

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.
- 2 moduli NIM Time to Amplitude Converter (TAC) (ORTEC 467, con risoluzione temporale di 10 ps), entrambi con funzionalità di Single Channel Analyzer (SCA).
- Scheda DE0-Nano TerasIC (DE0-Nano) equipaggiata con FPGA Altera modello Cyclone IV EP4CE22F17C6N e con un ADC a 12 bits, programmata per misurare l'ampiezza del segnale analogico in input a uno degli 8 ingressi analogici multiplexed, ogni volta che arriva un opportuno segnale di trigger (vedi sotto).
- 2 attenuatori da 10 Volt a 3.3 Volt per adattare l'uscita dei moduli TAC all'input della scheda DE0-Nano
- Moduli logici NIM vari, ritardi, e contatori.
- Alcune lastre di piombo (con strato di protezione in alluminio).

I moduli TAC permettono di trasformare un intervallo di tempo in un'altezza di un impulso rettangolare (0 – 10 Volt) sull'uscita TPHC. Questo segnale può essere digitalizzato e acquisito tramite l'ADC presente sulla scheda DE0-Nano, permettendone quindi la lettura da un PC tramite la porta USB.

IMPORTANTE: il segnale analogico in input alla scheda DE0-Nano deve essere *positivo* e non eccedere i 3.3 V per non danneggiare l'ADC del modulo DE0-Nano. Utilizzate perciò gli opportuni attenuatori di voltaggio.

Come segnale di *trigger* per sincronizzare l'acquisizione della scheda DE0-Nano, si può usare il segnale SCA della TAC. La scheda acquisisce i 2 input analogici

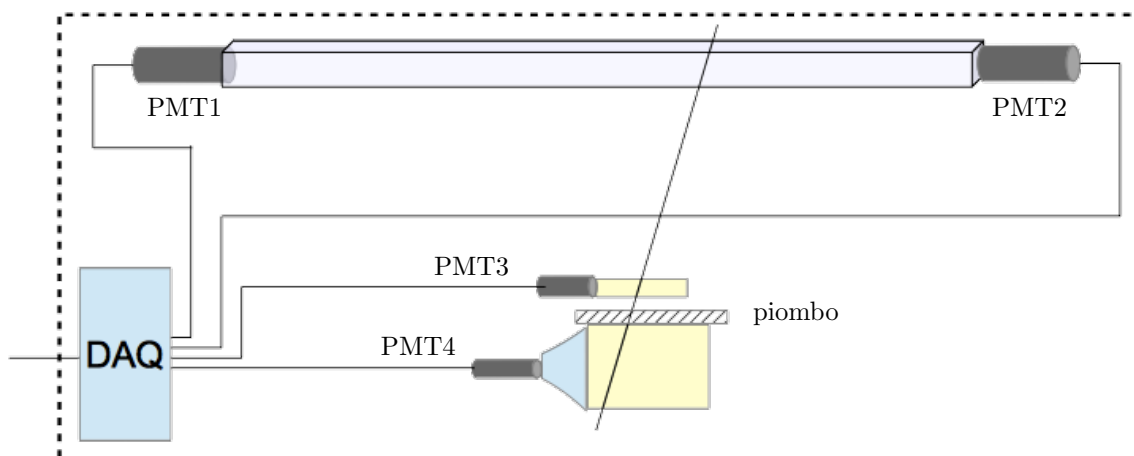


Figura 1: Schema dell'apparato sperimentale per la misura della velocità dei raggi cosmici.

IMPORTANTE: Il segnale di trigger inviato alla scheda DE0-Nano deve rispettare lo standard *Low Voltage TTL* (0 – 3.3V) per non danneggiare lo FPGA. Utilizzate perciò gli opportuni convertitori TTL-to-NIM e NIM-to-TTL.

Il campionamento del segnale analogico in ingresso alla scheda DE0-Nano avviene dopo qualche centinaia di *ns* dal *falling edge* del segnale di trigger descritto sopra. La scheda DE0-Nano non è in grado di campionare simultaneamente due segnali analogici in ingresso dal momento che equipaggiata con un singolo ADC che legge tutti gli 8 inputs in modalità multiplexing. Per leggere i segnali in coincidenza da due TAC diverse è perciò necessario porre attenzione allo shaping dei segnali, programmando durate adeguate, dal momento che il secondo segnale può essere campionato soltanto dopo circa $5\ \mu\text{s}$ dal segnale di trigger associato al primo segnale analogico. Per maggiori dettagli sul timing dei segnali fate riferimento alla documentazione disponibile nella postazione sperimentale.

La scheda DE0-Nano è collegata tramite porta USB al PC ed i segnali in uscita possono essere salvati (in formato ASCII) su dischetto per essere analizzati con software di propria scelta.

Principali obiettivi da raggiungere

1. Velocità di propagazione della luce nella barra di scintillatore.
2. Risoluzione della misura dei tempi di propagazione della luce dentro la barra, e conseguente risoluzione nella determinazione del punto di impatto e del tempo corrispondente.
3. Misura delle distribuzioni di velocità dei raggi cosmici ottenute dalla differenza temporale tra i segnali, separatamente per le particelle che attraversano/non attraversano lo strato di piombo.
4. Si confrontino le distribuzioni di cui sopra, tra di loro e con le vostre predizioni, eventualmente con l'aiuto di un programma Monte Carlo, e si determinino le frazioni relative delle due categorie di particelle nella popolazione di raggi cosmici che incide sul vostro rivelatore.

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.

1. I moduli TAC permettono di trasformare un intervallo di tempo in una altezza di un impulso rettangolare, e sono uno strumento essenziale in questa misura. Se non siete familiari con essi, può essere utile impratichirsi sperimentando con coppie di impulsi generati tramite il dual timer, e osservando l'uscita all'oscilloscopio. Familiarizzatevi anche con la scheda DE0-Nano inviando i segnali dei due TPHC (dove i segnali di START e di STOP sono opportunamente generati) e l'opportuno segnale di trigger, come descritto nella sezione "Apparato sperimentale", al fine di acquisire simultaneamente le due altezze di impulso.
2. Ponendo lo scintillatore piccolo (PMT3) a contatto con la barra, e misurando 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 spaziale) del sistema di misura. Naturalmente, per realizzare la coincidenza occorre porre attenzione allo shaping dei segnali, programmando durate adeguate. *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?
3. Variando la posizione dello scintillatore piccolo lungo la barra, è possibile verificare (e calibrare) la relazione distanza/tempo e misurare la velocità di propagazione dei fotoni nella barra. *[Suggerimento:* le misure di differenze e rapporti in generale soffrono di incertezze sistematiche minori rispetto a misure assolute delle stesse quantità].
4. Inviando alla scheda DE0-Nano l'uscita TPHC è possibile misurare la distribuzione dei punti di impatto sulla barra, che ci si aspetta sia uniforme a meno dell'effetto della dipendenza dell'efficienza dal punto della barra. Si noti che l'altezza dei segnali rilevati dipende dalla posizione dell'hit, per cui occorre fare attenzione nella scelta le soglie dei discriminatori, per evitare di perdere segnali provenienti da una certa regione della barra.
5. 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 la distribuzione dei tempi di volo delle particelle incidenti, e si discuta se e' 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.]
6. Lo scintillatore posto al di sotto delle lastre di piombo permette di verificare se la particella in questione ha attraversato o meno il piombo, e quindi separare due categorie di particelle in base alla energia cinetica. Lo spessore di piombo può essere facilmente 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.
7. Un modo molto pulito, anche se non efficientissimo, di verificare che un muone si e' arrestato nello strato di piombo, e' 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. Quindi raccogliete un congruo numero di eventi e discutete i risultati.
8. È possibile trarre dalle misure effettuate qualche indicazione sul valore della massa delle particelle oggetto della misura?