

Esperienza con rivelatori HPGe e NaI(Tl) con
sorgenti di radiazione gamma

Contents

1	Valutazione di rischio da radiazioni	4
2	Programma di acquisizione	4
3	Parte I: misure con l'HPGe	4
3.1	Accensione dell'HPGe	4
3.2	Ottimizzazione dell'HPGe	5
3.2.1	Scelta della tensione di polarizzazione V_{bias}	5
3.2.2	Forma del segnale in uscita dal rivelatore	5
3.2.3	Scelta della formatura	5
3.2.4	Forma del segnale in uscita dal formatore	6
3.3	Caratterizzazione della catena di lettura del segnale	6
3.3.1	Calibrazione energetica	6
3.3.2	Risoluzione vs. Energia e Fattore di Fano	6
3.3.3	Controllo per eventuali derive temporali	7
3.3.4	Curva di efficienza	7
3.4	Attenuazione dei raggi gamma in diversi materiali	7
4	Parte II: Misure con l'NaI(Tl)	8
4.1	Accensione dell'NaI(Tl)	8
4.2	Ottimizzazione dell'NaI(Tl)	9
4.2.1	Scelta della tensione di alimentazione V_{bias}	9
4.3	Caratterizzazione della catena di lettura	9
4.3.1	Forma del segnale	9
4.3.2	Calibrazione energetica	10
4.3.3	Controllo per eventuali derive temporali	10
4.3.4	Curva di efficienza	10
5	Parte III: Misure di coincidenza HPGe–NaI(Tl)	10
5.1	Correlazione angolare tra γ_1 e γ_2 emessi da ^{22}Na	10
5.1.1	Coincidenza del rivelatore <i>trigger</i> con se stesso	11
5.1.2	Coincidenza tra HPGe e NaI(Tl)	12
5.2	Correlazione angolare tra γ_1 e γ_2 emessi da ^{60}Co	12
5.2.1	Coincidenza del rivelatore <i>trigger</i> con se stesso	13
5.2.2	Coincidenza tra HPGe e NaI(Tl)	13

Abstract

In questa esperienza si lavorerà con due tipi differenti di rivelatori: rivelatore a semiconduttore al germanio **HPGe**, e rivelatore a scintillazione inorganico **NaI(Tl)**. Nella prima parte si caratterizza ed ottimizza il rivelatore HPGe e si fanno studi di interazione della radiazione gamma con la materia, utilizzando diverse sorgenti. Nella seconda parte si caratterizza ed ottimizza il rivelatore NaI(Tl). Nella terza parte si utilizza la tecnica di coincidenza tra i due rivelatori, per effettuare misure di fisica nucleare, andando a studiare correlazioni angolari in emissione di due gamma da sorgenti di ^{22}Na e di ^{60}Co .

WARNINGS

- Usare come alimentatore per l'HPGe quello con la protezione di **shutdown**;
- Il rivelatore HPGe v'è acceso **molto lentamente**: per portarlo alla tensione di lavoro dovrete impiegare **circa un'ora**;
- Una volta acceso **non spegnerlo più** per tutti i 4 mesi di laboratorio.

PREMESSA

Basi fondamentali per qualunque misura di fisica sperimentale sono:

- conoscerne lo scopo;
- conoscere le basi fisiche;
- farsi un'idea di come effettuare la misura e di quali strumenti possono essere necessari (rivelatore e catena elettronica di lettura del segnale);
- farsi un'idea di come funzionano gli strumenti che si utilizzeranno, chiedendosi prima di tutto che tipo di segnale/i vogliono in ingresso e che segnale/i rilasciano in uscita (analogico, digitale NIM/TTL). Guardare i manuali;
- ove possibile, prima di far partire la misura, **servirsi dell'oscilloscopio per osservare si segnali** e fare considerazioni preliminari;
- effettuare la misura, prendendo nota di tutte le grandezze che possono servire nell'analisi dei dati successiva;

- analizzare i dati, cercando confronti con previsioni e servendosi di grafici, eventualmente da fittare se esistono relazioni note a priori di cui si vogliono trovare i parametri;
- trarre conclusioni qualitative e quantitative.

1 Valutazione di rischio da radiazioni

Durante il laboratorio utilizzerete diverse sorgenti di radiazione. Provate a valutare, partendo dall'attività nota delle varie sorgenti che userete, a quale dose complessiva potrete essere esposti. Valutate anche eventuali accorgimenti per ridurla.

2 Programma di acquisizione

L'acquisizione è operata dal modulo **CAEN N957**.

Il programma per avviare l'acquisizione è **N957Demo** che produce in uscita il file *histo.dat*, ovvero un file di testo che riporta il contenuto di ciascun bin. Questo file costituirà quindi il dato da salvare e da analizzare per ciascuna misura, sviluppando programmi:

- per la visualizzazione del relativo spettro energetico;
- per l'analisi del medesimo (posizione, area, risoluzione energetica dei vari picchi).

3 Parte I: misure con l'HPGe

3.1 Accensione dell'HPGe

Il rivelatore HPGe dovrebbe essere già freddo, e quindi pronto per essere utilizzato. È uno strumento delicato, come tutti i rivelatori, e quindi non si può improvvisare. Avete a disposizione i vari manuali, usateli. Dopo che avete in mente cosa fare, prima di farlo, chiedete conferma, per non danneggiare il rivelatore con mosse sbagliate. Le seguenti domande possono darvi suggerimenti.

SUGGERIMENTI:

1. Che tensione di alimentazione devo fornirgli? Positiva/negativa? Quanto?
2. Con cosa lo alimento (leggere il manuale dello strumento)? Che procedura devo seguire per accenderlo?
3. Che altri cavi ci sono in uscita dal rivelatore? Servono?

4. Posso guardare il segnale di uscita? come?
5. Il rivelatore ha bisogno di un preamplificatore?

Una volta impostato tutto quello che serve per accenderlo e per guardarne il segnale, chiedete conferma, e poi accendetelo.

3.2 Ottimizzazione dell'HPGe

3.2.1 Scelta della tensione di polarizzazione V_{bias}

Esiste una tensione di lavoro ottimale, che non è necessariamente uguale a quella scritta sul rivelatore.

1. Su cosa influisce la tensione di alimentazione? Quali sono i parametri che vanno ottimizzati?
2. Che misure posso fare per trovare la V_{bias} ottimale?

Svolgere misure specifiche e trovare la tensione di lavoro ottimale, che userete poi per tutto lo svolgimento dell'esperienza. Questa scelta influenzerà la qualità di tutte le misure successive.

3.2.2 Forma del segnale in uscita dal rivelatore

Osservate il segnale in uscita dal rivelatore:

- Che segnale sto osservando e come me lo aspetto?
- Quanto valgono t_{rise} e t_{decay} ? A cosa sono legati?

3.2.3 Scelta della formatura

Questo punto è molto importante perchè vi permette di migliorare ulteriormente la qualità delle vostre misure. Dovrete aggiungere alla vostra catena di lettura del segnale un formatore (leggere il manuale) e scegliere i parametri in modo da:

1. riuscire a vedere nel vostro spettro energetico anche i raggi di più alta energia che analizzerete (che energia hanno?);
2. sfruttare tutta la dinamica del vostro ADC (cosa significa?);
3. ridurre il contributo del rumore elettronico alla risoluzione energetica.

Quali sono i parametri del formatore che influenzano i tre punti sopra? Esiste una relazione nota tra la risoluzione energetica e i parametri del formatore?

Svolgere misure e analizzarle per trovare la formatura ottimale. Che sorgente di impulsi è meglio usare per poter isolare la sola componente elettronica alla risoluzione?

Una volta terminata questa parte, fissare i parametri del formatore a quelli ritenuti ottimali.

3.2.4 Forma del segnale in uscita dal formatore

Osservate il segnale in uscita dal formatore.

- Vi aspettate che sia diverso da quello che avete osservato prima?
- Quanto valgono ora t_{rise} e t_{decay} ? A cosa sono legati?

3.3 Caratterizzazione della catena di lettura del segnale

3.3.1 Calibrazione energetica

- Cosa riporta sull'asse x lo spettro misurato?
- Come potete fare per legare questa grandezza a quella fisicamente rilevante, ovvero l'energia rivelata?

Svolgere misure e analizzarle per valutare la relazione tra la grandezza osservata nello spettro acquisito (CH) e l'energia (E), utilizzando quante più coppie (CH,E) possibile (ci sono più sorgenti a disposizione). Esistono righe aggiuntive (ad esempio dovute alla radioattività ambientale) che potete utilizzare?

*Al termine di questo punto avrete trovato la **curva di calibrazione**, che, in teoria, dovrebbe rimanere la stessa per tutte le misure successive.*

ATTENZIONE: questo è vero se non cambierete tensione di alimentazione e formatura, e ammesso che il guadagno del sistema rimanga stabile nel tempo. Dal momento che **il sistema potrebbe non essere stabile**, verificate rapidamente ogni volta che riterrete necessario se questa condizione sia verificata!

3.3.2 Risoluzione vs. Energia e Fattore di Fano

La risoluzione energetica è un parametro fondamentale per misure di spettroscopia. Non è un parametro costante con l'energia, e in essa entrano in gioco diverse componenti, che hanno andamenti con l'energia differenti tra loro.

- Quali sono le varie componenti della risoluzione energetica?

- Che andamento hanno con l'energia?
- Cos'è il Fattore di Fano?
- Quanto vale il Fattore di Fano per il germanio?

Svolgere misure e analizzarle per trovare il Fattore di Fano del germanio, e verificare se è in accordo con le aspettative. Dall'analisi delle medesime misure chiedersi se si evidenzia la predominanza di una componente sulla risoluzione.

3.3.3 Controllo per eventuali derive temporali

La presenza di eventuali derive nel tempo del segnale va verificata per tenere conto sulla valutazione di eventuali sistematiche e per apportare correzioni alle misure.

Svolgere misure e analizzarle per verificare la presenza di derive temporali su scale di tempi dell'ordine di qualche giorno. Provare a trovare motivazioni ed eventuali soluzioni se possibile. Tenerne conto nell'analisi delle varie misure.

3.3.4 Curva di efficienza

La capacità del rivelatore di assorbire tutta l'energia di una particella dipende dalla sua energia, e questo aspetto inevitabilmente influenza i risultati delle misure.

Svolgere misure e analizzarle per trovare la curva di efficienza del rivelatore.

3.4 Attenuazione dei raggi gamma in diversi materiali

I raggi gamma interagiscono con la materia che attraversano, e questo comporta un'attenuazione dell'intensità della radiazione che raggiunge il rivelatore, posto oltre il materiale. L'attenuazione dipende dal materiale (ρ , Z) e dall'energia del raggio. In laboratorio avete a disposizione un baker per l'acqua e dei dischi di rame e di piombo.

Rispondere alle seguenti domande (per i punti 3,4,5 verificare ANCHE con misure):

1. Che tipo di interazioni fanno i raggi gamma con la materia?
2. Come si definisce (formula) il coefficiente di attenuazione μ di un raggio gamma in un dato materiale?

3. Qual è il coefficiente di attenuazione in acqua, rame, piombo?
4. Che relazione c'è tra μ e la sezione d'urto σ di interazione?
5. È possibile ricavare in qualcuna delle misure la sezione d'urto Compton? E quella fotoelettrica? Se sì, farlo.

Svolgere misure usando come materiali acqua, rame e piombo, e **analizzarle** per ricavare l'andamento di:

1. $\mu(E)$, $\mu(\rho)$, $\mu(Z)$;
2. $\sigma(E)$, confrontare con le attese;
3. $\sigma_{Compton}$ e/o σ_{PE} ove possibile;
4. $\sigma(Z)$, confrontare con le attese.

ATTENZIONE: dal momento che dovete fare misure di rate (ovvero intensità/tempo – perchè?), e quindi dovete valutare l'area delle righe nello spettro, verificate se esistono altri contributi alle righe che scegliete (ad esempio ambientali, o da contaminazioni dei materiali che fraponete tra la sorgente ed il rivelatore...) e pensate a se e come queste possono influenzare la vostra misura e se potete tenerne conto.

OSSERVAZIONE: il rate della riga di radioattività ambientale del ^{40}K cambia aggiungendo materiale tra la sorgente ed il rivelatore?

4 Parte II: Misure con l'NaI(Tl)

In questa parte utilizzerete un rivelatore a scintillazione inorganico NaI(Tl) da 4", letto tramite un PMT e collegato ad un amplificatore Amp&SCA (capirete poi perchè). Guardatevi i principi di funzionamento (Knoll) ed il manuale dei vari strumenti.

4.1 Accensione dell'NaI(Tl)

Provate a farvi un'idea di come accenderlo, e, prima di farlo, chiedete conferma, per non danneggiare il rivelatore con mosse sbagliate. Le seguenti domande possono darvi suggerimenti.

1. Che tensione di alimentazione devo fornirgli? Positiva/negativa? Quanto?
2. Con cosa lo alimento (leggere il manuale dello strumento)? Che procedura devo seguire per accenderlo?

3. Che altri cavi ci sono in uscita dal rivelatore? Servono?
4. Posso guardare il segnale di uscita? come?
5. Il rivelatore ha bisogno di un preamplificatore esterno?

Una volta impostato tutto quello che serve per accenderlo e per guardarne il segnale, chiedete conferma, e poi accendetelo.

4.2 Ottimizzazione dell'NaI(Tl)

Per utilizzare al massimo delle sue potenzialità questo strumento per misure di spettroscopia, v'è scelta una tensione di alimentazione ottimale.

4.2.1 Scelta della tensione di alimentazione V_{bias}

Per scegliere V_{bias} ottimale vanno svolte alcune misure, provate a pensare quali. Le seguenti domande vi possono aiutare.

- Perché la V_{bias} influisce sulle prestazioni del rivelatore?
- Su quali parametri in particolare?

Una volta scelta la tensione ottimale, impostare anche l'amplificatore in modo ottimale (in modo anche da non doverlo più cambiare in seguito).

4.3 Caratterizzazione della catena di lettura

Da quali strumenti è costituita la catena di lettura? Provate a fare uno schema...

4.3.1 Forma del segnale

Potete osservare la forma del segnale in punti diversi della catena di lettura.

1. In quanti e quali punti?
2. Che differenza vi aspettate tra i vari segnali?
3. Osservateli e prendete nota dei loro tempi t_{rise} e t_{decay} . Gli andamenti tornano con le aspettative?

4.3.2 Calibrazione energetica

Anche questo rivelatore (+ la catena di lettura) hanno bisogno di una calibrazione, per poter assegnare la corrispondenza tra CH ed Energia. Seguite un procedimento analogo a quello usato per l'HPGe per trovare la curva di calibrazione.

OSSERVAZIONE: osservando gli spettri di calibrazione dei due rivelatori, che considerazioni potete fare? Quale dei due è più indicato per misure di spettroscopia accurate?

4.3.3 Controllo per eventuali derive temporali

La presenza di eventuali derive nel tempo del segnale va verificata per tenerne conto sulla valutazione di eventuali sistematiche e per apportare correzioni alle misure.

Svolgere misure e analizzarle per verificare la presenza di derive temporali su scale di tempi dell'ordine di qualche giorno. Provare a trovare motivazioni ed eventuali soluzioni se possibile. Tenerne conto nell'analisi delle varie misure.

4.3.4 Curva di efficienza

La capacità del rivelatore di assorbire tutta l'energia di una particella dipende dalla sua energia, e questo aspetto inevitabilmente influenza i risultati delle misure.

Svolgere misure e analizzarle per trovare la curva di efficienza del rivelatore.

5 Parte III: Misure di coincidenza HPGe–NaI(Tl)

5.1 Correlazione angolare tra γ_1 e γ_2 emessi da ^{22}Na

Scopo: verifica della correlazione angolare tra i due gamma emessi nell'annichilazione del positrone prodotto nel decadimento β^+ del ^{22}Na . Fate qualche ricerca per capire:

- In cosa consiste il decadimento β^+ del ^{22}Na (in cosa decade, cosa emette);

- in cosa consiste l'annichilazione del positrone e che energia hanno i due γ emessi;
- che correlazione angolare vi aspettate tra i due γ .

Provate ora a pensare come dovrebbe essere impostata una misura per tale verifica sperimentale, sfruttando la coincidenza tra un HPGe e un NaI(Tl), e tenendo conto della loro differenza di prestazioni. Andranno utilizzati i due rivelatori *in coincidenza* per catturare i due gamma emessi in simultanea e osservare, al variare dell'angolo, quanti ne arrivano.

SUGGERIMENTI:

- È necessario che comprendiate bene il funzionamento dell'Amp&SCA e dell'MCA, ovvero cosa vi permettono di fare e come. Leggetene i manuali.
- Convieni muovere entrambi i rivelatori o lasciarne uno fisso e muovere l'altro?
- Quale rivelatore conviene usare per valutare l'intensità del picco (spettroscopia) e quale per fare la selezione della coincidenza (*trigger*)? Pensate alle diverse prestazioni...
- Cosa significa "selezionare" la coincidenza?
- Con che strumento addizionale (da mettere nella catena di lettura di uno dei due rivelatori) posso farlo?
- Che potenzialità dell'MCA posso utilizzare per questa misura?

Fatevi uno schema della procedura e della catena di lettura e poi chiedete conferma.

5.1.1 Coincidenza del rivelatore *trigger* con se stesso

Lo **scopo** di questo punto è selezionare col rivelatore *trigger* la finestra energetica corrispondente al segnale che si vuole usare per "triggerare" la coincidenza. In questo modo, nel punto successivo, il gate aprirà l'acquisizione del secondo rivelatore solo quando il primo avrà rivelato un segnale con l'energia che avete selezionato. La finestra energetica, una volta impostata, non dovrà più essere cambiata fino alla misura con ^{60}Co . Tutte le operazioni da fare qui riguardano solo il ramo di catena relativo al rivelatore *trigger*. Sfruttare al meglio la dinamica scegliendo un gain opportuno.

ATTENZIONE: quando si parla di misure di "coincidenza" il tempo di acquisizione dei due segnali cercati è fondamentale. I due γ sono emessi in

simultanea, ma **le catene di elettronica possono introdurre ritardi**. Per altro i ritardi possono essere **diversi se osservati all'oscilloscopio o quando si passa attraverso il gate dell'MCA**.

Vi consiglio quindi, prima di tutto, di farvi un'idea preliminare della situazione e di eventuali accorgimenti da adottare osservando i due segnali all'oscilloscopio, ma di ottimizzare in modo fine la simultaneità controllando che la posizione del picco selezionato nello spettro non cambi. Se la sincronia tra il segnale di gate e quello da acquisire non è perfetta, succederà infatti che quest'ultimo verrà acquisito in modo non ottimale, e quindi la sua ampiezza sarà valutata in modo non corretto, causando uno spostamento del picco nello spettro).

5.1.2 Coincidenza tra HPGe e NaI(Tl)

Ora che avete impostato la catena di lettura del rivelatore *trigger* tale che apra il gate solo in corrispondenza della finestra energetica selezionata, siete pronti ad impostare la **coincidenza col secondo rivelatore**.

ATTENZIONE: anche qui la **sincronia dei segnali è fondamentale** e le impostazioni/accorgimenti potrebbero essere diversi da prima, visto che si utilizza un secondo rivelatore con un suo ramo di catena elettronica, e quindi i ritardi potrebbero essere diversi. Potrebbe rendersi necessario utilizzare strumenti addizionali per manipolare i tempi....Quali? Come funzionano?

OSSERVAZIONE: una volta che l'MCA apre il gate, siete sicuri che il segnale acquisito dal secondo rivelatore sia solo quello voluto? Esiste possibilità di spurie? Mettete in atto eventuali accorgimenti e in seguito, osservando lo spettro acquisito, fate considerazioni ed eventuali correzioni.

Effettuare serie di misure a diversi angoli ed analizzarle per:

- verificare se la correlazione angolare osservata torna con quella attesa;
- ricavare l'andamento della risoluzione angolare.

5.2 Correlazione angolare tra γ_1 e γ_2 emessi da ^{60}Co

Scopo:

1. verifica della correlazione angolare tra i due gamma emessi nell'annichilazione del positrone prodotto nel decadimento β^- del ^{60}Co ;
2. cercare di capire quali sono gli stati di spin coinvolti.

Fate qualche ricerca per capire:

- in cosa consiste il decadimento β^- del ^{60}Co (in cosa decade, cosa emette);
- cosa riporta la letteratura circa gli stati di spin coinvolti [Phys. Rev.78, 1950, F.L.Brady and M.Deutsh] ;
- che correlazione angolare vi aspettate tra i due γ .

5.2.1 Coincidenza del rivelatore *trigger* con se stesso

Procedere in maniera analoga alla misura con ^{22}Na , scegliendo il segnale su cui si vuole “triggerare” la coincidenza, e il sfruttando al meglio la dinamica scegliendo un gain opportuno per l’amplificatore.

5.2.2 Coincidenza tra HPGe e NaI(Tl)

Procedere in modo analogo alla misura con ^{22}Na .

Svolgere misure ed analizzarle per verificare la correlazione angolare e per trovare gli stati di spin coinvolti nel decadimento.

SUGGERIMENTI: l’analisi di queste misure richiede di apportare alcune correzioni. Per valutare quali siano necessarie chiedersi:

- lo spettro misurato evidenzia l’esistenza di coincidenze spurie? Come potete tenerne conto?
- ci possono essere state derive temporali durante la misura? Cosa comportano? Come potete tenerne conto?
- la risoluzione angolare può peggiorare la qualità delle misure? Come potete tenerne conto nel confronto con i vari modelli per ricavare gli stati di spin?