

Decadimenti

Volpini, Paganini, Finazzer, Beghini

9 maggio 2017

1 Abstract

In questa esperienza vediamo dapprima il funzionamento di un gamma ray detector e studiamo le caratteristiche degli spettri di emissione di sostanze note. In seguito determiniamo la natura di un campione incognito osservando lo spettro e avvalendoci di dati tabulati. Infine determiniamo l'età di una sorgente misurandone lo spettro e conoscendo l'attività al momento dell'acquisto.

2 Apparato sperimentale

L'apparato sperimentale è costituito da

Rivelatore germanio Il rivelatore al **germanio** si basa sulla produzione di elettroni e lacune in seguito alla ionizzazione da parte della radiazione incidente. Il numero di portatori prodotti è proporzionale all'energia della radiazione. Dato che l'energia richiesta per la produzione di una coppia è piccola rispetto ad altri metodi basati sulla ionizzazione (per esempio usando gas) la variazione statistica dei conteggi (cioè produzione di coppie) è minore e la risoluzione in energia è maggiore: per questi tipi di rivelatori ($\simeq 0.5$ @ 120KeV , dove è massima). La massa minore degli atomi nel reticolo di germanio, rispetto ad uno scintillatore NaI ne riduce l'efficienza, ovvero meno radiazione incidente viene effettivamente assorbita. Un altro problema con questo tipo di rivelatori ha a che fare con la temperatura. La giunzione viene polarizzata inversamente e raccoglie le coppie prodotte dai fotoni gamma, tuttavia l'energia termica a temperatura ambiente è dello stesso ordine di grandezza del band gap, il che causa un rumore non trascurabile, ma che anzi rende impossibile la misura. Pertanto il rivelatore viene raffreddato, nel nostro caso a temperatura dell'azoto liquido.

Scintillatore Tale rivelatore è un detector 3×3 costituito da uno scintillatore (un cristallo di *ioduro di sodio*) e un fotomoltiplicatore. Agendo sulla polarizzazione di quest'ultimo si possono ottenere risposte più o

meno rapide agli impulsi in ingresso (è in questo senso assimilabile ad un circuito RC). L'ideale è riuscire a integrare su tutti i fotoni dovuti ad un evento prodotti dallo scintillatore, ma avere comunque una risposta veloce per poter distinguere eventi, ovvero raggi γ , diversi. La risoluzione energetica di tale rivelatore è peggiore rispetto al germanio, ma l'efficienza in termini di raggi gamma assorbiti è 4 volte più alta.

multi channel digital analyzer Questo strumento si occupa di convertire in digitale gli impulsi in ingresso. Esso usa quindi un ADC molto veloce e produce un'uscita digitale, dove ogni valore viene chiamato canale. L'ampiezza del picco in ingresso è proporzionale all'energia ma dipende anche dalle caratteristiche dello scintillatore e del fotomoltiplicatore e non è detto che sia lineare. Per questo motivo serve una calibrazione usando sorgenti note, in modo da associare il numero di canale all'energia. La non linearità si può correggere interpolando picchi di valore non sparsi uniformemente nello spettro. Per il rivelatore al germanio lavoriamo con 2^{10} canali, mentre con lo scintillatore siamo a 2^{12} .

altro Usiamo un dewar per contenere l'azoto liquido e tramite un dito freddo mantenere il rivelatore al germanio a tale temperatura. Disponiamo di una sorgente nota per la calibrazione, varie sorgenti da identificare e una sorgente di cui stimare l'età. Il multichannel analyzer è collegato ad un pc per la visualizzazione dei conteggi e per la calibrazione.

3 svolgimento

- Per prima cosa calibriamo il software per l'acquisizione. Per fare ciò disponiamo di un isotopo del sodio, in particolare è ^{22}Na che ha un tempo di dimezzamento di circa $2.5y$.
- Successivamente cerchiamo di determinare delle sorgenti incognite, usando valori tabulati.
- Infine conoscendo l'attività al tempo di acquisto della sorgente (comunque incognita) e potendo misurare l'attività al tempo attuale, determiniamo il tempo di acquisto stesso.

4 misura

Il nostro gruppo ha lavorato con il detector basato su scintillatore e fotomoltiplicatore. La radiazione interagisce con il detector essenzialmente in 3 modi:

effetto fotoelettrico I fotoni interagiscono con gli atomi dello scintillatore scalzando elettroni dalle shell. Se gli elettroni provengono dalle shell più interne ho emissione di raggi X e emissione di elettroni auger. I fotoni prodotti a loro volta interagiscono con altri atomi, il tutto dà luogo ad una cascata di eventi. Se l'interazione fosse solo di questo tipo avrei in uscita un impulso con la stessa energia del fotone gamma incidente. I vari picchi, detti fotopicchi, sono caratteristici del nucleo che li ha emessi.

compton I fotoni interagiscono anche tramite effetto compton. In questo caso un fotone incontra un elettrone e viene scatterato, riducendo la propria energia. Il fotone risultante può dare origine ad effetto fotoelettrico o ancora passare per effetto compton. Nel primo caso, alla fine della catena di scattering, non ottengo un impulso all'energia del fotone gamma ma all'energia di quello scatterato. L'energia del fotone scatterato è sempre minore di $\frac{m_e c^2}{2}$ rispetto a quello incidente.

pair production Fotoni con energia maggiore di $2m_e c^2$ possono dare origine, nel nucleo a coppie e^+ ed e^- . Il positrone annichilandosi con un elettrone produce due fotoni γ a energia $511 KeV$ che viaggiano però in senso opposto, quindi posso sperare di vederne uno. L'elettrone continua una catena di decadimenti dei quali posso misurare l'energia.

5 Prima parte

Si comincia generando il vuoto all'interno della camera con le dovute accortezze. Si utilizzano pompa rotativa e pompa turbomolecolare per raggiungere condizioni di medio-alto vuoto ($P=10^{-6}$ mbar).

instauriamo una differenza di potenziale ai capi del filamento collegandone gli estremi rispettivamente uno a massa ed uno ad un generatore (per motivi sperimentali si è scelto quello in grado di erogare maggiori correnti); in questo modo è possibile riscaldare il filamento fino al raggiungimento di temperature tali da provocarne l'effetto termoionico ($T \sim 1800$ K). Il secondo generatore si usa invece per generare una differenza di potenziale tra filamento e anodo, e catturare quindi gli elettroni che si liberano dal filamento. Per la prima parte dell'esperienza il collettore rimane scollegato dal sistema in quanto non necessario.

5.1 dati sperimentali

si comincia con alcune misure specifiche del filamento del tungsteno utili a calcolare Resistenza e resistività dello stesso:

- diametro filamento $d = 205 \pm 5 \mu$

- lunghezza filamento $l = 20.70 + -0.05mm$
- resistenza (4 wire) filamento campione + fili
- lunghezza filamento campione

Utilizziamo il filamento campione per calcolare la resistività del filamento utilizzato nella valvola termoionica (è una proprietà del materiale non del singolo filamento) $\rho = R_s \pi (d/2)^2 / l_s =$ (qui dobbiamo utilizzare quelle citate sopra). non ci siamo fidati del valore presentato nella letteratura scientifica in quanto la purezza del filamento in questione è sconosciuta (abbiamo comunque confrontato i due valori per quanto riguarda l'ordine di grandezza).

A questo punto è possibile calcolare la resistenza del filamento inserito nella valvola e soggetto ad effetto termoionico: $r_{fil} = l \rho / \pi (d/2)^2 =$. dobbiamo a questo punto considerare il contributo alla resistenza dato dai cavi banana-banana utilizzati per il circuito in esame:

calcoliamo la resistenza dei cavi mediante la relazione $r_{cavi} = r_{tot} - r_{fil} =$ (modalità "4 wire" del multimetro). Supponendo che tali cavi non si riscaldino durante l'esperienza siamo in grado di separare i diversi contributi nel calcolo della resistenza $r_{tot} = r_{cavi} + r_{fil}$.

successivamente si procede ad una stima della temperatura raggiunta dal filamento sottoposto ad una certa differenza di potenziale. La letteratura scientifica fornisce il seguente datasheet: (mettetei il datasheet)

Da tale grafico si ricava la seguente relazione $\frac{r_{fil}}{r_{T300k}} = \alpha \Delta T$. Invertendo la relazione stimiamo la temperatura finale del filamento (dobbiamo mettere dei valori di temperatura: io metterei i due soglia).

Siamo ora interessati a verificare la legge di richardon che studia l'andamento della corrente degli elettroni prodotti per effetto termoionico in funzione della temperatura del filamento (mettetei la formula). Impostiamo a questo punto alcuni parametri costanti ($P = 2.7 \times 10^{-6} mbar$, $V_a = 50V$,) e procediamo a misurare valori di corrente elettronica al variare del potenziale di filamento (V_{fil}) e quindi della temperatura dello stesso (mettetei i calcoli per passare da V_{fil} a T_{fil}).

Grafichiamo il logaritmo del rapporto tra corrente elettronica e quadrato della temperatura vs inverso della temperatura. Tramite regressione lineare calcoliamo la funzione lavoro: $W = (8.2 \pm 3.5)eV$. La letteratura fornisce di estrazione del tungsteno $\approx 4.32 - 5.22 eV$ compatibile solo nell'ordine di grandezza.

METTERE GRAFICO RICHARDSON

Studiamo l'andamento della corrente elettronica in funzione del potenziale dell'anodo, concentrandoci nel range a bassi potenziali per verificare la legge di Child. In figura riportiamo i dati sperimentali con relativi fit. I parametri ottenuti da tali fit sono riportati in tabella X.

	Temperature (K)				
	2406 \pm 360	2318 \pm 386	2363 \pm 393	2269 \pm 377	2238 \pm 167
intercetta	1.6	0.7	0.9	0.4	1.2
$[FC^{1/2}m^{-3/2}] \times 10^{-5}$	± 0.2	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1
pendenza	1.2 \pm 0.1	1.6 \pm 0.3	1.5 \pm 0.1	1.6 \pm 0.5	1.5 \pm 0.1

I valori di pendenza corrispondono all'esponente del potenziale. La regressione lineare restituisce quindi valori confrontabili entro un sigma con il valore teorico 3/2. I valori delle temperature hanno un grosso errore che è dovuto principalmente dalla poca accuratezza nel misurare la lunghezza del filamento e la sua resistenza.

6 Seconda Parte

si procede in questa seconda parte dell'esperienza a studiare il fenomeno di ionizzazione di alcune specie di gas. è necessario a questo punto collegare opportunamente anche il collettore della valvola termoionica; in questo modo raccoglieremo gli atomi ionizzati sulla griglia esterna e ne potremmo misurare la corrente ionica. accertandosi inoltre di tenere il collettore ad un potenziale inferiore rispetto al filamento si garantisce una barriera di potenziale per gli elettroni prodotti per effetto termoionico che rimangono tra filamento e anodo e continuano a ionizzare i gas presenti in camera.

6.1 dati sperimentali

in primo luogo verifichiamo che all'aumentare della pressione nella camera da vuoto aumenti anche la corrente ionica misurata; questo è dovuto al fatto che aumentando la pressione in camera aumentiamo il numero di atomi della specie di gas e aumentiamo quindi il numero di atomi che possono essere ionizzati dagli elettroni.

GRAFICO CORRENTI AL VARIARE DI P

successivamente si procede studiando l'andamento della corrente ionica in funzione del potenziale di anodo. Si sottolinea che aumentando il potenziale di anodo aumenta anche la corrente elettronica prodotta per effetto termoionico; si provvede quindi ad effettuare una normalizzazione che permetta di considerare solo il contributo dell'energia degli elettroni bombardanti e non del loro numero. (sull'asse delle ordinate del grafico si riporta quindi il rapporto I_i/I_e)

GRAFICO MATTEO

Dal grafico è possibile ricavare l'energia minima di ionizzazione dei gas studiati. In ascissa è riportata la differenza di potenziale applicata V_a che risulta direttamente proporzionale all'energia cinetica degli elettroni. Finché tale energia non è sufficiente a ionizzare il gas non si misurano correnti

ioniche mentre una volta superata tale energia soglia la corrente I_i cresce. Eseguendo un fit lineare possiamo stimare il valore V_a tale per cui I_i è diversa da zero ottenendo quindi l'energia minima di ionizzazione.

parlare della saturazione

Gas	Energia ionizzazione sperimentale	Energia ionizzazione teorica
Elio	22.9 ± 0.2 eV	24.6 eV
Azoto	$21.6 \pm$ eV	15.6 eV

I valori sperimentali ottenuti non risultano compatibili con i valori teorici riportati nella letteratura. Il principale fattore di incertezza risulta essere il fatto che la differenza di potenziale applicata al filamento genera una distribuzione di energie per gli elettroni. Questo comporta l'assenza di una curva ben definita e di conseguenza forte imprecisione nel fit.