

Laboratorio di Interazioni Fondamentali

Irene Celestino

October 2022

Contents

1	Prima Lezione in Lab (18/10/2022)	2
1.1	Rivelatore raggi cosmici	2
1.2	Oscilloscopio	2
1.3	Segnale in uscita da fotomoltiplicatore	3
1.4	Moduli di discriminazione, coincidenza, conteggio	3
1.4.1	Unità di discriminazione	3
1.4.2	Modulo di coincidenza	4
1.5	Contatori	4
2	Caratteristiche Apparato Sperimentale per Raggi Cosmici	5
2.1	Rivelatori di Raggi Cosmici	5
3	Logbook Esperienza 1 (27/10/2022)	6
3.1	Setup spento	6
3.2	Primo PM	6
3.3	Discriminatore	7
3.4	Conteggi con PM5 e PM4	8
3.5	Unità di coincidenza	9
4	Logbook Esperienza 1 (3/11/2022)	10
4.1	Cose da sistemare nei punti precedenti	10
4.2	Conteggi in singola con PM5 e PM4	10
4.3	Unità di coincidenza	11
4.4	Stima dell'efficienza	11
4.4.1	Cambio solo dell'alimentazione di PM5	11

1 Prima Lezione in Lab (18/10/2022)

1.1 Rivelatore raggi cosmici

Scintillatori Il rivelatore è messo in alto: 3 scintillatori plastici a sandwich uno sopra l'altro

Luce scintillatori convogliata a 3 fotomoltiplicatori cilindrici.

Fotomoltiplicatori Fotomoltiplicatore: fotocatodo dietro a vetro, con vuoto molto spinto, con dopo dinodi.

Su fondo fotomoltiplicatori 2 cavi: 1 alimentazione e 1 con segnale.

Sistema di acquisizione: materiale plastico scintillante, circa ... fotoni ogni 1 MeV g cm²

Tutto schermato con pannelli neri che schermano la luce ambientale

Cavi coassiali Per collegare si usano cavi coassiali circondati da materiale plastico scuro, con connettori Lemo a "baionetta" (non BNC), cilindro mobile e se si tira dietro dentini si ritraggono e si stacca: vanno staccati tirando cilindro metallico.

Nota: cavo coassiale ha ritardo introdotto da propagazione segnale (e ha resistenza interna di 50 Ohm).

Cosa succede a cavo dopo che è passato il segnale: quando passa, trasportata energia elettromagnetica $E^2\epsilon_0/2$ e $B^2/2\mu_0$.

Energia al termine del cavo andrebbe direttamente in resistenza/impedenza dopo se i cavi vengono correttamente terminati, cioè con resistenza di ingresso uguale a resistenza interna del cavo di 50 Ohm.

1.2 Oscilloscopio

Controllo della scala e del campionamento

1. sensibilità del canale in ingresso, a seconda dell'ampiezza del segnale (scala verticale)
2. Scala orizzontale: regola sensibilità temporale
3. Frequenza di campionamento: numero di misure prese per unità di tempo

Esempio Segnale campionato ad es con 2.5e9 campioni/s (2.5 Gsample/s): scala orizzontale 2.00 ns/div, lunghezza segnale 1000 punti

Vediamo 20 ns ogni qualche frazione di secondo: oscilloscopio decide quali istanti di tempo farci vedere, deciso in base al trigger: confronta segnale in uscita da fotomoltiplicatori con tensione di riferimento -i. Oscilloscopio riceve 4 segnali e li confronta con segnale di riferimento

Proviamo a mandare forma d'onda in ingresso: è stabile in ingresso, ma tensione oscilla leggermente perché sistema di acquisizione ha fluttuazioni

Riflessioni nel cavo coassiale Proviamo a vedere con oscilloscopio segnale se si prende poca energia da cavo, cioè collegando parte di cavo a osc e lasciando la fine del cavo libera e impostando resistenza di ingresso osc a 1 MOhm: dopo segnale sono presenti segnali spuri successivi (picchetti di tensione): riflessioni successive di impulso in ingresso dentro il cavo
Soluzione: mettere resistenza di 50 Ohm al termine della linea, così non c'è più la riflessione del cavo

Tempo morto Trigger ha frequenza con cui viene attivato e mostra segnale (ad es 100 kHz ora), quindi c'è un tempo morto in cui non si mostra niente

Modalità oscilloscopio

- Singola sweep, così si vede solo un'attivazione trigger
- Persistenza: forme d'onda precedenti non vengono cancellate ma messe una sopra l'altra

1.3 Segnale in uscita da fotomoltiplicatore

Fotomoltiplicatore spento: si vede rumore em che viene dall'ambiente, oscilla intorno a 0: impulsi di rumore, permettono di misurare ampiezza picco picco: si vede su scala di 1 mV/div un segnale di ampiezza circa 6 mV

Accendiamo fotomoltiplicatori: prima alimentatore - può erogare 4 tensioni, regolare tensioni, impostare corrente max e pendenza rampa accensione segnale
Tensione: 1450 V con pendenza di 100 V al secondo
Segnale fotomoltiplicatori è negativo (elettroni)

Prima il fotomoltiplicatore in alto

Scala temporale conta: a 20 μ s/div il segnale sembra piatto: riduciamo scala temporale. Si vedono impulsi con ampiezza oltre i 15 mV \gg rumore

Se si riduce ampiezza di trigger, frequenza segnali diminuisce

Vogliamo capire se è un evento, cioè passa particella dall'alto in basso: accendiamo anche fotomoltiplicatore in basso

Cerchiamo sincronia dei due segnali: se entrambi scattano in una divisione, in 20 ns, probabilmente è successo qualcosa. Nota: il trigger è settato solo sul fotomoltiplicatore in alto, con condizione che il primo canale superi con pendenza negativa la soglia di -90 mV

A volte solo il primo scatta, gli altri morti

1.4 Moduli di discriminazione, coincidenza, conteggio

1.4.1 Unità di discriminazione

Serve ad automatizzare il conteggio degli eventi - si fa con il modulo (ruotare sempre vite quando si inserisce, sennò scappa via).

Segnale in ingresso Va collegato un ingresso del discriminatore al fotomoltiplicatore e l'uscita all'oscilloscopio con impedenza in ingresso di 50 ohm (oppure se non vogliamo vederlo comunque va messa resistenza di 50 ohm).

Segnale di confronto e segnale in uscita C'è un potenziometro che permette di regolare tensione di confronto (manopola, con accanto ingresso che può essere misurato con puntale di un voltmetro)

Se comparatore è a -28 mV, se segnale è sotto il -28 mV il comparatore fa qualcosa in uscita: colleghiamo uscita a oscilloscopio: è picco come segnale in ingresso, solo molto più ampio: -850 mV di max

Segnale in uscita è sempre uguale se ingresso supera i -28 mV

Segnale in uscita è sempre un pelo dopo quello in ingresso (perché discriminatore ha ritardo)

Coincidenze accidentali A volte in uscita ci sono più impulsi uno dopo l'altro, ad es se segnale attraversa la soglia più volte in stesso picco (magari segnale in ingresso va giù, poi risale poco e risale subito giù: così comparatore dà due picchi separati)

Trigger attivato a -28 mV con frequenza di 300 Hz: è impossibile che passino due particelle contemporaneamente in stessa time division (di circa 4 ns): questi picchi non sono passaggio contemporaneo di più particelle, ma sono dovuti a fluttuazioni del segnale di una singola particella

1.4.2 Modulo di coincidenza

Ha 5 ingressi, dà segnale in uscita che fa capire se succedono cose in coincidenza nei vari ingressi (che possono essere ognuno attivato o disattivato con levetta on/off).

Gli ingressi devono essere del tipo: 0 se non succede nulla, segnale (circa -800 mV) se succede qualcosa: si mandano i segnali in uscita da unità di discriminazione

Visualizzazione con l'oscilloscopio Vediamo in oscilloscopio i 3 segnali dai 3 fotomoltiplicatori e la coincidenza tra 1 e 3: si vede che tutto scatta a parte il 2 segnale dello scintillatore nel mezzo: a volte particelle passando in zone in cui efficienza del secondo scintillatore è minore (magari è vecchio)

1.5 Contatori

Mandiamo segnale discriminato dei vari scintillatori ognuno in uno dei 5 ingressi di un contatore, che ha accanto display che dice numero di secondi tra un conteggio e l'altro, oppure conta eventi in intervallo temporale start-stop regolato a mano (ultimo contatore legato a segnale di clock: dice dopo quanti conteggi del segnale di clock fermarsi)

Si vedono conteggi in singola dei tre singoli fotomoltiplicatori e anche uscita della coincidenza (tra 1 e 3 circa 1.9 conteggi per secondo, mentre tra 1,2 e 3 circa 0.7

conteggi al secondo: stima brutale di efficienza del secondo fotomoltiplicatore è di 7/19)

Soglia dei discriminatori L'ampiezza del segnale non è sempre la stessa: Non tutte le particelle hanno lo stesso $\beta\gamma$ né la stessa traiettoria, quindi rilasciano quantità diverse di energia/lunghezza e anche percorrono lunghezze diverse nello scintillatore

Riduciamo ora le soglie per il discriminatore del primo e terzo scintillatore: a 90 mV per il primo e per il terzo: ci aspettiamo un rate del primo e del terzo diminuito rispetto a prima, mentre rate del secondo da solo no (4375 in 20 s prima e 4266 dopo)

90 mV troppo basso: aumentiamo un po' perché non si vedono eventi: ora 50 mV : coincidenza 1-3 è 4/20 s, mentre 1-2-3 è 3/20 s: ora efficienza sembra 3/4, aumentata

Incertezza su tempi si possono confrontare misure di tempo tra due contatori, mandando in ingresso a entrambi stesso segnale di frequenza nota e vedendo quanti conteggi fanno ognuno del segnale in ingresso nello stesso tempo: con 100 kHz in 10s, il primo 999944 e il secondo 999915: errore di circa qualche decina di ppm. Un clock ha frequenza maggiore dell'altro e su oscilloscopio se uno fermo l'altro si muove

Esperienza individuale: segnali fotomoltiplicatori, vedere rate conteggi in singola a soglia fissata come cambiano con alimentazione...

2 Caratteristiche Apparato Sperimentale per Raggi Cosmici

2.1 Rivelatori di Raggi Cosmici

Caratteristiche degli scintillatori

- Scintillatori Plastici: Materiale
- Risoluzione Temporale
- Spettro della risposta luminosa

Caratteristiche dei fotomoltiplicatori

- Alimentazione :..... (ordine di 1000-2000 V)
- Durata del segnale temporale: (ordine di 10-20 ns)
- Gain: (ordine di $10^4 - 10^7$)

- Il segnale in uscita è un picco di tensione negativa di ampiezza dell'ordine di -10 mV (ampiezza cambia con V alimentazione)

Osservazione del segnale all'oscilloscopio

- Bisogna impostare una soglia di trigger sul segnale del PM tale che la frequenza di trigger sia dell'ordine di 100 Hz:
- Frequenza di trigger vuol dire che si hanno in media 100 eventi/secondo, con evento = passaggio di raggio cosmico che fa scendere tensione sotto soglia

3 Logbook Esperienza 1 (27/10/2022)

3.1 Setup spento

I PM che devo usare sono PM7-PM5-PM4 (i primi tre più alti)

Tensioni si controllano da GECO software 2020, ci sono 3 pannelli di controllo ognuno per un alimentatore - alimentatori collegati a PM con cavo rosso

Cavo nero invece è del segnale: 50 Ohm di impedenza interna + 6 ns di ritardo. Cavi neri arrivano al rack e c'è una presa con numero PM

Accendo il RACK con una levetta ON/OFF e accendo oscilloscopio.

Collego con una T (adattatore BNC per una T con doppio ingresso LEMO) al CH1 dell'oscilloscopio e da una parte metto un tappo da 50 Ohm e dall'altra un cavo collegato al PM7.

Setting Oscilloscopio:

- CH1 ha 20 mV/div di scala verticale
- scala orizzontale 25.0 ns/div
- trigger sorgente CH1, slope falling, soglia -40 mV, mode Normal

Prima di accendere i PM, il CH1 è morto a 0.

3.2 Primo PM

Accendo il fotomoltiplicatore 7: devo trovare prima il datasheet: Datasheet Fotomoltiplicatore7

Dalla curva del guadagno si vede una tensione di alimentazione tra 0.8 e 2.0 kV.

Prove di alimentazione

- Metto per iniziare l'alimentatore a 1100 V: non si vede niente, frequenza di trigger è sotto i 10 Hz

- a 1600 V vedo ogni tanto un picco ma frequenza è ancora sotto i 10 Hz
- a 1700 V frequenza tra 10 e 30 Hz
- a 1750 V frequenza tra 80 e 130 hz
- a 1770 V frequenza tra 120 e 200 Hz

Nota sul segnale: è un picco verso il basso, della durata di circa mezza divisione temporale (sui 10 ns) con ampiezza variabile in generale sopra le 3 divisioni (sopra i 60 mV).

Dopo il picco principale ci sono un paio di picchettini alti circa 1/4-1/5 div che probabilmente sono dovuti alla riflessione nel cavo coassiale (ho terminato bene, ma non sono esattamente 50 Ohm)

Fisso alimentazione a 1750 V. Ora provo a cambiare soglia: si passa da circa 100 Hz a -40mV a 800-900 Hz a -10 mV.

Le fluttuazioni aumentano all'aumentare della soglia, perché un po' è dovuto al fatto che raggi cosmici non hanno frequenza fissata (ma sono poissoniani) e un po' perché più la soglia aumenta più si considera il rumore.

GRAFICO SOGLIA VS FREQUENZA DI TRIGGER

3.3 Discriminatore

Ora connetto PM7 a in discriminatore e a oscilloscopio. Uso due cavi corti con ritardo 2 ns: il segnale arriva dopo 4 ns all'oscilloscopio

Si vede ancora il segnale nell'oscilloscopio: metto soglia trigger a -40 mV.

Ora connetto CH2 oscilloscopio a uscita discriminatore (sempre con T e con 50 Ohm). Scala verticale: 200 mV division

Segnale discriminatore è ampio 5 divisioni (cioè 1000 mV) sempre della stessa ampiezza, nonostante il segnale del PM5 abbia sempre ampiezze diverse.

Durata temporale: circa 30 ns per il picco grosso verso il basso, poi fa un paio di picchettini dopo più piccoli

Fermo il segnale in una singola acquisizione:

- Minimo di CH1: -79.2 mV
- Minimo di CH2: -1.06 V
- durata di CH1: 17 ns
- durata di CH2: 33 ns
- tempo a cui CH1 è a metà in discesa: -2.00 ns a CH1 a -35.2 mV
- tempo a cui CH2 è a metà in discesa: 14.2 ns a CH1 a -35.2 mV

Stima brutale ritardo introdotto dal discriminatore: 16 ns se considero tempo a metà (però errore sui tempi piccolo perché forma d'onda è ripida)
In questo caso non devo considerare il ritardo introdotto dai fili perché è lo stesso per CH1 e CH2 (2 ns)
Ritardo catena cavo+discriminatore = 18 ns
Ritardo solo discriminatore = 16 ns

Soglia e durata del discriminatore La soglia per ora era a -50 mV: si ruota con levetta e si misura con voltmetro nel buchino rosso sotto la levetta. La durata del segnale invece si modifica con il cacciavite WDT.

Ho cambiato la soglia fino a -100 mV, e così si vede a volte segnale discriminato e a volte no. Messa a -40.2 mV.

La durata del segnale invece l'ho messa a 50 ns

Contatore NIM Messa soglia discriminatore a -40.2 mV, stessa del trigger impostato su CH1 dell'oscilloscopio.

Ho cambiato i cavi che collegano in e out discriminatore a CH1 e CH2 dell'oscilloscopio mettendoli a 3 ns.

Nota: ho usato un cavo da 3 ns veramente brutto che distorceva completamente il segnale di CH1

Collego ora OUT del discriminatore a IN5 del contatore con cavo da 3 ns (senza terminazione da 50 Ohm - sennò fa riflessione e conta due volte! solo su IN1 però, su IN5 no)

Il clock è a 100 MHz. Imposto in automatico 10000 conteggi di clock, cioè 10s.

Confronto frequenza di trigger e numero conteggi Alimentazione 1750 V.

- Vthr oscilloscopio -40 mV su CH1: frequenza di trigger tra i 30 e i 40 Hz, mentre numero di conteggi è 162.3/s: le due frequenze sono lontane perché i -40 mV del discriminatore e i -40 mV del trigger sono diversi
- scelgo come soglia di CH1 dell'oscilloscopio la tensione "limite" per CH2, cioè quella per cui a volte CH2 è morto (così questa è stessa soglia del discriminatore): -21.6 mV . a questa soglia la frequenza di trigger è in media 140-150 Hz, più vicina a quella del contatore

Misura della frequenza di trigger/numero di conteggi al variare dell'alimentazione
GRAFICO Variato tra 1600 e 1975 V

Ora torno al primo con alimentazione 1730 V

3.4 Conteggi con PM5 e PM4

QUESTI CONTEGGI VANNO RIVISTI: NON AVEVO TERMINATO GLI INGRESSI

devo terminare tutto per bene e settare le alimentazioni a modo

Setting di discriminatori - CH 1 2 e 4

- CH1 discriminatore collegato a PM 7
- soglia CH1: -40.0 mV
- durata CH2: 50 ns
- alimentazione PM7: 1730 V con conteggio di 102.8 cps
- CH2 discriminatore collegato a PM 5
- soglia CH2: -40.3 mV
- durata CH2: 50 ns
- alimentazione 2: 1670 V
- CH4 discriminatore collegato a PM 4
- soglia CH4: -40.0 mV
- durata CH4: 50 ns
- alimentazione PM4: 1730 V con conteggio di 102.8 cps

Con queste alimentazioni ho frequenze di circa 500 Hz: riduco le alimentazioni.
NOTA: Perché non ho terminato per bene gli ingressi non collegati all'oscilloscopio PM7 e PM4 con alimentazione 1680 V, mentre PM5 con alimentazione 1580 V. In questo modo ho frequenze di circa 130 Hz su tutti e tre.

Noto che il PM5 ha bisogno di alimentazione minore per avere lo stesso numero di conteggi degli altri due.

3.5 Unità di coincidenza

Collegata uscita di 1 e 2 all'unità di coincidenza 1 e collegata uscita a contatore (ingresso 1)

Cavi usati:

- Discriminatore PM7 - in coincidenza: 2 ns
- Discriminatore PM5 - in coincidenza: 2 ns
- LIN-oscilloscopio: 4ns
- Discriminatore PM7-CH1 oscilloscopio: 2ns
- Discriminatore Pm5-CH2 oscilloscopio: 2ns

Così ritardo su oscilloscopio è proprio ritardo di unità di coincidenza Vedo a oscilloscopio:

- CH1: uscita discriminatore PM7 (collegata con cavo 2ns) - scala 200 mV
- CH2: uscita discriminatore PM5 (collegata con cavo 2ns) - scala 200 mV
- CH4: uscita LIN unità di coincidenza (cavo 4ns) - scala 5.0V

Misuro differenza di tempo tra quando CH1 è a metà e coincidenza è a metà:

- Minimo di CH1: -992 mV
- Minimo di CH2: -912 mV
- Minimo di CH4: -8,40 V
- $t_{1/2}$ di CH1: 6 ns
- $t_{1/2}$ di CH2: 0.7 ns
- $t_{1/2}$ di CH4: 15 ns

Stima del ritardo dell'unità di coincidenza: $15 \text{ ns} - 6 \text{ ns} = 9 \text{ ns}$

4 Logbook Esperienza 1 (3/11/2022)

4.1 Cose da sistemare nei punti precedenti

- Acquisire forme d'onda di fotomoltiplicatore e discriminatore e unità di coincidenza (LIN e OUT)
- TERMINARE BENE GLI INGRESSI DEL DISCRIMINATORE e settare alimentazioni dei tre fotomoltiplicatori per avere frequenze vicine a 100 Hz
- misurare conteggi in doppia/tripla variando tutte e tre le alimentazioni insieme, solo quella del secondo e solo quella del primo/terzo

4.2 Conteggi in singola con PM5 e PM4

Rivedo conteggi rispetto all'altra volta in cui non avevo terminato bene i cavi
Setting di alimentazioidiscriminatori - CH 1 2 e 4

- CH1 discriminatore collegato a PM 7
- soglia CH1: -40.0 mV
- durata CH2: 50 ns
- alimentazione PM7: 1740 V con conteggio di 122 cps
- CH2 discriminatore collegato a PM 5

- soglia CH2: -40.3 mV
- durata CH2: 50 ns
- alimentazione 2: 1685 V con conteggio di 144 cps
- CH4 discriminatore collegato a PM 4
- soglia CH4: -40.0 mV
- durata CH4: 50 ns
- alimentazione PM4: 1670 V con conteggio di 134 cps

4.3 Unità di coincidenza

Immagini/dati

- TEK0000: CH1 discr1, CH2 discr2, CH4 uscita LIN
- ALL0000: CH1 discr1, CH2 discr2, CH4 uscita LIN
- ALL0001: CH1 PM5 ad alimentazione 1900 V
- ALL0002: CH1 PM5 ad alimentazione 1695 V
- ALL0003: CH1 PM5 ad alimentazione 1710 V, CH4 uscita OUT

4.4 Stima dell'efficienza

4.4.1 Cambio solo dell'alimentazione di PM5

Ho impostato la prima unità di coincidenza per calcolare 1&3 e la seconda per 1&2&3, variando l'alimentazione di PM5 e basta, tenendo le altre fisse a 1740 V (PM7) e 1670 V (PM4).

Ho attivato per ogni alimentazione l'unità di coincidenza per 100s e misurato i tre conteggi in singola, il conteggio 1&3 e la coincidenza tripla 1&2&3.

Nota sull'ultima misura ad alimentazione 1900V: il segnale di PM5 diventa molto rumoroso e quindi con la soglia a -40 mV scatta non solo quando ho il segnale vero e proprio ma anche quando ci sono fluttuazioni di rumore. Ho acquisito una misura il ALL2 in cui CH1 è PM5, CH2 è discriminatore 2 e CH4 l'uscita della coincidenza 1&2 in cui si vede proprio questo effetto.

In effetti, nell'ultima misura i conteggi in singola sono molto aumentati rispetto ai casi precedenti, perché ci sono conteggi anche non dovuti al segnale. Si dovrebbe alzare la soglia, ma tanto conta la coincidenza per stimare l'efficienza.