

Laboratorio di Fisica delle Interazioni Fondamentali
Università di Pisa

DIFFUSIONE COMPTON

Introduzione

L'esperienza consiste nella misura della massa dell'elettrone m_e attraverso la misura dell'energia E' e dell'angolo del fotone diffuso θ nel processo di scattering Compton, attraverso la ben nota relazione

$$E' = \frac{E}{1 + \frac{E}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)}, \quad (1)$$

dove E è l'energia del fotone incidente. Si utilizza il nuclide ^{60}Co che decade per decadimento β negativo in ^{60}Ni . Il nucleo di ^{60}Ni eccitato decade poi verso uno stato stabile emettendo in cascata due raggi γ , con energie di circa 1.17 e 1.33 MeV, che vengono utilizzati per la misura facendoli diffondere da un bersaglio attivo costituito da un pezzo di scintillatore plastico.

Apparato sperimentale

- Sorgente di ^{60}Co (attività a Febbraio 1997 74 MBq), schermata in un contenitore di piombo con collimatore a sezione circolare.
- Scintillatore plastico disposto davanti al fascio di fotoni uscente dal collimatore, che svolge la funzione di bersaglio attivo in cui avviene la diffusione Compton. La luce prodotta all'interno dello scintillatore plastico viene letta per mezzo di un fotomoltiplicatore (PMT2).
- Rivelatore di fotoni orientabile in angolo, costituito da un cristallo cilindrico di scintillatore inorganico NaI, letto da un fotomoltiplicatore (Photomultiplier Base ORTEC 276) (PMT1). Il PMT1 fornisce due segnali di uscita su due connettori BNC distinti: la prima (PMT1a) fornisce un segnale positivo pre-amplificato a bassa impedenza ($Z_0 = 93\Omega$ dc-coupled) adatto alla misura dell'energia del fotone, mentre la seconda uscita (PMT1b) fornisce un segnale negativo (anodo) ad alta impedenza ($Z_0 = 1k\Omega$ ac-coupled) utile principalmente come segnale temporale.
- Amplificatore/Formatore (Tennelec TC-241) per adattare il segnale analogico di PMT1a all'acquisizione tramite multicanale (vedi sotto).
- Analizzatore multicanale (CAEN N957), contenente un ADC che misura l'ampiezza di picco del segnale al suo ingresso, quando questo supera una soglia prefissata o se viene fornito un segnale di gate sull'apposito connettore. Richiede un input positivo (0-10V) con tempo di salita minimo $0.1 \mu\text{s}$. Il segnale di gate può essere indifferentemente NIM o TTL, e deve precedere e seguire il picco del segnale per almeno 200 ns. Gli spettri raccolti possono essere salvati (in formato ASCII) per essere analizzati con il programma di propria scelta.
- Altre sorgenti radioattive a disposizione per la calibrazione del rivelatore e del sistema di lettura: ^{241}Am , ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{22}Na , ^{90}Sr .

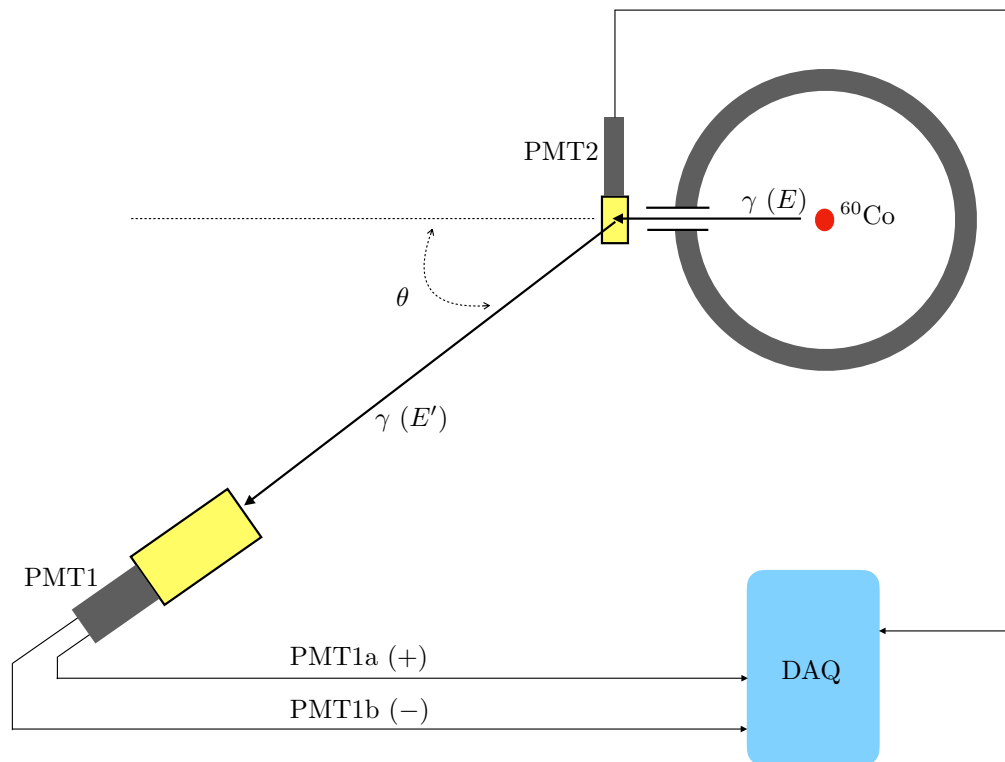


Figura 1: Schema dell'apparato sperimentale per la misura della massa dell'elettrone.

Principali obiettivi da raggiungere

1. Misurare l'energia del fotone diffuso per due diversi angoli di incidenza, e verificare la consistenza dei dati con l'andamento predetto dalla relazione in eq. (1).
2. Ottenere una misura della massa m_e dell'elettrone, con la massima precisione consentita dall'apparato sperimentale a disposizione.

Procedure suggerite e misure da effettuare

In quest'esperienza è necessaria un'accurata preparazione dei rivelatori per essere sicuri di avere la massima efficienza e il più basso livello possibile di rumore. Per questa ragione la suddivisione suggerita sotto, non corrisponde necessariamente alla suddivisione del lavoro da effettuare in ogni turno. In particolare si suggerisce di verificare il prima possibile la coincidenza tra i due scintillatori indicata al punto 6, in modo da essere ragionevolmente sicuri di acquisire nel seguito eventi effettivamente dovuti allo scattering Compton.

0. Informatevi dal tecnico di laboratorio delle procedure corrette da seguire per operare in sicurezza sul vostro apparato, e seguitene scrupolosamente le indicazioni.
1. Stimate un limite massimo per la **dose (in Sv)** che riceverete dalla sorgente durante lo svolgimento dell'esperienza.

2. Accendete e verificate il funzionamento del contatore a NaI, dopo averlo posizionato direttamente di fronte al fascio ($\theta \approx 0$). Prestate particolare attenzione al PMT1 che va alimentato con tensione positiva (tensione consigliata $\approx 650 - 700V$). Decidete il **punto di lavoro** e la geometria (distanza tra la sorgente e cristallo) osservando i segnali e i rate all'oscilloscopio. Si consiglia di scegliere un punto di lavoro "ragionevole" abbastanza velocemente, per poi ottimizzarlo successivamente, quando avrete realizzato la coincidenza temporale tra i segnali e misurato i rate a vari angoli, e preso pratica con gli spettri in energia registrati.
3. Inviare il segnale del PMT1 al formatore Tennelec TC-241 (tempo di picco 1-6 μs), quindi all'analizzatore multicanale CAEN N957, senza utilizzare alcun segnale di gate (programmare opportunamente il CAEN N957). Osservate gli **spettri ottenuti al multicanale**, e **scegliete opportunamente il valore dell'amplificazione del Tennelec TC-241 (utilizzando eventualmente in ingresso un attenuatore passivo in modo da evitare fenomeni di saturazione) al fine di ottimizzare la risposta in energia del cristallo**. Se necessario rivedete la vostra scelta del punto di lavoro del PMT1.
4. Misurate sperimentalmente le **caratteristiche geometriche** (asse, **divergenza angolare**) del "fascio" di fotoni, data la geometria assegnata. Misurate la distanza del bersaglio e del cristallo dalla sorgente e controllate la geometria degli angoli sperimentali rispetto alla direzione del fascio. Per quale angolo di diffusione l'energia cinetica acquisita dall'elettrone nella diffusione non è sufficiente per estrarlo dall'atomo a cui è legato? L'energia di legame dell'orbitale K del carbonio è 0.277 keV.
5. Generate un **segnale di gate** da inviare all'analizzatore multicanale che comanda la misura dell'ampiezza di picco del segnale dell'ADC dell'analizzatore multicanale se e solo se il segnale analogico del cristallo è sopra una data soglia in energia (programmare opportunamente il CAEN N957). Per generare il segnale di gate utilizzate l'uscita negativa PMT1b del cristallo. Modificate la soglia in energia del segnale di gate inviato all'analizzatore multicanale e descrivete come cambiano gli spettri osservati. Se necessario rivedete la vostra scelta del punto di lavoro del cristallo.
6. Posizionate lo scintillatore plastico di fronte al collimatore e realizzate una **coincidenza temporale** tra il segnale dello scintillatore plastico ed il segnale del cristallo. Questo permette di selezionare meglio gli eventi di diffusione Compton rispetto al fondo casuale. **Tenete presente che l'altezza di impulso del segnale del plastico sarà più grande per gli elettroni di rinculo di più alta energia, che corrispondono ad angoli di diffusione maggiori, per cui la sua efficienza risulterà dipendente dall'angolo**. Prestate particolare attenzione alla messa in tempo e allo *shaping* (rimuovere eventuali ripartenze del discriminatore dello scintillatore organico utilizzando le Timing Units per allungare e poi accorciare nuovamente il segnale stesso) dei due segnali della coincidenza. Nei punti successivi applicate questa configurazione utilizzando come gate la coincidenza appena realizzata. **Riflettete su quale sia il punto di lavoro ottimale (alimentazione dello scintillatore plastico, soglia sul segnale dello scintillatore plastico, angolo e distanza in cui posizionare lo scintillatore inorganico NaI) per realizzare la coincidenza**. *Suggerimento:* nel realizzare la coincidenza temporale tra i due segnali provenienti dal cristallo e dallo scintillatore plastico è indispensabile visualizzare i segnali opportunamente formati e ritardati all'oscilloscopio utilizzando la funzione "Persistenza" sotto il menu "Visualizza", compensando eventuali ritardi relativi.
7. Per estrarre un valore accurato dell'energia dei fotoni diffusi è necessario **calibrare** la risposta in energia dello scintillatore inorganico NaI, **determinando con la maggiore precisione possibile la funzione di conversione tra l'energia misurata (E) e il numero del canale (n_C) dell'analizzatore multicanale facendo uso delle appropriate sorgenti di test**.

La calibrazione deve essere effettuata con la stessa catena elettronica che verrà utilizzata per le misure finali. **Controllare la stabilità della calibrazione della scala in energia rispetto a possibili fattori esterni che potrebbero variare il guadagno in funzione del tempo durante la misura**. Si consiglia di stimare, anche grossolanamente, l'incertezza sistematica associata alla

conoscenza della scala in energia sulla misura della massa dell'elettrone ai punti successivi, al fine di ottimizzare la durata delle prese dati e quindi l'incertezza statistica, e totale, delle vostre misure. Si consigliano prese dati brevi, non oltre qualche ora.

8. **Misurate gli spettri in energia** del fotone diffuso nello scintillatore bersaglio ad almeno due differenti angoli compresi tra 15° e 30° . Al fine di separare i vari contributi e misurare la posizione dei fotopicchi Compton, corrispondenti rispettivamente ai fotoni incidenti di energia 1.17 e 1.33 MeV, analizzate gli spettri registrati per i differenti angoli, dopo aver opportunamente convertito la scala dal numero del canale scattato al relativo valore dell'energia. **Eseguite la calibrazione della scala in energia in *tempo reale*, ripetendo le misure di calibrazione con le sorgenti a disposizione ad intervalli regolari, opportunamente scelti, durante la presa dati.** (A tale proposito si consiglia di utilizzare l'opzione "LOG_TO_FILE=1" nel file di configurazione `N957Demo.conf` del software di acquisizione dati N957Demo. Questa opzione permette di scrivere un file in cui ogni riga corrisponde al dato letto dal multicanale in codice esadecimale e permette di convertire la scala dei canali n_C del multicanale in energia E evento per evento).
9. **Misurate la massa dell'elettrone** mediante un fit degli spettri in energia, stimando sia l'incertezza statistica che sistematica associate.