

Laboratorio di Fisica delle Interazioni Fondamentali
Università di Pisa
VITA MEDIA E MASSA DEL MUONE

Introduzione

L'esperienza consiste nella misura della vita media e della massa delle particelle costituenti i raggi cosmici, identificati mediante un telescopio ed arrestati in un bersaglio di scintillatore plastico relativamente spesso. I muoni cosmici derivano dal decadimento degli adroni prodotti dalle interazioni di protoni primari negli strati elevati dell'atmosfera, O(15 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 di circa 4 GeV.

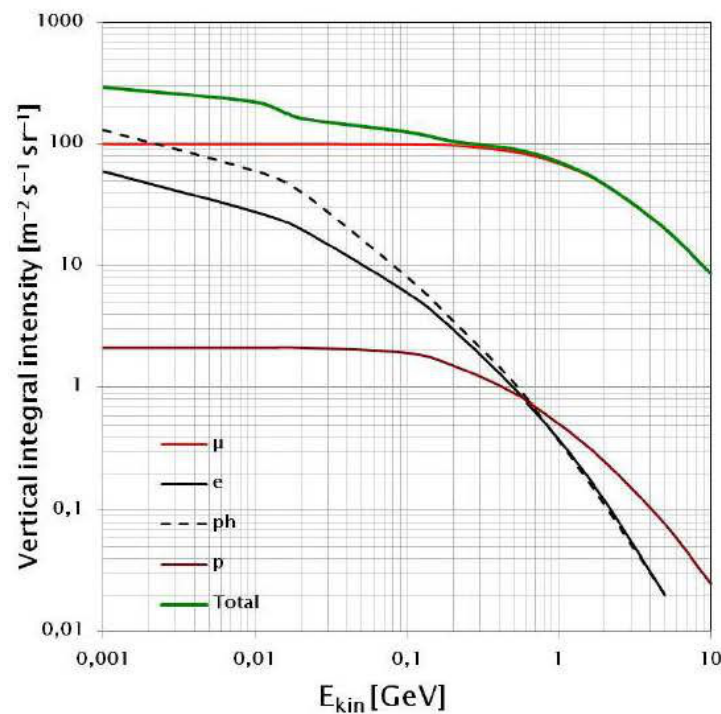


Figura 1: Flusso medio dei raggi cosmici a livello del suolo integrato in energia

Apparato sperimentale

- Alcuni scintillatori plastici disposti orizzontalmente a formare un “telescopio” rivolto verso l’alto, per rivelare l’arrivo di particelle cosmiche cariche.
- Un blocco di scintillatore posto sotto il telescopio, che costituisce il bersaglio attivo in cui osservare il decadimento dei muoni che si arrestano in esso; quest’ultimo è letto da 4 PMT.
- Una lastra di scintillatore posta sotto il bersaglio. Questa costituisce un “sistema di veto” per identificare i muoni che attraversano il bersaglio senza arrestarvisi, che costituiscono eventi di fondo per l’esperimento.

- Scheda di acquisizione dati (DE0-Nano FPGA), che consente sia di registrare i tempi di arrivo di segnali multipli digitali, che di acquisire segnali analogici (tramite un ADC con 8 inputs multiplexed *Attenzione:* la scheda richiede inputs compresi tra 0 e 3.3V, si faccia riferimento alla documentazione fornita a parte).
- Un modulo CAEN N914 amplificatore di carica e discriminatore a 8 ingressi.
- Un PC per l'acquisizione dati dal modulo FPGA.
- Due inverter, utili a rendere positivi i segnali in uscita dal CAEN N914.
- Un alimentatore HV CAEN R8033N per gli scintillatori plastici ($V_{max} = 1800$ V).
- Un alimentatore HV WENZEL N1130 per gli scintillatori bersaglio ($V_{max} = 1500$ V).
- Moduli NIM: discriminatori, modulo OR, moduli di coincidenza (si tenga presente che l'uscita della logica AND si ottiene dal connettore LIN), convertitore TTL/NIM/TTL, moduli timing unit doppi, modulo fanout, moduli Linear Gate.

Principali obiettivi da raggiungere

1. Misurare con la maggiore precisione possibile la vita media dei muoni che si arrestano nel bersaglio, realizzando un sistema per misurare il tempo che intercorre tra il loro arrivo e il successivo decadimento.
2. Determinare con la maggiore precisione possibile la massa di tali particelle, sulla base della distribuzione di energia rilasciata dai prodotti di decadimento.

Procedure suggerite

Lo schema suggerito è puramente indicativo. **NOTA BENE:** Questa esperienza si avvantaggia di prese dati di lunga durata. Si suggerisce di pianificare accuratamente la strategia di raccolta dei dati, in modo ad esempio da sfruttare il periodo tra due turni per effettuare le acquisizioni più lunghe.

0. Informatevi dal tecnico di laboratorio delle procedure corrette da seguire per operare in sicurezza sul vostro apparato, e seguitene scrupolosamente le indicazioni.
1. Inizierete con l'accendere e verificare il funzionamento dei contatori a scintillazione che costituiscono il vostro telescopio. Sceglietene il **punto di lavoro** e la messa in tempo, tenendo presente che il vostro scopo finale è quello di ottenere la misura più accurata possibile della vita media.
Tenete presente che occorrono tempi di acquisizione piuttosto lunghi per ottenere in questo esperimento un numero di eventi sufficienti a una misura precisa; per questo motivo dovrete fare del vostro meglio per raggiungere una configurazione valida dell'apparato in tempi brevi.
2. Per misurare il tempo intercorrente tra l'arrivo del muone e il suo decadimento, realizzerete una opportuna combinazione logica di segnali per registrare i due eventi (rispettivamente chiamati START e STOP nel seguito). Realizzate per prima cosa il **segnale di START** con opportune coincidenze dei segnali degli scintillatori del telescopio e del bersaglio. Verificate la frequenza, confrontatela con il rate atteso di muoni attraverso il vostro apparato (è sufficiente partire da una stima grossolana dell'angolo solido coperto dagli scintillatori), e stimate la percentuale di fondo accidentale. Decidete se questi parametri sono accettabili per la misura che volete fare. (Ricordate comunque che è sempre consigliabile realizzare una prima misura rapida di test con una configurazione "ragionevole", e poi fare un secondo passo più ottimizzato dopo aver capito tutti gli aspetti della misura, piuttosto che perdere troppo tempo a cercare il punto veramente ottimale al primo round).

3. Realizzate la **logica di STOP**, utilizzando gli scintillatori del bersaglio più quelli di VETO. Tenete presente che il segnale del bersaglio è letto da 4 PMT differenti, e considerate come utilizzarli nel modo migliore per la misura. Misurate anche qui il rate e stimare il fondo accidentale. I numeri che ottenete sono ragionevolmente in accordo con le stime che potete fare partendo dalla conoscenza di parametri noti come il flusso medio di raggi cosmici? Regolate soglie, alimentazioni e ritardi temporali secondo necessità. Controllate all'oscilloscopio la relazione temporale tra i segnali di START e STOP. Fate attenzione alla possibilità di false ripartenze, e di generazione dei segnali spuri a seguito di uno START, che potete eliminare mediante un segnale di VETO della durata di qualche decina di ns (questo segnale di STOP che corrisponde all'emissione di un elettrone di decadimento sarà successivamente utilizzato come Trigger per la misura della sua energia). Riuscite a vedere già in questo modo degli indizi del decadimento del muone?

Suggerimento: può essere utile visualizzare i segnali all'oscilloscopio utilizzando la funzione "Persistenza" sotto il menu "Visualizza".

4. Quando vi sembra di aver realizzato una buona configurazione per la misura, familiarizzate con il **modulo FPGA**. Verificate il funzionamento in modalità digitale con dei segnali di calibrazione da voi generati servendovi di moduli disponibili. Verificate la corretta scala dei tempi delle misure e il suo offset. Prestate attenzione alla compatibilità elettrica dei segnali di ingresso, e al fatto che il modulo ha una banda di acquisizione limitata, e può malfunzionare se riceve una frequenza di segnali di input più elevata di pochi Hertz. Un possibile suggerimento per ridurre l'effetto di un eventuale rate eccessivo di segnali di falsi STOP è quello di realizzare una logica che accetta lo STOP solo se cade entro un'opportuna finestra temporale (GATE) dal segnale di START.
5. Iniziate ad acquisire dati, e fate dei controlli per verificarne la validità. È una buona idea mettere in funzione dei sistemi di monitoraggio per tenere d'occhio il regolare funzionamento dell'apparato durante la presa dati, per scongiurare possibili spiacevoli sorprese alla fine. Il semplice display del conteggio di impulsi può essere molto utile.
Analizzate i dati raccolti con un programma di fit, e determinate la **vita media del muone** con il relativo **errore statistico**. Considerate il modo migliore di realizzare il fit e di tenere conto della presenza del fondo.
6. Riesaminate in maniera critica tutta la vostra procedura, e ottimizzatela al meglio che potete. Quindi eseguite dei **run di presa dati lunghi**, in modo da raccogliere campioni grandi. Ragionate sugli effetti che possono indurre **errori sistematici**, il loro impatto sul risultato, e il modo per minimizzarne l'effetto.
7. Assumete che il vostro campione sia costituito da un mix di muoni positivi e negativi al 50%, e che la vita media del muone positivo (che non forma stati legati nella materia ordinaria) costituita perlopiù da nuclei atomici di segno positivo) resti imperturbata rispetto al suo valore nel vuoto. Sulla base di queste assunzioni, determinate di quanto è alterata la vita media del muone negativo dalla interazione con il materiale scintillatore che costituisce il vostro assorbitore/rivelatore.
8. Familiarizzate con il **modulo FPGA DEOnano** programmato in modalità analogica. Verificate il funzionamento con dei segnali analogici noti ed un opportuno segnale di trigger esterno (fronte di discesa di un segnale TTL). **Fate attenzione a che tutti gli input forniti abbiano il giusto range di tensione**
9. Calibrate il modulo amplificatore di carica N914 (uscita OLSUM) utilizzando segnali MIP ottenuti dai raggi cosmici (muoni di alta energia che attraversano tutti gli scintillatori) che rilasciano energia in uno o due scintillatori bersaglio contemporaneamente.
A tal fine è necessario:

- 1) utilizzate l'inverter per riformare il segnale analogico in modo da renderlo compatibile con l'ingresso dell'ADC;
 - 2) generate un segnale di trigger con una logica esterna che selezioni la presenza del segnale di muone di alta energia.
10. Utilizzando il modulo amplificatore di carica riproducete la **curva di energia** dell'elettrone di decadimento.
- A tal fine é necessario:
- 1) filtrare il segnale analogico utilizzando un Linear Gate che selezioni la presenza del segnale di elettrone (segnale di STOP).
 - 2) riformare, come al punto precedente, il segnale analogico utilizzando l'inverter.
 - 3) fare attenzione al fatto che l'amplificatore di carica integra ogni segnale in ingresso, quindi a seconda del set-up che utilizzate potrebbe integrare sia il segnale del muone che quello dell'elettrone. Considerare se è possibile utilizzare un set-up che permetta solamente l'integrazione del segnale dell'elettrone o un set-up che permetta di sottrarre la baseline dovuta al segnale del muone.
- A partire dalla distribuzione di energia dell'elettrone di decadimento potete ricavare una stima della massa del muone.