

Laboratorio di Fisica delle Interazioni Fondamentali
Università di Pisa

MISURA DEL TEMPO DI VOLO DEI RAGGI COSMICI

Introduzione

L'esperienza consiste nella misura del tempo di volo di raggi cosmici (muoni) che raggiungono la superficie terrestre, per mettere in evidenza la piccola frazione di essi che hanno velocità non relativistiche.

Apparato sperimentale

- Barra di scintillatore (BICRON BC408) a sezione quadrata (4x4 cm), di lunghezza circa due metri, con un PMT a ciascuna estremità (PMT1 e PMT2). La differenza di tempo tra i segnali registrati alle due estremità fornisce una misura (a meno di una costante) della posizione in cui la barra è stata attraversata da una particella ionizzante. (A causa dell'attenuazione della luce nella barra, anche il rapporto tra le altezze di impulso fornisce informazioni sulla posizione in cui la barra è stata colpita).
- Fotomoltiplicatore mobile (PMT3) con scintillatore plastico di piccole dimensioni, da usare sia per la misura di tempo di volo che per le calibrazioni (per esempio per rimuovere i termini costanti ignoti nelle misure di differenze di tempo).
- Scintillatore piano (PMT4) di grandi dimensioni (più eventuale scintillatore aggiuntivo PMT5) posizionati sotto uno strato di piombo, da usare come veto per selezionare muoni di bassa energia.
- Scheda di acquisizione *Domino Ring Sampler* (DRS4), che consente di digitalizzare fino a 4 segnali analogici con una frequenza massima di 5 Gs/s. Si faccia riferimento alla documentazione fornita a parte per l'uso della scheda. **(Si faccia attenzione ai limiti di tensione: la scheda può acquisire segnali con ampiezza compresa tra -0.5 e 1.0 V)**
- Moduli logici NIM vari, ritardi, e contatori.
- Alcune lastre di piombo (con strato di protezione in alluminio).

Principali obiettivi da raggiungere

1. Misura della velocità di propagazione della luce nella barra di scintillatore.
2. Misura della velocità dei raggi cosmici, ottenuta dal tempo di volo delle particelle tra la barra e uno scintillatore posto a distanza.
3. Confronto tra le velocità di raggi cosmici aventi diverso potere di penetrazione nella materia.

Procedure suggerite

0. Informatevi dal tecnico di laboratorio delle procedure corrette da seguire per operare in sicurezza sul vostro apparato, e seguitene scrupolosamente le indicazioni.

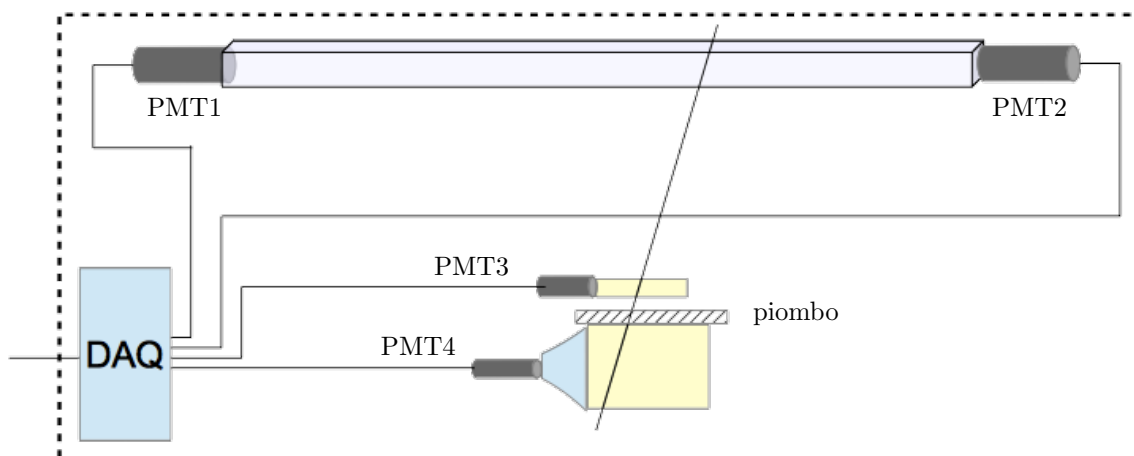


Figura 1: Schema dell'apparato sperimentale per la misura della velocità dei raggi cosmici.

1. Alimentate i due PMT alle estremità della barra scintillante, e verificate il corretto funzionamento. Verificare che siano visibili le coincidenze temporali, dovute al passaggio di una particella ionizzante attraverso la barra.
2. Alimentate il PMT3 e verificate il corretto funzionamento.
3. Familiarizzatevi con l'uso del modulo DRS. Impostatelo in modo da poter acquisire dati con una frequenza di campionamento che vi permetta di massimizzare la risoluzione temporale, e con un trigger esterno. Fate attenzione ad adattare i livelli di voltaggio dei segnali, in modo da poter acquisire simultaneamente PMT1, PMT2, PMT3.
4. Ponendo lo scintillatore piccolo (PMT3) a contatto con la barra, e misurando tramite il DRS le differenze di timing dei segnali dei due fotomoltiplicatori PMT1 e PMT2 della barra (in coincidenza con lo scintillatore piccolo) è possibile misurare, in funzione della posizione sulla barra, la risoluzione temporale (e di conseguenza spaziale) del sistema di misura. Per realizzare la coincidenza occorre porre attenzione allo shaping dei segnali, programmando durate adeguate, e alla logica di trigger. *Suggerimento*: come sarebbero distribuite le differenze di tempo misurate tra i segnali PMT1 e PMT2 se la risoluzione del vostro apparato sperimentale fosse infinitamente precisa?
5. Variando la posizione dello scintillatore piccolo lungo la barra, verificare (e calibrare) la relazione distanza/tempo, e misurare la velocità di propagazione dei fotoni nella barra. Si studino i valori di alimentazione per i PMT in modo da ottimizzare la configurazione [*Suggerimento*: le misure di differenze e rapporti in generale soffrono di incertezze sistematiche minori rispetto a misure assolute delle stesse quantità].
6. Analizzando i segnali registrati dal DRS è possibile determinare il timing dei segnali in gioco. Si studi il modo di ottimizzare la risoluzione di queste misure di timing, la cui precisione è cruciale ai fini di questa esperienza.
7. Posizionando lo scintillatore piccolo, invece che a contatto, ad una certa distanza sotto la barra (almeno 1m, meglio se di più) e registrando i tempi dei segnali, è possibile misurare sia l'angolo di incidenza delle particelle in arrivo (e di conseguenza la lunghezza percorsa nell'apparato), che la durata di volo corrispondente. Si determini così la distribuzione dei tempi di volo delle particelle incidenti, e si discuta se è in accordo con l'ipotesi che siano tutte ultra-relativistiche. [*Suggerimento*: la misura del tempo di volo sarà nota a meno di una costante ignota, dovuta ai ritardi introdotti dell'apparato sperimentale e dall'elettronica.

Tale costante va misurata sperimentalmente, eventualmente anche in funzione della posizione sulla barra, e sottratta alla misura del tempo di volo.]

8. Lo scintillatore posto al di sotto delle lastre di piombo permette di verificare se la particella in questione ha attraversato o meno lo strato di assorbitore, e quindi separare due categorie di particelle in base al loro potere di penetrazione, legato alla loro energia cinetica. Lo spessore di piombo può essere variato aggiungendo/togliendo lastre da 0.5 cm, permettendo così di variare la soglia in energia delle particelle scelte per la misura - si consideri come scegliere lo spessore per ottimizzare la sensibilità del vostro apparato, al fine di rivelare una possibile componente di raggi cosmici costituita da particelle non-relativistiche. Si esegua la misura con un congruo numero di eventi, e si discutano i risultati.
9. Un metodo molto "pulito", anche se di efficienza limitata, per verificare che un muone si è arrestato nello strato di piombo, è quello di osservare il segnale dovuto al suo successivo decadimento, tramite lo scintillatore sottostante. Disegnate e realizzate un circuito di trigger che vi permetta di selezionare eventi di questo tipo. [*Suggerimento*: potete usare una scheda FPGA DE10-Nano per generare o inoltrare il segnale di trigger del DRS registrando il timestamp di questo nonché quello del decadimento del muone.] Quindi raccogliete un congruo numero di eventi e discutete i risultati.
10. È possibile trarre dalle misure effettuate una stima, o dei limiti, sulla massa delle particelle oggetto della misura?