

# Relazione di laboratorio: Esperienza 2. Scattering Compton

Andrea Marasciulli      Giacomo Petrillo      Roberto Ribatti

15 febbraio – 9 marzo 2018

## Sommario

Misuriamo la massa dell'elettrone attraverso la diffusione Compton dei fotopicchi del cobalto e lo studio delle corrispondenti spalle Compton.

## Indice

<b>1</b>	<b>Teoria</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Spettrometria <math>\gamma</math> con gli scintillatori</b>	<b>2</b>
2.1	Risposta del detector . . . . .	2
2.2	Efficienza . . . . .	3
2.3	Linearità . . . . .	3
2.4	Risoluzione . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Misura e analisi</b>	<b>3</b>
3.1	Punto di lavoro del PMT2 . . . . .	3
3.1.1	Circuito di misura . . . . .	3
3.1.2	Ricerca delle condizioni ottimali . . . . .	3
3.2	Scintillatore plastico . . . . .	3
3.2.1	Trigger . . . . .	4
3.2.2	Risultati . . . . .	4

# 1 Teoria

## 2 Spettrometria $\gamma$ con gli scintillatori

Un punto cruciale di questa esperienza è...

I principali meccanismi di interazione dei fotoni con la materia sono:

- scattering Rayleigh (detto anche scattering elastico);
- assorbimento fotoelettrico (detto anche scattering anelastico);
- scattering Compton;
- produzione di coppie.

Di questi, gli ultimi 3 sono i modi nel quale i fotoni sono rivelati. Gli scintillatori rivelano le particelle che gli attraversano producendo luce in funzione dell'energia rilasciata all'interno: t

La sezione d'urto di questi processi varia con l'energia dei fotoni e col numero atomico del materiale con cui interagiscono. Per qualsiasi numero atomico è vero che il processo predominante a basse energie ( $< 10$  keV) è l'assorbimento fotoelettrico mentre ad alte energie ( $< 100$  MeV) domina la produzione di coppie. Ad energie intermedie l'interazione principale è lo scattering Compton, il cui effetto diventa via via più importante al diminuire del numero atomico.

Il nostro rivelatore è un cristallo di NaI per il quale sono riportate le sezioni d'urto al variare dell'energia in ???. Come è chiaro dal grafico gli unici processi rilevanti nel range di energie di interesse ( $100$  keV  $\sim$   $1.5$  MeV) sono l'assorbimento fotoelettrico e lo scattering Compton.

**Assorbimento fotoelettrico** Il fotone incidente è completamente assorbito e ionizza l'atomo estraendo quindi un elettrone con energia cinetica pari a  $E_e = E_\gamma - E_b$  dove  $E_\gamma$  è l'energia del fotone incidente e  $E_b$  è l'energia di legame, solitamente piccola se paragonata a  $E_\gamma$ . Il risultato finale è una particella carica nello scintillatore con (praticamente) la stessa energia del fotone incidente.

**Scattering Rayleigh** Nello scattering Rayleigh l'intero atomo funge da bersaglio perciò dopo l'urto il fotone cambia direzione e l'atomo rincula per conservare il momento. Data la grande massa dell'atomo (rispetto all'energia del fotone) l'energia scambiata è trascurabile e il fotone uscente ha praticamente la stessa energia iniziale. E' chiaro quindi che i fotoni non potranno essere rivelati in uno scintillatore con questo meccanismo perché nessuna energia è stata rilasciata all'interno.

**Scattering Compton** Se il fotone è abbastanza energetico può urtare un singolo elettrone. Per fotoni di questo tipo l'energia di legame può essere trascurata e si può trattare l'elettrone come libero. Il risultato di questo scattering è

### 2.1 Risposta del detector

Se il detector fosse abbastanza esteso tutta l'energia dei fotoni, indipendentemente dalla complessità dell'interazione, verrebbe rilasciata nel rivelatore. Per una sorgente di fotoni ad una energia fissata, come potrebbe essere una sorgente di raggi  $\gamma^1$  come il Cs-137, lo spettro energetico prodotto da un tale scintillatore sarebbe un singolo fotopicco all'energia dei fotoni  $\gamma$  con una larghezza dovuta essenzialmente alla risoluzione dello strumento, come analizzeremo nel seguito.

Nel nostro caso disponiamo di un rivelatore  $2'' \times 2''$  e a partire dal noto grafico in FONTE che ci dà la lunghezza di radiazione al variare dell'energia del fotone in vari materiali e semplice calcolare che per il nostro rivelatore di NaI la lunghezza di radiazione vale  $\sim 5$  cm, quindi paragonabile alla dimensione del cristallo, ne segue che solo il  $\sim 60\%$  dei fotoni interagisce nel cristallo<sup>2</sup>, per cui l'approssimazione

<sup>1</sup>I raggi  $\gamma$  delle sorgenti radioattive hanno tipicamente larghezze  $\Gamma \ll 1$  eV e possono quindi considerarsi mono-energetici.

<sup>2</sup>E l'efficienza varia con l'energia come vedremo nel seguito

di detector esteso non è applicabile. Lo spettro prodotto sarà la somma di molti effetti:

- l'assorbimento fotoelettrico produrrà un fotopicco all'energia dei fotoni incidenti;
- i fotoni che fanno scattering Compton rilasceranno solo parte della loro energia producendo il caratteristico profilo...
- i fotoni che fanno scattering Compton sui materiali che circondano il detector possono tornare nello stesso producendo un picco, detto di backscattering nella regione a basse energie.
- spesso sarà visibile un picco all'energia caratteristica dei raggi X emessi dell'assorbitore, in questo caso gli atomi di sodio e iodio che costituiscono il rivelatore.

## 2.2 Efficienza

## 2.3 Linearità

Un rivelatore di radiazione ideale dovrebbe essere perfettamente lineare

## 2.4 Risoluzione

# 3 Misura e analisi

## 3.1 Punto di lavoro del PMT2

### 3.1.1 Circuito di misura

aggiungere disegno?

Analizziamo i segnali del PMT2 per trovare il miglior punto di lavoro per le nostre esigenze. Prendiamo l'uscita positiva preamplificata dalla base del PMT stesso e la colleghiamo ad un formatore che restituisce un segnale di forma simile ad una Gaussiana il cui picco è proporzionale all'energia immagazzinata. Questa è poi inviata ad un ADC a 13 bit che legge qualsiasi segnale superi una certa soglia interna.

Bisogna specificare che l'ADC in questione ha due modi di salvare le acquisizioni ed essi possono essere abilitati o disabilitati mediante un file di configurazione. Si può scegliere di salvare tutti i dati acquisiti in ordine di tempo in formato esadecimale<sup>3</sup> oppure avere un file di testo con 8192 righe in cui il numero scritto in ogni riga è l'occorrenza del relativo valore in *digit*<sup>4</sup>.

### 3.1.2 Ricerca delle condizioni ottimali

Facciamo questo test ponendo il PMT2 a varie distanze di fronte al collimatore. Ci accorgiamo, guardando l'istogramma, che è molto sensibile alle variazioni della tensione di alimentazione. Per esempio, passando da 600 V a 575 V, l'energia acquisita si dimezza. Portiamo il fotopicco del cobalto ad 1.33 MeV vicino al nostro fondoscala variando il guadagno del formatore in modo da poter analizzare il più ampio intervallo possibile di energia al di sotto di esso. Abbiamo operato questa scelta perché è il fotopicco più energetico rispetto alle altre sorgenti radioattive che useremo in seguito per calibrare il PMT2. Avendo esso una forma Gaussiana, abbiamo fatto in modo che la sua coda non finisse troppo vicina al fondoscala dell'ADC in modo da poterla fittare senza problemi. Dopo varie prove decidiamo di alimentare il PMT2 a 650 V.

sto supponendo che la descrizione dell'apparato sia stata fatta in una sezione precedente

ci contesteranno il verbo "fittare"?

## 3.2 Scintillatore plastico

Poniamo uno scintillatore plastico (PMT1) davanti alla sorgente in modo che i raggi  $\gamma$  dei fotopicchi possano interagire con gli elettroni della targhetta e subire scattering Compton. Guardiamo allora i segnali del PMT2 a vari angoli.

<sup>3</sup>Chiameremo questo file *log* come la sua estensione.

<sup>4</sup>Chiameremo questo file *istogramma* per non confonderlo con il precedente.

### 3.2.1 Trigger

Prima di esporre i risultati ottenuti, illustriamo il funzionamento del circuito adoperato.

Vogliamo acquisire i segnali ogni volta che l'uscita negativa di breve durata (qualche ns) del PMT2 supera una certa soglia. L'ampiezza tipica di questo segnale vale 20 mV, perciò deve essere amplificata per poter essere letta dal discriminatore a nostra disposizione che ha una soglia minima di 35 mV. Colleghiamo allora questa uscita ad un amplificatore 10x e mandiamo poi il segnale al solito discriminatore con soglia al minimo.

spero che gradiscano la notazione "10x"

Per registrare il segnale dobbiamo provvedere alla costruzione di un trigger per l'ADC che, come specificato dalla documentazione, deve partire almeno 200 ns prima del picco e deve terminare almeno 200 ns dopo. Usando l'oscilloscopio, ritardiamo il segnale del discriminatore e lo allunghiamo attraverso l'uso di un modulo **gate & delay** non retriggerabile. Scegliamo di farlo durare 500 ns prima e dopo il picco del formatore. Colleghiamo il cavo coassiale che trasmette l'uscita del formatore all'ingresso "gate" dell'ADC facendo un parallelo con un tappino da 50  $\Omega$  perché questo ingresso ha una impedenza alta e il nostro accorgimento evita la deformazione del segnale. Modifichiamo il file di configurazione in modo che l'ADC acquisisca soltanto quando il trigger è attivo. Notiamo che la soglia appena utilizzata elimina tutti i segnali inferiori ai 1000 digit.

dobbiamo misurarlo perché non c'è scritto nel logbook

### 3.2.2 Risultati

inserire grafici, misure e risultati dopo averli analizzati