

Università degli Studi di Padova

RELAZIONE DI LABORATORIO: POSITRONIO

Laboratorio di fisica, primo anno LM

Davide Chiappara

Università di Padova, facoltà di fisica,
davide.chiappara@studenti.unipd.it
Matricola: 1153465

Ivan Di Terlizzi

Università di Padova, facoltà di fisica,
ivan.diterlizzi@studenti.unipd.it
Matricola: 1155188

Enrico Lusiani

Università di Padova, facoltà di fisica,
enrico.lusiani@studenti.unipd.it
Matricola: 1153399

Anno accademico 2016-2017

Sommario

La seguente è la relazione sull'esperimento di decadimento del positronio eseguito da Chiappara Davide, Di Terlizzi Ivan e Lusiani Enrico facenti parte del gruppo 8. I dati sono stati raccolti presso il laboratorio di fisica in via Loredan in data 14-15-16 Novembre 2016, e sono stati successivamente analizzati durante lo stesso anno accademico.

L'esperienza consiste nello studio del decadimento del positrone prodotto da un atomo di ^{22}Na con la produzione di orto-positronio o di para-positronio, andando a verificare il rapporto tra il decadimento a due fotoni e quello a tre fotoni e andando a misurare la distribuzione temporale degli eventi.

Indice

1	Esecuzione esperimento	1
2	Analisi dati	2
2.1	Analisi preliminare dei segnali	2
2.2	Calibrazione in energia dei rivelatori	3
2.3	Calibrazione in tempo del TAC	4
2.4	Decadimento a due o tre fotoni	8

1. Esecuzione esperimento

L'apparato strumentale consiste in quattro rivelatori a scintillazione NaI(Tl), di cui uno montato verticalmente sopra il supporto per la sorgente di ^{22}Na , e tre montati orizzontalmente su un goniometro a bracci che ne permette lo spostamento. Inoltre si ha accesso ad una serie di moduli elettronici (un amplificatore ad alto voltaggio, un fan in-out, un CFTD, uno shaping amplifier, una coincidence unit, un TAC, una delay unit e un modulo scaler rate). Per quanto riguarda l'acquisizione, si ha accesso ad un oscilloscopio e ad un ADC.

Il primo giorno ci si è focalizzati sullo studio dei segnali dei rivelatori e sulla calibrazione dell'apparato. Come prima cosa, si è visualizzato il segnale di goni rivelatore, separatamente, sull'oscilloscopio, e si è caratterizzato tale segnale misurandone le caratteristiche. Dopo aver preso nota di tali segnali si è collegato all'amplificatore il rivelatore, e si sono guardati i segnali ad oscilloscopio, riconoscendo quali di questi fossero associati a segnali del tipo fotone da 511 keV e quali invece fotone da 1275 keV. Per fare questo si è semplicemente utilizzato il rate indicato dall'oscilloscopio stesso in fase di visualizzazione del segnale. Infatti, alzando il trigger dell'oscilloscopio, si vedono solo i segnali più energetici, e quindi si vede il rate diminuire, questo ha permesso di vedere effettivamente quale fosse l'ampiezza caratteristica dei segnali associati ai diversi fotoni emessi dalla sorgente. Tale operazione è stata ripetuta per tutti e 4 i rivelatori per verificare che non ci fossero problemi di alcuna natura nella rivelazione dei fotoni emessi dal sodio. Dopo aver visualizzato i segnali in uscita dall'amplificatore si è voluto comprendere il funzionamento del CFTD: per farlo si è utilizzata un'uscita del fan in-out come input e si è visualizzata sull'oscilloscopio l'uscita prompt e, triggherando su di essa, l'uscita delayed, dopodiché si è visto il funzionamento dei vari micro-switch andando a modificarli e guardando il segnale all'oscilloscopio. Successivamente si è settata la soglia di tutti e quattro i rivelatori: per i tre rivelatori complanari (quindi i rivelatori 1, 2 e 3) si è impostata la soglia in modo da non vedere il rumore elettronico, mentre per il quarto rivelatore la soglia è stata impostata in modo da non vedere nemmeno il fotone da 511 keV. Per fare questo si è collegato all'oscilloscopio l'uscita amplificata del rivelatore, e si è triggherato il segnale sul segnale prompt del CFTD con input sempre un'uscita del rivelatore stesso. Andando a modificare un trimmer sul CFTD stesso si è potuto vedere come alzando la soglia scomparissero dal rivelatore via via i segnali meno energetici. Continuando ad agire su tale trimmer è stato possibile rimuovere il rumore elettronico per i tre rivelatori complanari e il fotone da 511 keV per il quarto (si era precedentemente riconosciuta l'ampiezza del segnale legato alla rivelazione di tale fotone). Una volta compreso il funzionamento dei vari moduli e impostata la soglia del CFTD in modo che potesse visualizzare il segnale a cui si è interessati, si è passati alla vera e propria calibrazione dei rivelatori. Per farlo si è attaccato il rivelatore in questione all'amplificatore e quest'ultimo al sistema di acquisizione digitale, e si è dato a tale sistema il trigger utilizzando l'uscita delayed del CFTD a cui è stato attaccato lo stesso rivelatore (per poter calibrare è stata abbassata la soglia di tutti i rivelatori precedentemente impostata, poi è stata ripristinata per le misure successive alla calibrazione). Fatto questo si sono cambiati i parametri dell'amplificatore in modo che i due fotopicchi fossero visualizzati il primo circa al canale 500 e il secondo circa al canale 1300. Dopo aver calibrato, è risultato più semplice agire sul trimmer per la regolazione della soglia del quarto rivelatore (infatti è stato sufficiente alzare la soglia fino alla scomparsa del primo fotopicco). Sistemate tutte le soglie come richiesto si è passati alla vera e propria presa dati che sono stati successivamente analizzati, e per preparare l'apparato si sono regolate le width in modo da essere circa di 100 ns e si sono messi i delay in modo che ci fosse sovrapposizione tra i segnali dei rivelatori 1 e 2 e ci fosse un ritardo di circa 20 ns tra il segnale del rivelatore 1 e quello del rivelatore 2. Successivamente si è verificata la coincidenza tra i segnali del rivelatore 1 e del rivelatore 3, e si è agito sui microswitch di quest'ultimo per fare in modo che questa fosse buona.

Durante la seconda sessione di laboratorio si sono presi i dati, sfruttando l'apparato sistemato e studiato durante la sessione precedente. Come prima cosa si è verificato che i rivelatori fossero nella configurazione 1, cioè con i rivelatori 1 e 2 collineari e il rivelatore 3 che forma un angolo di $\pi/3$ con il rivelatore 2. Fatto questo, si è collegata la prima uscita della coincidence unit (cioè quella che genera un segnale quando arrivano in coincidenza i segnali dal primo e dal secondo rivelatore al Master Gate del segnale di acquisizione. Poi, verificato che tutti i rivelatori fossero collegati all'ADC, si è preso un file di prova andando a vedere se effettivamente si sono visti solamente i picchi a 511 keV. Successivamente a questo si è calibrato il TAC, andando ad aggiungere i ritardi tramite l'apposita cassetta; poi si è passati alla vera e propria acquisizione dati. Come prima cosa si è posto il sistema nella configurazione a 180 gradi, cioè con due rivelatori collineari e il terzo che forma un angolo di 60 gradi con il secondo, e si è collegato il modulo scaler/rate per avere una visione il tempo reale del rate di acquisizione dei rivelatori. Per questa prima misura si è utilizzato come master trigger la coincidenza nel rivelatore 1 e nel rivelatore due, in modo che venissero registrati esclusivamente gli eventi in cui il positronio è decaduto lungo la linea formata dai rivelatori, e che poi si potessero selezionare via software i dati in cui il primo fotone da 1275 keV è entrato nel quarto rivelatore. Infine si è preparato il sistema per la misura del decadimento del positronio in tre fotoni (cioè con i tre rivelatori complanari distanziati da angoli di 120 gradi) e si è messo il master gate di acquisizione sulla coincidenza tra i tre rivelatori complanari. Tale misura è stata fatta per tutta la durata tra la seconda e la terza sessione (cioè per circa 20 ore).

Durante la terza sessione di laboratorio si sono prese le misure fisiche dei rivelatori (in particolare si è guardato il datasheet e si è misurata la distanza tra i rivelatori e la sorgente e le dimensioni fisiche dei rivelatori stessi, dopodiché si è presa un'ulteriore misura nel caso dei due rivelatori collineari e si è iniziata l'analisi dati.

2. Analisi dati

2.2.1 Analisi preliminare dei segnali

Come prima cosa si è voluto caratterizzare il segnale in uscita direttamente dai rivelatori, oppure dal fan in-out. Per fare ciò si sono semplicemente collegati all'oscilloscopio i rivelatori e si è preso nota delle caratteristiche del segnale stesso. I valori misurati sono riassunti nella Tabella 1. Tutti i segnali sono risultati di polarità negativa e si è misurata l'ampiezza di un segnale tipico, se ne è misurato il tempo di salita e il tempo di discesa (visti come i tempi impiegati dal segnale per raggiungere dal 10% al 90% dell'ampiezza massima e viceversa) e si è misurato il rumore utilizzando una latenza di 5 s per il segnale. Alle prime misure si è associato un errore calcolato come errore dati i parametri costruttivi dell'oscilloscopio, mentre al rumore non si è voluto associare un errore in quanto si è interessati solo all'entità di tale grandezza. Collegando tra il rivelatore il fan in-out non si è vista alcuna differenza sostanziale nei segnali visti. A scopo di semplice confronto dei rivelatori, si è voluto anche andare a leggere le ampiezze medie dei segnali in uscita dai rivelatori. Si è rivelato che, effettivamente, le ampiezze medie fossero tra loro molto vicine per i rivelatori 1, 2 e 4, mentre particolarmente basse per il rivelatore 3. Questo effetto è probabilmente conseguenza di effetti strumentali da imputare all'apparato stesso. Non si riportano i valori in quanto è stato fatto solamente un confronto qualitativo.

Andando a spostare il trigger dell'oscilloscopio è stato possibile andare ad identificare le ampiezze caratteristiche dei segnali associati ai due diversi fotoni emessi dalla sorgente di sodio. Alzando

Rivelatore	Ampiezza [mV]	Errore [mV]	tempo salita [ns]	Errore [ns]	tempo discesa [ns]	Errore [ns]	Rumore [mV]
1	103	2	33	2	524	6	1.6
2	152	3	34	2	528	6	1.3
3	33	1	34.8	0.6	480	6	1.2
4	84	2	35.6	0.6	480	6	1.4

Tabella 1: Misura preliminare dei segnali in uscita dai rivelatori

il trigger si è notato un primo abbassamento repentino nella rate appena si è superata la soglia del rumore elettronico, poi si è visto un secondo abbassamento repentino superando il fotopicco da 511 keV e un terzo abbassamento molto rapido superato il fotopicco a 1275 keV, dopo il quale il rate si attestava a qualche decina di Hertz, legati a fotoni di natura ambientale o cosmica.

2.2.2 Calibrazione in energia dei rivelatori

Successivamente si è passati alla vera e propria calibrazione dei quattro rivelatori che sono stati utilizzati, per effettuare la quale si è semplicemente fatta la regressione lineare dei centroidi dei fotopicchi rivelati tramite il programma di acquisizione. Nella Tabella 2 si possono vedere i valori dei parametri interpolanti ottenuti, mentre si rimanda alle appendici per vedere le singole interpolazioni.

Rivelatore	Centroide	Errore	Sigma	Errore
1	522.45	0.03	18.27	0.04
	1285.6	0.1	31.3	0.1
2	520.99	0.03	16.88	0.03
	1270.42	0.09	29.05	0.09
3	539.04	0.03	18.91	0.04
	1299.3	0.1	33.1	0.1
4	537.17	0.02	18.10	0.02
	1292.0	0.1	33.7	0.1

Tabella 2: Parametri dell'interpolazione dei singoli picchi degli spettri.

Partendo da questi dati è stato possibile andare a stimare i parametri di calibrazione m e q (dato che si conoscono solo due punti per i quali questa retta passa, non si è fatta una vera e propria interpolazione ma si sono calcolati i coefficienti delle rette passanti per tali punti, non si associa quindi alcun errore a queste grandezze, che comunque successivamente non verranno usate). I risultati si possono vedere nella Tabella 3.

Rivelatore	m [keV]	q [keV]
1	1.001	-12.02
2	1.019	-19.72
3	1.006	-31.69
4	1.012	-32.56

Tabella 3: Parametri di calibrazione dei rivelatori.

A scopo di presentare il lavoro fatto, nella Figura 1 si possono vedere gli spettri calibrati di tutti e quattro i rivelatori.

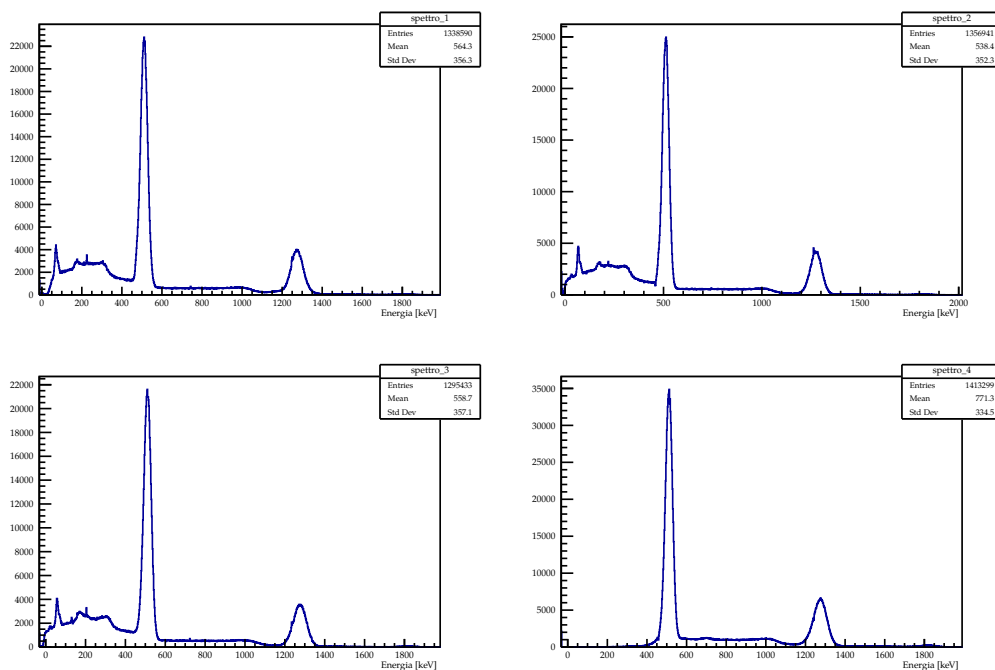


Figura 1: Gli spettri dei quattro rivelatori opportunamente calibrati

Poi si è preso un primo file di prove con le coincidenze, e si è visto che effettivamente si sono visti solamente i picchi a 511 keV. Questi spettri si possono vedere nella Figura 2. Effettivamente da questi spettri si vede che a meno di effetti ambientali si sono raccolti solamente i dati sul primo fotopico e la spalla Compton associata a tale picco.

2.2.3 Calibrazione in tempo del TAC

Successivamente si è passati alla calibrazione temporale del sistema di acquisizione, andando ad utilizzare la cassetta dei ritardi per vedere lo spostamento del segnale in uscita dal TAC al variare dei

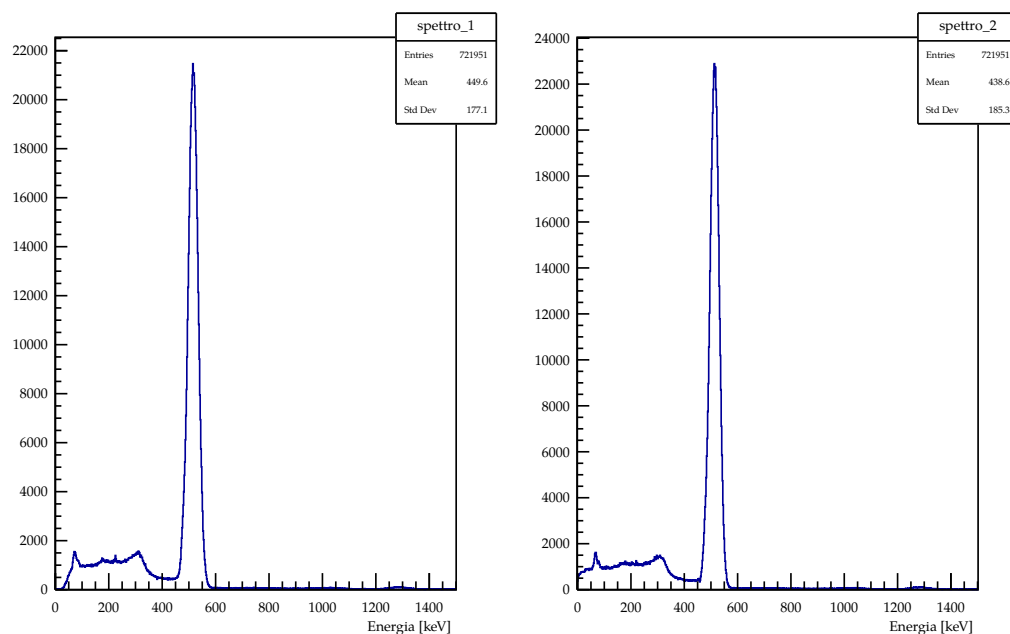


Figura 2: Prima prova della verifica della coincidenza con i due rivelatori collineari

ritardi inseriti. Sono stati fatti dei fit gaussiani del segnale in uscita dal TAC e tutti i grafici trovati si possono vedere nella Figura 3. Inoltre nella Tabella 4 si possono vedere i parametri interpolanti tali segnali al variare del ritardo introdotto.

Una volta noti i parametri delle gaussiane, con una regressione lineare, che si può vedere nel Grafico 4, si può andare a calibrare il sistema di acquisizione, andando a trovare i coefficienti di tale retta. I risultati sono:

$$m = 2.1256 \pm 0.0004$$

$$q = 311.220.03$$

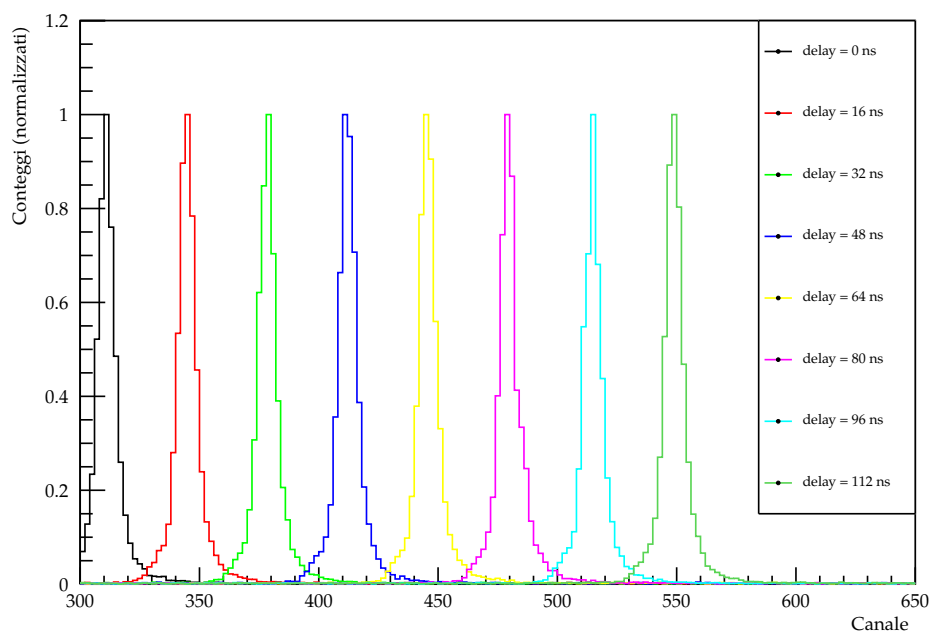


Figura 3: Gli spettri del TAC al variare del ritardo inserito

Ritardo	Centroide	Errore	Sigma	Errore
0	311.06	0.03	4.24	0.03
16	344.81	0.03	4.22	0.04
32	378.42	0.03	4.23	0.03
48	412.20	0.03	4.33	0.04
64	445.75	0.03	4.13	0.03
80	479.72	0.04	4.45	0.04
96	514.89	0.03	4.24	0.03
112	548.93	0.03	4.19	0.03

Tabella 4: Calibrazione in tempo del sistema di acquisizione.

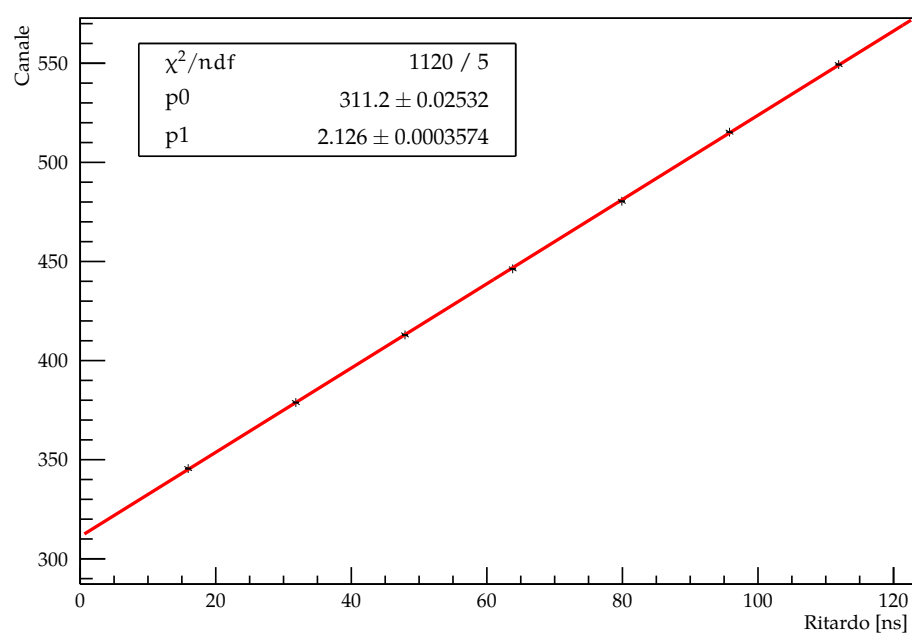


Figura 4: La calibrazione temporale del sistema di acquisizione

2.2.4 Decadimento a due o tre fotoni

Una volta calibrato tutto il sistema di acquisizione, si è arrivati al vero e proprio studio del positronio: in particolare si vuole misurare il rapporto tra il decadimento a due e a tre fotoni del positronio e la distribuzione temporale degli eventi.

Per studiare la probabilità di decadimento è stato sufficiente prendere i dati analizzati e considerare il dead time dei rivelatori: