

Laboratorio di Fisica delle Interazioni Fondamentali
Università di Pisa

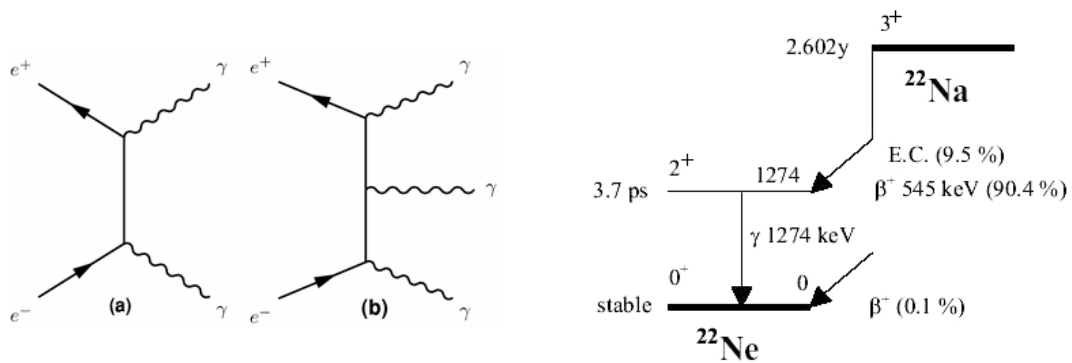
ANNICHILAZIONE DEL POSITRONE

Introduzione

Vari nuclidi radioattivi subiscono il cosiddetto decadimento β^+ , in cui viene emesso un positrone, rappresentando così una sorgente di antimateria facilmente accessibile in laboratorio. Quando un positrone interagisce con la materia, viene prima frenato, quindi annichila nell'interazione con un elettrone della materia ordinaria, producendo fotoni (γ). Il modo con cui questo avviene dipende dall'ambiente circostante, e può passare per uno stato legato intermedio (positronio), e infine produrre 2 o più fotoni nello stato finale.

Questo particolare fenomeno, noto ormai da decenni, è tuttora oggetto di interesse in alcuni laboratori di ricerca ai fini di eseguire tests di QED e ricerca di possibili effetti di “nuova fisica”. Ha inoltre applicazioni nell'indagine della struttura di materiali speciali, e nella diagnosi medica tramite immagini (Positron-Emission Tomography).

In questa esperienza si utilizza una sorgente di ^{22}Na (vedi schema) e degli scintillatori inorganici (NaI), per misurare le caratteristiche energetiche e temporali dei fotoni γ emessi dalla annichilazione di positroni.



Principali obiettivi da raggiungere

1. Osservare la annichilazione positrone-elettrone in 2 fotoni.
2. Misurare la massa del positrone con la massima precisione raggiungibile con l'apparato.
3. Misurare la probabilità relativa dei decadimenti in 3 fotoni $\text{BR}(3\gamma)/\text{BR}(2\gamma)$ e ricavarne una misura della costante di struttura fine α_{EM}
4. Misurare la distribuzione del ritardo temporale tra l'emissione del positrone e la sua annichilazione, per evidenziare la possibile presenza di una componente a vita media non nulla (in relazione al materiale in cui avviene il processo).

Apparato sperimentale

- Sistema di supporto della sorgente ^{22}Na ;
- Sorgenti di calibrazione mobili: ^{22}Na , ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{137}Cs ;
- 3 rivelatori di γ a scintillatore NaI.
- ADC veloce a 14 bit, 250 MS/s (CAEN N6725 a 8 canali)
- Alimentatori HV per i PMT;
- Moduli logici NIM vari: ritardi, coincidenze, timers, contatori.
- PC per l'acquisizione dei dati, dotato di un semplice software (WAVEDUMP) per acquisizione dall'ADC via interfaccia USB.

Procedure suggerite

0. Informatevi dal tecnico di laboratorio sulle procedure corrette da seguire per operare in sicurezza sul vostro apparato, e seguitene scrupolosamente le indicazioni;
1. Posizionate uno dei vostri rivelatori a NaI su un supporto stabile, quindi alimentate il fotomoltiplicatore, sulla base delle prescrizioni date dal tecnico di laboratorio, e visualizzate il segnale all'oscilloscopio. Vedete gli eventi di fondo ?
2. Ottenete dal tecnico la scatola delle sorgenti di calibrazione, seguendo le procedure apposite. Disponete una sorgente opportuna davanti al vostro rivelatore. Prestate sempre la massima attenzione a rispettare le necessarie precauzioni durante tutto il periodo in cui utilizzate sorgenti radioattive.
3. Osservate all'oscilloscopio il segnale di uscita del rivelatore, e verificate le caratteristiche temporali e la frequenza media. Confrontatele con le caratteristiche del modulo ADC a vostra disposizione (CAEN N6725, di cui avrete esaminato la documentazione prima di venire in laboratorio), e decidete se e' direttamente compatibile o se e' necessario qualche step intermedio (es. attenuazione del segnale, aggiustamento dei setting del ADC...).
4. Collegate il segnale del rivelatore a uno degli input del modulo ADC. Assicuratevi che il modulo sia in modalita' self-triggering, per cui possa sincronizzare l'acquisizione sui segnali di input senza l'ausilio di un segnale di trigger esterno. Avviate il software di acquisizione sul PC a vostra disposizione (di cui avrete letto la documentazione in anticipo). [usare 'wavedump' da terminale]. Se disponibile, utilizzate una funzione di visualizzazione per controllare in tempo reale che gli impulsi che avete visto all'oscilloscopio sino correttamente digitalizzati, entro il range dello strumento.
5. Una volta raggiunta la confidenza nella correttezza di tutti i settings, acquisite un campione di dimensioni ragionevoli, salvandolo su un file locale. Potete esportare il file anche su un dispositivo esterno a vostra scelta, per analizzarlo successivamente off-line.
6. I files acquisiti contengono, in corrispondenza di ogni evento rivelato dal trigger interno, una sequenza temporale di valori letti sui canali di ADC del modulo. Dovrete ora scrivere un programma software (con il sistema che preferite) che vi fornisca per ogni evento registrato una misura della energia totale rilasciata all'interno del cristallo NaI, e crearne poi degli istogrammi. Questo puo' essere fatto a diversi livelli di sofisticazione, e si raccomanda di iniziare con il metodo piu' semplice possibile, per ritornarci eventualmente solo in secondo tempo per raffinamenti. Il primo obiettivo deve essere quello di individuare correttamente lo spettro di una sorgente di calibrazione opportuna.

7. Raggiunto l'obiettivo del punto precedente, **utilizzerete delle prese dati eseguite con altre sorgenti a disposizione, in modo da misurare un numero sufficiente di picchi di riferimento, per poter calibrare con precisione la scala di energia e la risoluzione del vostro sistema di rivelazione.** Farete questo **per tutti i rivelatori NaI di cui avrete necessita'.**
8. Utilizzate **uno (o piu') dei rivelatori calibrati al punto precedente per ricavare uno spettro dettagliato delle emissioni del nuclide ^{22}Na , da una sorgente di calibrazione.** Verificate la presenza dei picchi attesi, e commentate le caratteristiche dello spettro nella relazione.
9. Realizzate ora un sistema per **acquisire simultaneamente due rivelatori in linea (a 180°) con il vostro ADC.** Fate in modo da poter operare **sia un trigger indipendente su ciascuno dei due, che un trigger sulla loro coincidenza temporale (entro limiti da stabilire).** Potete realizzare questo con i moduli NIM a disposizione, e **inviare poi il segnale al modulo ADC, che avrete predisposto per il funzionamento con trigger esterno.** Questo sistema puo' essere usato per varie delle misure che seguono.
10. Chiedete al tecnico di laboratorio di installare **nella postazione fissa la sorgente primaria di ^{22}Na .** Potete opzionalmente chiedere che vengano **inseriti anche campioni di specifici materiali nei quali intendete studiare il processo di annichilazione.**
11. Realizzate una prima **misura dell'energia dei fotoni emessi nella annichilazione, sfruttando i parametri di calibrazione precedentemente ottenuti.** Questa fornisce una **misura della energia totale del sistema che annichila, da cui potete dedurre una stima del valore della massa del positrone.** Confrontatela con il valore tabulato della massa dell'elettrone e discutete i risultati.
12. Ponetevi ora l'obiettivo di compiere una **misura della massa del positrone(/elettrone) con la massima precisione ottenibile dal vostro apparato.** Riflettete su quali **fattori possono influenzare maggiormente l'incertezza,** e trovate il modo di eliminarli o ridurli.
13. Uno dei fattori che possono influire sulla incertezza della misura del punto precedente e' la **'variabilita' della risposta dei rivelatori nel tempo.** Determinate se questo e' un fattore significativo nel vostro caso, e in caso affermativo trovate in modo di compensare queste variazioni e ottimizzare la precisione. Se vi sembra necessario, considerate anche la possibilita' **di organizzare la presa dati in modo da avere un riferimento di calibrazione continuo, che sia presente per tutta la durata della acquisizione.**
14. **Ci si aspetta che una certa frazione delle annichilazioni avvengano in tre fotoni anziche' due¹.** Realizzate una **configurazione sperimentale dei rivelatori** che vi permetta di cercare efficacemente per **l'evidenza di decadimenti in 3 fotoni.** Ponete attenzione alla **geometria, accettazione, e schermatura dei rivelatori.** Acquisite quindi dati in questa configurazione, piu' eventualmente **altre configurazioni di controllo in cui non vi aspettate segnale che possano servire per confronto.**
15. Misurate quindi il **rate di eventi con tre fotoni prodotti, o ponetevi un limite superiore.**
16. Se siete riusciti a rivelare il decadimento di cui al punto precedente, utilizzatelo per realizzare una misura della **costante di struttura fine α_{EM} piu' precisa che vi riesce.**
17. Estendete ora il vostro **programma di analisi** degli impulsi, in modo che determini anche il **tempo di arrivo del segnale oltre alla sua ampiezza.** Questo puo' essere fatto in una varietas di modi; di nuovo si suggerisce di iniziare con un metodo il piu' possibile semplice, rimandando eventuali raffinamenti ad una seconda fase. **Determinate la risoluzione temporale** che avete ottenuto.
18. Utilizzate ora il programma realizzato al punto precedente per **eseguire misure della differenza tra i tempi di arrivo dei due fotoni ricostruiti, e determinate cosi' la risoluzione temporale del vostro sistema, eventualmente ottimizzando l'algoritmo per massimizzarla.**

¹vedi ad esempio: A. Ore and J. L. Powell, Phys. Rev. 75, 1696

19. Utilizzate ora il programma realizzato al punto precedente per eseguire misure della differenza temporale tra il fotone emesso inizialmente dal ^{22}Ne e quelli prodotti dalla annichilazione del positrone. Scegliete la configurazione geometrica dei rivelatori che vi pare più vantaggiosa per questa misura. Discutete quindi i risultati ottenuti e il confronto con le vostre aspettative. C'è una dipendenza dal materiale in cui il positrone si annichila? C'è una dipendenza delle caratteristiche del decadimento dal tempo a cui avviene?