

Universita' degli Studi di Catania
Corso di Laurea in Fisica
Laboratorio di fisica III
*Realizzazione e analisi di uno spettro di
particelle α*

1 Introduzione

Questa esperienza permette di realizzare lo spettro di una sorgente di particelle α (nel caso in questione una sorgente di Americio) e di studiarne l'interazione con la materia.

L'americio è un elemento radioattivo preparato artificialmente appartenente alla serie degli attinidi. L' isotopo più stabile ha peso atomico 243, emette α e ha un tempo di dimezzamento pari a $7,37 \cdot 10^3$ anni. In laboratorio la sorgente è depositata su un piattino metallico. E' noto che la sorgente è altamente monocromatica e che le particelle emesse hanno energia pari a 5,48 MeV.

Figura 1: Piattino contenente la sorgente di americio

2 Descrizione degli strumenti

Il range delle particelle α di questa energia in aria è di c.a. 5 cm. Ciò vuol dire che per poterle rivelare è necessario creare un ambiente sottovuoto. L'esperienza infatti si realizza in una camera di piccole dimensioni in cui tramite una pompa rotativa viene fatto il vuoto. Non si ha a disposizione alcuno strumento per misurare la pressione all'interno della camera, ma viste le sue dimensioni è ragionevole pensare che dopo un breve periodo di funzionamento della pompa (qualche minuto), all'interno della camera vi sia una pressione tale da poterla considerare ottimale per la realizzazione dell'esperienza.

La cameretta è dotata di un rivelatore a stato solido (Si), ed è già dotata di preamplificatore e di un generatore di impulsi. La camera risulta di facile utilizzo: tramite un pulsante si sceglie se polarizzare il rivelatore (modalità BIAS) o se utilizzare il generatore di impulsi che è incorporato nella camera stessa. In

Figura 2: Camera in cui avviene la rivelazione

questo caso il segnale che si ha nel filo di output è quello proveniente dal generatore, opportunamente preamplificato. Il generatore è già tarato, nel senso che tramite una manopola l'operatore può stabilire l'energia degli impulsi prodotti in una scala in MeV con una sensibilità pari a 0.01 MeV. Ciò faciliterà di molto la prima parte dell'esperienza.

L'output proveniente dalla camera viene duplicato, in modo che una copia costituisca direttamente l'input dell'ADC che verrà utilizzato; l'altra, tramite il discriminatore, serve per produrre il segnale di gate che è necessario all'ADC. Questo è inserito in un front-end CAMAC collegato tramite un'interfaccia SCSI ad un PC. La lettura, l'analisi e la conservazione dei dati ricevuti è realizzata con un software opportunamente scritto in linguaggio `labview`. Nella realizzazione dell'esperienza si è utilizzato questo software limitandosi alla comprensione generale del suo funzionamento.

Figura 3: Insieme delle apparecchiature utilizzate

In seguito l'analisi dei dati e la realizzazione dei calcoli e dei grafici riportati in questa tesina sono state realizzate tramite software di manipolazione numerica e grafica (in particolare `gnuplot` e in parte `paw`). Per la parte relativa alla simulazione numerica dell'interazione tra particelle α e materia si è utilizzato un software apposito (`srin` 2003), di cui si discuterà nel seguito.

3 Taratura della strumentazione

La prima parte dell'esperienza deve consistere nella taratura dello strumentazione elettronica. Queste operazioni servono innanzitutto per verificare che tutti gli strumenti utilizzati per rendere leggibile il segnale proveniente dal rivelatore abbiano nel complesso una risposta lineare. Ma servono anche per poter costruire lo spettro avendo nell'asse delle ascisse energia e non canali. In questa esperienza il lavoro è molto facilitato: come detto la camera di cui si dispone possiede un impulsatore con una manopola già in MeV. Basta allora fissare diversi (in teoria ne bastano due) valori di energia e per questi valori specifici raccogliere un certo numero di conteggi. In questo modo si stabilisce una relazione tra i canali dell'ADC e l'energia degli impulsi prodotti dal generatore. A tal proposito va detto che gli impulsi generati saranno di sicuro molto precisi, dunque già in partenza ci si attende che lo spettro consista di righe molto sottili che occupano in sostanza un solo canale. Per un eccesso di completezza è stato realizzato il fit per ognuno dei 5 picchi ottenuti sperimentalmente, supponendo che la curva del picco sia esprimibile come una gaussiana. Lo spettro ottenuto con questo procedimento effettuato per 5 valori diversi di energia è quello riportato in figura 4. I valori calcolati sono i seguenti:

Figura 4: Spettro realizzato con l'impulsatore per realizzare la taratura

canale	energia [MeV]

Si osservi subito che, così come previsto, l'allargamento di ogni singolo picco è davvero trascurabile: tranne in un caso, l'allargamento è sempre minore di uno, ovvero tutto il picco può essere considerato interno ad un solo canale. Eseguendo allora un fit lineare tra questi dati, si ottiene in definitiva la relazione tra il numero del generico canale dell'ADC e il suo corrispondente valore di energia. In questo caso sono stati determinati i seguenti parametri:

$$\begin{aligned} \text{coefficiente} &= \\ \text{offset} &= \end{aligned}$$

Va precisato che la taratura della strumentazione è stata effettuata dopo aver realizzato il vuoto nella camera, come se si stesse effettuando davvero una misura. In questo modo si tenta di realizzare una precisione maggiore dato che si ha la possibilità di polarizzare il rivelatore mentre è in funzione il generatore. Infatti il rivelatore all'interno della catena elettronica si comporta come un condensatore (posto in parallelo rispetto al condensatore in cui si deposita la carica emessa dal generatore) con una sua capacità che cambia in base alla larghezza della zona di svuotamento. Questa larghezza dipende dalla polarizzazione del rivelatore: se il rivelatore non fosse stato polarizzato, avremmo tarato una strumentazione con una capacità diversa da quella che poi avremmo avuto nella realizzazione dell'esperienza vera e propria.

4 Spettro della sorgente posta nel vuoto

La prima misura effettuata è ovviamente la raccolta di una serie di dati ponendo la sorgente all'interno della cameretta, in cui viene fatto il vuoto. Ciò come detto è necessario per poter rivelare le particelle; in questa condizione anzi le particelle non trovano niente con cui interagire (eccetto il rivelatore!) per cui l'energia misurata dovrebbe corrispondere a quella di emissione.

Per la realizzazione è dunque stata posta la sorgente all'interno della cameretta, e in seguito è stata azionata la pompa per qualche minuto. Una verifica molto grossolana sul successo di questa operazione si può avere provando ad aprire lo sportello della camera: ciò dovrebbe risultare alquanto arduo. Durante la realizzazione della misura è plausibile che dell'aria entri nella camera falsando

poi il risultato finale. Per evitare questo inconveniente si è scelto di mantenere accesa la pompa durante tutta la misura, in modo che l'eventuale aria entrata venga subito espulsa dalla pompa.

Fatto questo, si polarizza il diodo del rivelatore e si avvia il software per la raccolta dei dati. Dopo una serie di misure si è ottenuto il grafico riportato in fig. 5 (come si vede l'asse delle ascisse è già stato trasformato in energia tramite i parametri calcolati prima). Il numero totale di osservazioni risulta essere 144.

Figura 5: Spettro della sorgente di particelle alpha nel vuoto

E' ovvio che non ci si può attendere uno spettro con un picco molto delineato: la curva presenta un certo allargamento dovuto agli errori, sia ineliminabili che statistici, che di sicuro vengono compiuti. L'allargamento in particolare è più marcato verso sinistra e ciò è ovvio se si pensa che le particelle possono sì perdere energia, ma mai averne più di quanta ne avevano in partenza. In ogni caso questo particolare è davvero trascurabile, e la forma della curva si può considerare sufficientemente simmetrica rispetto all'asse passante per il valore massimo in modo da permetterci di studiare questa distribuzione con la funzione gaussiana. In questo modo si otterrà il valor medio della distribuzione, che fisicamente rappresenta il valore di energia più probabile delle particelle rivelate, e la varianza, che serve a valutare l'allargamento della curva. Utilizzando un software di manipolazione numerica si sono ottenuti i seguenti risultati:

Come si vede vi è una buona, perlomeno nei limiti dell'errore, rispondenza tra quanto noto teoricamente e quanto misurato in questa esperienza. Va poi osservato il valore davvero piccolo di σ , che come detto indica l'allargamento della curva; una così elevata precisione indica chiaramente che la sorgente è altamente monocromatica e che lo spettro raccolto non è inficiato da un elevato rumore di fondo, cosa che peraltro è possibile vedere anche qualitativamente dal grafico.

5 Interazione con la materia

La seconda parte dell'esperienza riguarda più in dettaglio l'interazione delle particelle α con la materia. In particolare si può studiare la perdita di energia delle particelle che attraversano un mezzo.

Durante l'analisi dei dati riferiti a questa parte dell'esperienza ha avuto un ruolo molto importante il software di simulazione numerica cui si è accennato in precedenza ([srim 2003](#)). Si tratta di un software freeware reperibile sul sito web www.srim.org. In particolare, il software calcola, tramite una risoluzione

numerica delle equazioni di Bethe-Block, la perdita di energia di particelle cariche (con energia assegnata dall'utente) in seguito all'interazione di queste con dei target anch'essi definibili dall'utente. L'output del software riporta il calcolo della perdita di energia in uno spessore ($\frac{dE}{dx}$), sia in seguito all'interazione elettronica che in seguito all'interazione nucleare. Il confronto tra questi risultati e i valori calcolati sperimentalmente permette ad esempio di avere una misura piuttosto accurata di spessori come quelli in gioco in questa esperienza, e che non risultano misurabili attraverso la classica strumentazione.

Interazione con l'aria La prima misura che è interessante fare riguarda la perdita di energia delle particelle α nell'aria. In questo caso la realizzazione è molto semplice: basta porre la sorgente dentro la cameretta, chiudere lo sportellino e iniziare la misura. L'unico problema da risolvere è la distanza a cui porre la sorgente rispetto al rivelatore. In questo caso bisogna ricordare il range di queste particelle in aria (c.a. 5 cm); dunque per poter effettuare l'esperienza in tempi ragionevolmente brevi e ottenendo risultati interessanti è bene porre la sorgente molto vicino al rivelatore: in questo modo di sicuro le particelle non perdono tutta la loro energia, ma soprattutto si evitano fenomeni di allargamento e diffusione delle particelle per cui alcune di queste perderebbero molta più energia della minima sporcando lo spettro che si sta ricavando. Il grafico che si è ottenuto effettuando questa misura con un numero di conteggi pari a 161 è riportato in figura 6. La prima cosa che si nota è una netta delimitazione

Figura 6: Spettro della sorgente di particelle alpha che attraversano aria

a destra della curva, mentre a sinistra il numero di conteggi va a zero degradando molto lentamente. Ciò è la chiara riprova di quanto detto: le particelle che attraversano l'aria in modo perpendicolare perdono la minor quantità di energia, e non potremo mai trovare particelle con energia maggiore di queste; ne troviamo però molte con energia che diminuisce in modo continuo: si tratta delle particelle che hanno compiuto un percorso più lungo o che hanno subito altre interazioni. Le informazioni che possiamo ricavare da questo spettro sono molteplici: se consideriamo solo la parte finale della curva, quella in cui le particelle hanno perso meno energia e fittiamo solo questa parte imponendo un andamento gaussiano, avremo informazioni circa la perdita di energia delle particelle nel dato strato di aria. Eseguendo un fit (supponendo ancora, seppur con meno precisione, che la curva abbia un andamento gaussiano) su tutto lo spettro, sarà invece interessante valutare l'allargamento complessivo dello spettro, in modo ad esempio da confrontarlo con quanto trovato nel caso del vuoto. Per quanto riguarda il primo calcolo, se si sceglie di fittare per i conteggi relativi alle energie comprese tra 3.95 e 4.50 MeV, si ottiene il seguente risultato:

ovvero,

Riguardo invece al secondo calcolo, cioè fittando su tutto lo spettro, il dato interessante¹ è che

un valore sette volte maggiore di quello trovato eseguendo l'esperienza nel vuoto. A questo punto si inserisce il calcolo numerico realizzato attraverso l'apposito software. Sono stati impostati come input i seguenti valori:

Il risultato ottenuto è il seguente:

Dunque, confidando nel fatto che i dati sperimentali siano attendibili (e non si ha sentore di credere il contrario), possiamo calcolare che lo spessore minimo di aria attraversato dalle particelle α sia pari a (si è supposto che l'errore provenga solo dalla misura sperimentale di ΔE , e non si poteva fare altrimenti dato che il software non fornisce alcun errore sul risultato).

Interazione con film di mylar Una seconda misura che è interessante fare è studiare la perdita di energia attraverso vari strati di mylar, un materiale comunemente usato come target. Si tratta di una plastica costituita da H, C, O,² e si rivela molto utile per il nostro scopo dato che se ne hanno a disposizione film molto sottili. Per realizzare questa misura, è stato creato in modo artigianale un sostegno di dimensioni opportune, e lo si è posto nello spazio tra la sorgente e il rivelatore. All'interno della camera ovviamente si fa il vuoto, per fare in modo che le particelle interagiscano solo col nostro materiale. Uno dei primi problemi da risolvere è la posizione in cui porre la sorgente, se vicino o lontano dal mezzo. Nel caso dell'aria la scelta era obbligata per evitare che le particelle perdessero tutta la loro energia prima di giungere sul rivelatore. Stavolta (si ricordi che nella camera viene fatto il vuoto) non è detto che le due posizioni siano equivalenti. Il modo migliore per decidere è effettuare una verifica sperimentale ponendo la sorgente prima nelle vicinanze del mylar, poi lontano, e vedere la differenza tra gli spettri ottenuti. Le curve ottenute sono state graficate sovrapposte (in rosso lo spettro quando la sorgente è vicina, in verde quando è lontana) in figura 7. E' molto chiaro il fatto che in entrambi

¹Ovviamente nel primo caso non ha significato fisico valutare l'allargamento della curva, che è stato fissato dall'utente; in questo secondo caso sarà invece il valore massimo del picco a non poter essere interpretato, dato che, per quanto prima detto, coinvolge fenomeni diversi tra loro.

²In realtà il mezzo utilizzato è uno strato di mylar alluminizzato. Tuttavia, dato che gli atomi di Al saranno pochi rispetto a quelli propri del mylar, per le misure da fare è sufficiente considerare il mezzo come semplice mylar.

Figura 7: Spettri ottenuti al variare della posizione della sorgente

i casi si ha un picco massimo a destra in corrispondenza del valore minimo di perdita di energia (per le particelle che attraversano lo strato in direzione perpendicolare). Dopo, il picco decresce con continuità, segno del fatto che ci sono particelle che, in base alla loro direzione, perdono un valore sempre maggiore di energia. La cosa interessante è che questa parte decrescente è molto evidente se poniamo la sorgente vicino il mylar, mentre sembra trascurabile nell'altro caso: le due posizioni non sono affatto equivalenti. Questo fenomeno può essere spiegato facilmente ricorrendo ad argomenti geometrici; durante la realizzazione dell'esperienza è importante, appurato questo fatto, che le misure siano fatte ponendo la sorgente quanto più lontano è possibile dal mylar.

Fatte queste necessarie considerazioni, si può procedere all'analisi quantitativa delle misure. La prima è dunque già stata realizzata, e si è utilizzato come mezzo incidente uno strato piuttosto spesso di mylar. E' utile riportare nuovamente il grafico dello spettro ottenuto, ma stavolta senza che vi sia sovrapposto l'altro (vd. fig. 8). Anche stavolta per poter effettuare un fit è necessario scegliere

Figura 8: Spettro delle particelle che attraversano lo strato 1 di mylar

(arbitrariamente) solo la parte della curva contenente il picco: il resto appare come una successione di tante gaussiane (avente ognuna un picco per un valore diverso di energia, in base alle interazioni subite dalle particelle), ma ciò è di difficile analisi. Dunque è lecito determinare informazioni solo sul picco più elevato, che è poi ciò che interessa in questa sede. Approssimando la parte della curva compresa tra 3 e 3.50 MeV con una gaussiana ed eseguendo il fit, il dato interessante che si ricava è che, indicando con 1 questo primo strato utilizzato,

e dunque

Possiamo allora ancora una volta ricorrere al software numerico per calcolare la perdita di energia nell'unità di spazio che dovrebbe avvenire. I valori di input sono i seguenti:

Il calcolo ha prodotto il seguente risultato:

Anche stavolta possiamo calcolare lo spessore dello strato di mylar con cui si è realizzata la misura: impostando una proporzione e risolvendola, si ottiene che le particelle hanno attraversato uno spessore pari a $20.7231 \pm 0.6319 \mu\text{m}$ (per l'errore si veda quanto detto in precedenza). Questo risultato è consistente con le apparenze sperimentali.

A questo punto si è tentato di effettuare una misura aggiungendo un secondo strato di mylar dello stesso tipo. Preparato tutto il dispositivo, si è visto che però non si raccoglieva nessun dato. Verificato grossolanamente il funzionamento di tutte le apparecchiature, si è fatta l'ipotesi che le particelle perdessero tutta la loro energia nei due strati che avrebbero dovuto attraversare. Risulta ancora una volta utile il software di simulazione: infatti dopo il passaggio dal primo strato di materiale le particelle si è visto che avevano un'energia di . Ora avrebbero dovuto attraversare un secondo strato di uguale spessore. Eseguendo il software con gli stessi dati di input per la targetta, ma modificando l'energia delle particelle incidenti si calcola che ; per uno spessore di la perdita sarebbe stata di : le particelle si fermano prima. Ciò spiega certamente il dato sperimentale.

Una seconda misura, sempre nello stesso ambito, è stata realizzata allora aggiungendo allo strato di mylar precedente uno strato molto più sottile di questo. Il modo di procedere è identico a prima, tranne per il fatto che si è riscontrato qualche problema nel realizzare un sostegno in grado di mantenere il mylar teso, al fine di evitare quelle pieghe che hanno reso in parte imprecisa la misura, nel senso che alcune particelle hanno attraversato uno strato quasi doppio di materiale. Il grafico che si è ottenuto è in fig. 9.

Figura 9: Spettro delle particelle che attraversano due strati di mylar

E' subito evidente un maggiore allargamento della curva rispetto a prima, segno che in effetti il materiale non è risultato ben teso e alcune particelle hanno perso più energia di quella minima dovuta al solo passaggio ortogonale dai due strati. Per poter fare un'analisi quantitativa dei dati anche stavolta è necessario individuare il primo picco relativo alla perdita minima e fittare solo questo. Si è ritenuto opportuno fittare per energie comprese tra 2.15 e 2.50 MeV, e si è trovato, indicato con 2 il secondo strato di materiale che è stato aggiunto, che

e dunque

In particolare allora

Ricordando i risultati trovati in precedenza tramite il programma `srin 2003` si calcola allora che questo secondo strato di mylar utilizzato ha uno spessore pari a t . Ancora una volta il risultato può essere considerato soddisfacente in quanto, come detto, il secondo strato era in effetti molto più sottile del primo.

6 Rate di emissione della sorgente

In questa esperienza è possibile effettuare un'altra interessante misura. La sorgente emette le particelle α su un angolo solido pari a 2π . Le particelle che arrivano sul rivelatore sono quelle comprese nel cono di apertura

Dunque se il rate di emissione della sorgente è $N_0 \frac{\text{particelle}}{\text{sec}}$, sul rivelatore arriveranno evidentemente

Noto questo, si possono allora effettuare una serie di misure ponendo la sorgente nel vuoto, ma a varie distanze. Si fissa quindi un intervallo temporale e si eseguono le varie misure. Stavolta non è importante l'energia delle particelle, ma il numero totale di conteggi effettuati dal rivelatore su tutto lo spettro, n . Dividendo questo valore per l'intervallo di tempo, trovo il numero di particelle emesse in un secondo, n_0 . Si avrà allora una relazione tra n_0 e R dal cui fit si può determinare l'incognita N_0 , che rappresenta il numero di particelle emesse in un secondo.

Nella realizzazione pratica dell'esperienza la scelta dell'intervallo temporale va fatta tenendo conto che si deve avere la possibilità di formare uno spettro chiaro anche alla massima distanza, quando le particelle che giungono sul rivelatore diminuiscono drasticamente. Si è ritenuto opportuno effettuare le misure in un tempo di 200 sec. Il problema riscontrato durante la realizzazione è stato la misura di R . Questa è infatti la distanza tra la sorgente e il rivelatore vero e proprio. Va detto innanzitutto che dato il posto in cui va effettuata la misura, questa appare alquanto difficoltosa. Risulta poi quantomai difficile accedere al rivelatore per conoscere la sua esatta posizione senza rischiare di danneggiarlo. Questo problema si è poi ritrovato per la misura della superficie di esposizione del rivelatore S . In sostanza le misure realizzate sono gravate da una imprecisione di fondo dovuta alla realizzazione della misura stessa. Con l'aiuto del docente si è misurato che la superficie di esposizione del rivelatore ha un diametro di 1 cm, dunque

Circa R , sono state effettuate 4 misure a quattro diverse distanze. Si è misurato che l'altezza della sorgente è . La misura vera e propria è stata effettuata a partire dalla base della sorgente fino al rivelatore, dunque ai valori misurati va tolta l'altezza della sorgente. In definitiva si è trovato che

$$\begin{aligned} R_1^3 &= \\ R_2 &= \\ R_3 &= \\ R_2 &= \end{aligned}$$

A questo punto il passo successivo è valutare il valore di n in ognuno dei quattro casi. Gli spettri ottenuti sono graficati sovrapposti in fig. 10 per una maggiore possibilità di confronto. E' evidente che il maggior numero di conteggi corrisponde alla minima distanza e poi, all'aumentare di R diminuisce il numero di conteggi. La cosa è più evidente in prossimità del picco. Contando il numero di

Figura 10: Spettri ottenuti al variare della distanza tra sorgente e rivelatore

osservazioni in ciascun spettro si sono determinati i seguenti valori:

R	n	n_0
R_1		
R_2		
R_3		
R_4		

Eseguendo allora tramite un software di manipolazione numerica un fit tra i valori di n_0 e quelli di R si può come detto valutare il valore incognito. In particolare si è calcolato:

$$N_0 = \text{Bequerel}$$

Osservando la fig. 10 si nota facilmente che i picchi relativi agli ultimi due spettri sono spostati più a destra rispetto ai picchi delle altre due curve. La cosa appare alquanto strana, ma non lo è: si ricordi infatti che precedentemente [4] il valore calcolato di energia corrispondente al picco non era esattamente 5.48 MeV ma qualcosa in meno. Eseguendo un fit adesso sugli ultimi due spettri si nota che il valore di energia corrispondente è proprio quello atteso. La cosa può essere facilmente spiegata ammettendo che durante le prime misure, nonostante tutti

³Questa distanza è la stessa alla quale è stata posta la sorgente per la realizzazione dello spettro in aria [5]. La misura ora effettuata dovrebbe coincidere allora con quella calcolata numericamente a partire dalla perdita di energia delle particelle. Ciò non accade; in questa sede ritengo valida la misura effettuata direttamente e qui riportata in quanto la precedente tiene conto di diversi parametri, e non di tutti è possibile controllarne l'esattezza.

gli accorgimenti presi, come quello di aver lasciato sempre la pompa in azione, sia rimasta dell'aria nella cameretta per cui le particelle α hanno interagito con questa.

7 Conclusione

In conclusione, l'esperienza appare di rilevante interesse per i numerosi aspetti che si possono approfondire. La realizzazione è semplice, anche se ha richiesto molto tempo per poter comprendere il corretto funzionamento di tutti gli apparati.

Indice

1	Introduzione	1
2	Descrizione degli strumenti	1
3	Taratura della strumentazione	2
4	Spettro della sorgente posta nel vuoto	3
5	Interazione con la materia	4
6	Rate di emissione della sorgente	9
7	Conclusione	11