

Laboratorio di Fisica delle Interazioni Fondamentali
Università di Pisa

TEMPO DI VOLO DI RAGGI COSMICI

Ultima modifica 28.1.2017

Introduzione

L'esperienza consiste nella misura del tempo di volo di raggi cosmici che raggiungono la superficie terrestre, per mettere in evidenza la piccola frazione di essi che hanno velocità non relativistiche. Si tratta essenzialmente di muoni che derivano dal decadimento degli adroni prodotti dalle interazioni di protoni primari negli strati elevati dell'atmosfera, $O(15 \text{ km})$ sul livello del mare. I muoni a livello del suolo hanno uno spettro energetico decrescente con l'energia al di sopra di 1 GeV , con valor medio $\approx 4 \text{ GeV}$.

Materiale e descrizione

- Barra di scintillatore (BICRON BC408) a sezione quadrata ($4 \times 4 \text{ cm}$), di lunghezza circa due metri, con un PMT a ciascuna estremità. La differenza di tempo tra i segnali registrati alle due estremità permette di avere una misura della posizione in cui la barra è stata attraversata da una particella ionizzante. A causa della attenuazione della luce nella barra, anche il rapporto tra le altezze di impulso fornisce una misura della posizione in cui la barra è stata colpita.
- Fotomoltiplicatore mobile con scintillatore di piccole dimensioni.
- Blocco di scintillatore plastico fisso, spesso diversi centimetri, da usare come veto insieme a delle lastre di piombo per filtrare particelle di bassa energia, posto a distanza di $\approx 2 \text{ m}$ dalla barra.
- 2 moduli NIM "Time to Amplitude Converter" (TAC) con risoluzione temporale di 10 ps , comprendenti funzionalità di "Single Channel Analyzer" (SCA).
- 2 attenuatori da 10 V a 3.3 V .

- Scheda TerasIC DE0-Nano equipaggiata con una FPGA Altera Cyclone IV (EP4CE22F17C6N) e con un ADC a 12 bit, programmata per misurare l'ampiezza del segnale analogico in ingresso ad uno di 8 ingressi commutati ogni volta che è presente un opportuno segnale di *trigger*.
- moduli logici NIM vari, ritardi e contatori.

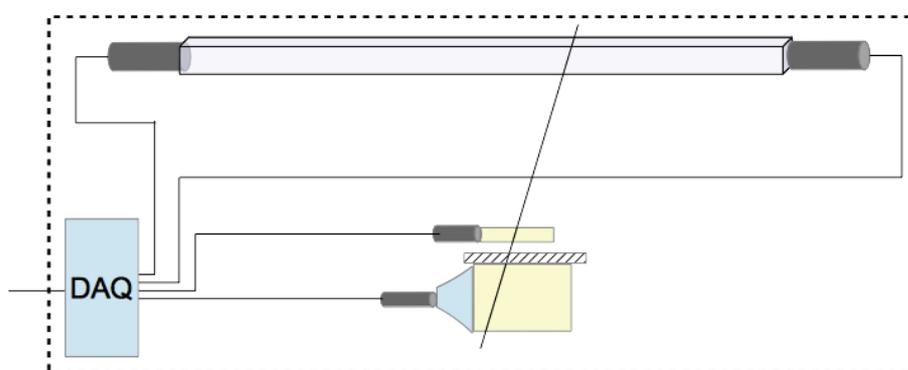


Figura 16.15: Schema dell'apparato per l'esperienza TOF.

Il segnale TPHC della TAC, che permette di trasformare un intervallo di tempo in un'altezza di un impulso rettangolare (0 – 10 V), deve essere inviato alla scheda DE0-Nano mediante opportuni attenuatori, che adattano il segnale di uscita analogico TPHC della TAC all'ingresso della scheda DE0-Nano.

IMPORTANTE: il segnale in ingresso alla scheda DE0-Nano deve essere positivo e non eccedere 3.3V per non danneggiare l'ADC.

Come segnale di *trigger* per la scheda DE0-Nano si consiglia di usare il segnale SCA della TAC, opportunamente regolato in tempo mediante una doppia conversione da TTL a NIM e da NIM a TTL.

IMPORTANTE: il segnale di *trigger* alla scheda DE0-Nano deve essere un segnale Low Voltage TTL (0-3.3V) per non danneggiare la FPGA.

Il campionamento del segnale analogico in ingresso alla scheda DE0-Nano avviene dopo qualche centinaio di ns dal fronte di discesa del segnale di *trigger* descritto sopra. La scheda DE0-Nano, equipaggiata con un singolo ADC, non può campionare simultaneamente due segnali analogici in ingresso: per acquisire i segnali in coincidenza da due TAC diverse è quindi necessario porre attenzione alla temporizzazione dei segnali, programmando durate adeguate, dal momento che il secondo segnale può essere campionato solo dopo circa 5 μ s dal segnale di

trigger associato al primo segnale analogico.

La scheda DE0-Nano è collegata tramite porta USB al PC, e i dati acquisiti possono essere salvati (in formato ASCII) per essere analizzati con un programma di propria scelta.

È opportuno familiarizzare con il TAC (o TPHC) inviando in ingresso coppie di impulsi generati tramite un *dual timer* NIM (opportunamente convertiti) e confrontando i dati acquisiti con le misure effettuate all'oscilloscopio.

Ponendo lo scintillatore piccolo a contatto con la barra, e misurando le differenze di tempo dei segnali dei due PMT della barra (in coincidenza con lo scintillatore piccolo) è possibile misurare la risoluzione temporale (e spaziale) del sistema di misura. Porre attenzione alla temporizzazione dei segnali per realizzare la coincidenza.

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.

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 delle variazioni di efficienza della barra in funzione del punto. Si noti che l'altezza dei segnali rilevati dipende dalla posizione colpita, per cui occorre fare attenzione nello scegliere opportunamente le soglie dei discriminatori, per evitare di eliminare segnali provenienti da una certa regione della barra.

Se si posiziona lo scintillatore piccolo, invece che a contatto, ad una certa distanza sotto la barra (almeno 1m, meglio se di più) 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.

Il blocco di scintillatore posto al di sotto delle lastre di piombo permette di verificare se la particella in questione abbia attraversato o meno il piombo, e quindi separare due categorie di particelle in base all'energia. Lo spessore di piombo può essere variato aggiungendo o togliendo lastre da 0.5 cm.

Misure da effettuare

- Velocità di propagazione della luce nella barra di scintillatore.
- Risoluzione della misura dei tempi di propagazione della luce entro la barra, e conseguente risoluzione nella determinazione della posizione del punto di impatto e del tempo corrispondente.

- Efficienza della barra in funzione della posizione in cui è colpita.
- Distribuzione di velocità dei raggi cosmici, ottenute dalla differenza temporale tra i segnali, separatamente per particelle che attraversano o meno lo strato di piombo.
- Confronto delle distribuzioni di cui sopra, tra di loro e con le distribuzioni attese, eventualmente valutate mediante una semplice simulazione Monte Carlo dell'apparato; determinazione delle frazioni relative delle due categorie di particelle nella popolazione di raggi cosmici incidenti sul rivelatore.

Punti per discussione quantitativa

- Discutere in dettaglio le incertezze nella misura dei tempi e della velocità delle particelle.
- Valutare e discutere l'effetto delle efficienze e del livello di rumore nei contatori sulla quantità di fondo residuo nel campione di particelle di bassa energia selezionato dall'apparato.
- Si considerino quali configurazioni di lastre di piombo siano più utili ai fini della misura; quale sia l'energia di taglio che separa le particelle che attraversano o meno il filtro di piombo; quale frazione di raggi cosmici abbia velocità sufficiente bassa da essere rivelata.
- È possibile trarre dalle misure effettuate qualche indicazione sulla massa delle particelle misurate?
- Discutere l'entità della possibile contaminazione del campione da parte di particelle che non siano muoni.
- Discutere le incertezze sistematiche e le loro sorgenti principali.