

Laboratorio di Fisica delle Interazioni Fondamentali  
Università di Pisa

## **ESPERIENZA PRELIMINARE: CONDIZIONI DI LAVORO DI UN CONTATORE A SCINTILLAZIONE**

### **Introduzione**

Questa esperienza preliminare ha lo scopo di farvi conoscere alcuni degli strumenti base utilizzati in questo laboratorio.

L'esperienza consiste nel mettere a punto un sistema di contatori a scintillatore plastico, utilizzandoli per la rivelazione di particelle ionizzanti (principalmente muoni) di provenienza cosmica.

### **Istruzioni**

1. Utilizzando l'alimentatore di alta tensione fornito nella vostra postazione, alimentare uno dei fotomoltiplicatori (PMT) a una tensione intermedia nell'intervallo consigliato dal produttore. Fate riferimento alla documentazione dell'alimentatore che avete a disposizione, per quel che riguarda il metodo di regolazione e monitoraggio della tensione di alimentazione, e le precauzioni di sicurezza. Se presenti, verificate che i limitatori di tensione e corrente siano correttamente regolati. Alimentate quindi il vostro PMT, e verificate che la corrente consumata sia nei limiti previsti. Soprattutto fate molta attenzione a non entrare in contatto con l'alta tensione (HV) !

[occorre fornire documentazione dei fototubi e degli scintillatori]

2. Collegare l'uscita del PMT all'oscilloscopio, mediante un cavetto di tipo LEMO[vedi], e utilizzate una terminazione adeguata in fondo alla linea. Questo e' importante perche' si tratta di segnali "veloci", di durata cioe' comparabile o minore al tempo di propagazione lungo il cavo, che percio' va considerato a tutti gli effetti una "linea di trasmissione" (se non vi e' chiaro che cosa significa, questo e' un buon momento per ripassare le nozioni base sull'argomento, date nei corsi precedenti). Va quindi terminato con un carico resistivo uguale all'impedenza caratteristica della linea. Si noti che gli ingressi dell'oscilloscopio hanno impedenze molto maggiori, e quindi sono ignorabili in questo contesto.

- 
3. Osservare il segnale di uscita all'oscilloscopio, utilizzando un trigger di fronte sul segnale stesso. Il segnale di un PMT come sapete e' negativo, essendo dovuto a una cascata di elettroni, per cui va triggerato sul fronte di discesa. Il segnale appare come ve lo aspettate ? Annotatene forma, ampiezza, e durata. Controllate e riportatene anche la frequenza media che ne da' l'oscilloscopio (in seguito la misureremo con metodi indipendenti). Stimatene la quantita' di energia rilasciata nel vostro scintillatore da una particella ionizzante al minimo, e confrontatela con la quantita' tipica di energia EM dell'impulso che state osservando - qual'e' l'ordine di grandezza del fattore di amplificazione che ha subito il segnale ? [N.B. il fattore di amplificazione del PMT e' assai piu' grande di questo, perche' una frazione significativa del segnale viene dispersa sotto altre forme prima ancora di raggiungere il fotocatodo].

Provate controllare cosa succede variando il valore della tensione di alimentazione del PMT. Confrontate i valori che trovate con quelli che vi aspettate per un rivelatore di questo tipo.

4. Per molti tipi di misure risulta conveniente semplificare la complessa informazione temporale analogica fornita dal rivelatore, riassumendola in un semplice segnale che indica la presenza (o assenza) di un impulso a un certo istante. A questo scopo si utilizza un dispositivo ("discriminatore") atto a riconoscere l'arrivo di un impulso tramite un criterio molto semplice: il superamento di una certa soglia in tensione (scelta dallo sperimentatore). Quando questo succede, il discriminatore produce in uscita un impulso rettangolare, di una certa ampiezza e durata, che e' indipendente dalla forma e ampiezza dell'impulso in ingresso. In genere, l'ampiezza e' standardizzata (es. livello logico NIM), mentre la durata puo' essere regolabile dall'utente. Il discriminatore si puo' considerare come un convertitore (di tipo molto semplice) di segnali *analogici* in segnali *digitali*. I discriminatori di tipo NIM possono essere molto veloci, con la capacita' di rivelare impulsi molto brevi producendo uscite con ritardi di pochi ns rispetto all'input, e sono di uso comune in fisica nucleare e subnucleare.

Familiarizzatevi con la documentazione del discriminatore a vostra disposizione, quindi collegate l'uscita del vostro PMT ad uno degli ingressi, stando attenti a utilizzare la corretta impedenza di terminazione (controllate le specifiche del vostro strumento), e osservate all'oscilloscopio in contemporanea i segnali di ingresso e di uscita. State attenti alle lunghezze dei cavi e

---

a quello che fate per dividere il segnale in due: ricordatevi che avete a che fare con delle linee di trasmissione a impedenza definita.

Osservate all'oscilloscopio il ritardo, il jitter, la ampiezza e durata del segnale del discriminatore, e verificate che riuscite a regolare la durata agendo sui controlli opportuni. Fate attenzione ad agire con delicatezza quando dovete regolare con il cacciavite delle viti incassate nel pannello, perché è facile romperle con una manovra affrettata. Verificate che variare la soglia ha l'effetto che vi aspettate, e confrontate il valore di soglia che potete desumere dai segnali visti all'oscilloscopio, con quello letto (tramite un tester) sul test-point dello strumento. Verificate che lo strumento si comporti in tutto e per tutto secondo le vostre aspettative. Quindi regolate la durata dell'impulso di uscita in modo appropriato. Segnali di breve durata sono in linea di principio desiderabili per evitare di "perdere" eventuali segnali immediatamente successivi (producendo così un *dead time*), e per non diluire la buona risoluzione temporale dei segnali dello scintillatore; d'altra parte è chiaro che non è molto utile avere segnali di durata comparabile all'incertezza temporale intrinseca introdotta dal jitter, e inoltre bisogna stare attenti che non si abbiano "ripartenze", cioè produzione di impulsi doppi o multipli a seguito di un singolo segnale del PMT. Annotate le vostre osservazioni sulla relazione.

5. Si possono compiere molti esperimenti rilevanti (e storicamente ce ne sono stati), basandosi unicamente su misure di conteggio della frequenza temporale dei segnali ("Counting experiments"). A questo scopo si utilizza uno strumento apposito: il *contatore* (o "scaler"). Tipicamente è uno strumento con più di un input, che permette di contare gli impulsi (digitali) che vengono presentati all'ingresso. Dei pulsanti o inputs aggiuntivi permettono di far partire, fermare, e azzerare il conteggio. In genere si ha anche un generatore di onda quadra a frequenza fissata, che si può usare come riferimento, per stabilire intervalli di tempo voluti. Controllate le caratteristiche di ingresso richieste dallo strumento che avete a disposizione, e che siano compatibili con le caratteristiche del vostro discriminatore, e con la durata che avete scelto per il segnale discriminato.

Utilizzate quindi il vostro contatore per misurare la frequenza delle scariche del vostro rivelatore a scintillazione, dopo averle selezionate tramite il discriminatore. Confrontatela con i valori che leggete direttamente dal-


---

l'oscilloscopio. Controllate anche l'accuratezza della frequenza nominale fornita dallo strumento.

Riflettete su per quanto tempo e' necessario acquisire dati per misurare la frequenza con una certa precisione voluta. Se ripetete piu' volte la misura, quale distribuzione di probabilita' dovrebbero avere i conteggi ? Se non siete sicuri, questo puo' essere un buon momento per ripassare alcune nozioni base di probabilita' apprese nei corsi precedenti.

6. Verificate, ripetendo piu' volte la misura, se la frequenza di conteggio e' stabile entro gli errori, e se ha la distribuzione di probabilita' che vi aspettate. Una instabilita' eccessiva vi creerebbe delle difficolta' nell'eseguire le misure che seguono. E' sempre possibile che ci sia una certa dipendenza dalla temperatura; di conseguenza puo' anche darsi che occorra un certo tempo dopo l'accensione della alimentazione per raggiungere condizioni stabili. Controllate.

Controllate anche l'eventuale sensibilita' alla luce ambientale. Questa potrebbe indicare la presenza di fori o danneggiamenti dell'involucro protettivo dello scintillatore, a cui e' opportuno rimediare prima di procedere con i passi successivi.

- 
7. Fissate ora una soglia di discriminazione adeguata in base alle osservazioni fatte in precedenza, e misurate il tasso di conteggi del contatore in funzione della tensione di alimentazione (una soglia dell'ordine di 100mV dovrebbe essere una scelta adeguata per questo scopo). La distribuzione mostra un *plateau* ?

Confrontate i valori ottenuti con l'ordine di grandezza che vi aspettate per il tasso di particelle cosmiche ionizzanti attraverso il vostro scintillatore. I risultati dovrebbero mostrare in modo evidente che, nella maggior parte dei casi, una notevole frazione degli impulsi che osservate non e' dovuta al passaggio di reali particelle attraverso il rivelatore, ma bensì a rumore casuale. Spiegate.

Lo scopo dei prossimi passi sara' di mettere in evidenza la componente proveniente da particelle reali, separandola dal rumore di fondo, e di misurare quantitativamente le prestazioni dei vostri contatori.

8. Lo strumento concettuale fondamentale che useremo per il riconoscimento dei segnali dal fondo e' quello di *coincidenza temporale*. Utilizzando due

---

scintillatori vicini, posizionati in modo che una particella che ne attraversa uno attraversi con alta probabilit  anche l'altro, si possono rivelare due segnali pressoch  simultanei prodotti dalla stessa particella.

A questo scopo procuratevi un modulo di coincidenza (o un modulo di logica programmabile) e studiatene le modalit  d'uso e le caratteristiche dei segnali richiesti. In particolare verificate che la polarit , intervallo di tensione, impedenza degli ingressi e durata degli impulsi discriminati siano compatibili; altrimenti effettuate gli aggiustamenti necessari.

Preparate ora i due contatori + discriminatori con una procedura simile a quella descritta pi  sopra per un contatore singolo. Occorre scegliere valori di alimentazione e soglia di discriminazione che assicurino una efficienza di rivelazione ragionevolmente alta, ma evitando che le coincidenze casuali siano cos  frequenti da oscurare il segnale delle particelle vere. A questo scopo, calcolate la frequenza di coincidenze casuali aspettate in funzione dei tassi di conteggio dei vostri contatori, e regolate alimentazioni e soglie in modo che questa sia significativamente pi  bassa della frequenza dei veri segnali che vi aspettate, gi  stimata in precedenza.

9. A questo punto, utilizzando due tracce dell'oscilloscopio, visualizzate simultaneamente i segnali discriminati dei due contatori. Puo' darsi che riusciate a vedere delle coppie di impulsi simultanei. Tuttavia, data l'alta frequenza di segnali casuali questo puo' non essere affatto facile, e inoltre a causa della presenza di ritardi non controllabili di varia origine, i segnali prodotti da una singola particella non necessariamente arrivano precisamente allo stesso tempo. Occorre perci  procedere alla cosiddetta "messa in tempo" dei due contatori.

Inviare i segnali dei due contatori al modulo di coincidenza, e tracciate la "curva di cavo", riportando il tasso di coincidenze in funzione del tempo di ritardo relativo dei due segnali, che potrete variare utilizzando una *delay unit* regolabile, inserita sul cammino di uno dei due segnali di ingresso alla coincidenza. (Durante queste misure   opportuno continuare a monitorare allo stesso tempo anche i tassi individuali dei due contatori, per verificare che non ci siano variazioni inattese)

Discutere forma, larghezza, e livelli assoluti della curva ottenuta. Il tasso di coincidenze casuali misurato concorda con quello che avevate previsto? Introducete ora i ritardi opportuni in modo che i due contatori siano "in tempo", e annotate i valori trovati per futura referenza. Eseguite ora le misure e

i calcoli necessari per determinare la percentuale di coincidenze casuali rispetto a quelle "reali" - dovute cioè al passaggio di una particella ionizzante attraverso i due rivelatori.

A questo punto dovrete essere in grado di affermare di aver osservato il passaggio di particelle reali attraverso i vostri rivelatori !

10. Per i passi successivi e' opportuno, anche se non strettamente indispensabile, far si' che la percentuale di coincidenze casuali sia piccola (diciamo inferiore al 1%), . Operate perciò ora una nuova regolazione dei parametri dei contatori, allo scopo di massimizzare il rapporto Segnale/Fondo di ciascuno di essi. Realizzate i grafici di tale rapporto, e della frequenza totale di conteggi, in funzione di soglia e alimentazione di ciascun contatore. Notate che non e' possibile con i dati a vostra disposizione determinare gli effettivi rapporti Segnale/Fondo, ma solo il loro andamento a meno di una costante moltiplicativa - questo e' tuttavia sufficiente per determinarne il massimo.

11. Procederemo ora alla determinazione *assoluta* di efficienza e background di un contatore.

A questo scopo, e' necessario l'uso simultaneo di TRE contatori. Utilizzate una coppia preparata come sopra, e mettete la sua coincidenza "in tempo" con un terzo contatore che usa settaggi "ragionevoli".

Variando ora solamente le condizioni del terzo contatore, determinarne la curva di efficienza assoluta e il tasso di fondo casuale in funzione della tensione di alimentazione e della soglia di discriminazione. Prestare attenzione al numero assoluto di conteggi e al relativo errore. Determinate infine anche il reale tasso di particelle cosmiche che attraversano il vostro sistema, che avete in precedenza soltanto stimato.

Discutere la misura e le scelte utilizzate per effettuarla.