazione del PMT#2 in modo di avere la massima efficienza con un rate di singola accettabile (inferiore a qualche centinaio di Hz).

Ripetiamo la procedura a parti invertite fra PMT#1 e PMT#2 per determinare il punto di lavoro del PMT#1 e la soglia del suo discriminatore.

Scelti i punti di lavoro di PMT#1 e PMT#2 possiamo passare alla calibrazione dell'odometro.

Supponiamo che il raggio cosmico attraversi la barra nel punto di coordinata x al tempo t_0 (vedi Fig.1). il segnale dei pmt#1 e pmt#1 arrivano all'oscilloscopio ai tempi

$$t_1 = t_0 + \left(\frac{l}{2} + x \right) / v + \Delta t_1$$

$$t_2 = t_0 + \left(\frac{l}{2} - x \right) / v + \Delta t_2$$

dove l è la lunghezza della barra, Δt_1 e Δt_2 sono i ritardi introdotti dal meccanismo di fotomoltiplicazione e di trasmissione nei cavi del pmt #1 e pmt#2 e v è la velocità di propagazione del segnale nella barra.

Si ha che

$$t_1 - t_2 = \frac{2x}{v} + \Delta t_1 - \Delta t_2$$

Per ricostruire x dobbiamo determinare le costanti di calibrazione v e $\Delta t_1 - \Delta t_2$. Per fare questo mettiamo la paletta di materiale scintillante 3 in varie posizioni x note e produciamo il grafico $t_1 - t_2$ verso x . Però dobbiamo prima di tutto trovare un modo di determinare t_1 e t_2 .

Impostiamo il sistema di coincidenze per segnalare le triple #1 & #2 & #3 ed usiamo questo segnale come segnale di trigger per il sistema di acquisizione DRS. Salviamo su un file le forme d'onda dei canali pmt#1, pmt#2 e pmt#3. Determiniamo da queste forme d'onda t_1 e t_2 mediante tre diverse strategie per apprezzarne pregi e difetti.

Determinazione del tempo di arrivo di un segnale

Abbiamo il problema di dover assegnare un tempo ad un segnale che ha un'estensione temporale finita, un'ampiezza variabile a cui è sovrapposto un rumore casuale.

La prima strategia è quella di assegnare come tempo l'istante in cui il segnale attraversa una soglia fissa (né più né meno di quanto fa un discriminatore). Il principale pregio di questo algoritmo è nella sua semplicità, il principale difetto è nel time walk: il bias introdotto da questo algoritmo è una funzione complicata dell'ampiezza del segnale.

La seconda strategia è quella di assegnare come tempo l'istante in cui il segnale attraversa una soglia impostata alla metà dell'ampiezza del segnale. Questo algoritmo riduce (in linea di principio annulla) il time walk, ma è difficile da implementare con un circuito elettronico.

La terza strategia è quella di calcolare il baricentro temporale dell'evento:

$$t = \frac{\sum t_i V_i}{\sum V_i}$$

dove V_i sono le tensioni campionate agli istanti t_i . Come scegliamo quali campioni far entrare nella somma? Possiamo utilizzare uno dei due metodi precedenti per avere una prima stima e poi sommare in una finestra di ampiezza fissa attorno a questa prima stima.

Correzione per l'efficienza

L'efficienza di rivelazione varia in funzione di x a causa della diversa frazione di luce raccolta dai PMT#1 e PMT#2 al variare di x . Si può determinare l'efficienza di rivelazione al variare di x utilizzando il metodo dei conteggi delle coincidenze triple e doppie utilizzando la barretta di scintillatore ed il PMT#3 posto in diverse posizioni.

Possiamo anche studiare la dipendenza da x dell'intensità di luce raccolta mediante uno scatter plot dell'integrale del segnale raccolto da PMT#1 (PMT#2) verso la coordinata x ricostruita dalla differenza dei tempi.

In linea di principio potremmo anche stimare x dal rapporto fra le intensità dei segnali osservati da PMT#1 e PMT#2

Studio della distribuzione angolare dei raggi cosmici

Una volta calibrato l'odometro e determinata la sua efficienza al variare di x possiamo affrontare il punto finale: determinare la distribuzione angolare dei raggi cosmici e la loro velocità.

Disponiamo la barretta scintillante in prossimità del pavimento, orientata ortogonalmente alla barra dell'odometro ed in posizione tale da osservare i cosmici provenienti da $\vartheta \gg 0$.

Acquisire una campione e determinare da questo la distribuzione angolare dei raggi cosmici a meno di un fattore di scala.

Punti su cui riflettere:

- Perché non mettere la barretta in corrispondenza del centro dell'odometro?
- L'efficienza determinata precedentemente è una stima corretta dell'efficienza per lo studio in oggetto? Oppure è una sovrastima o una sottostima?
- Da dove deriva il fattore di scala che resta incognito?