

Laboratorio di Fisica 3

Esperienza di Franck-Hertz con mercurio

1 Materiale occorrente

- Triodo con vapore di mercurio 3BUE5020300;
- forno ed unità di controllo della temperatura;
- sistema di alimentazione e di misura di corrente;
- oscilloscopio.

2 Obiettivo

Obiettivo dell'esperienza è osservare gli effetti dovuti alla struttura discreta dei livelli energetici dell'atomo di mercurio e di stimare la separazione fra lo stato fondamentale $1S_0$ e lo stato eccitato $3P_1$ dell'atomo del mercurio.

3 Descrizione dell'apparato sperimentale e suo funzionamento.

L'esperimento utilizza un tubo elettronico posto in un forno dove viene fatto evaporare del mercurio. All'interno del tubo sono disposti 3 elettrodi in una configurazione che viene genericamente denominata triodo a gas. Lo schema dei tre elettrodi è mostrato in Figura ?? (sinistra) ed i tre elettrodi sono chiamati rispettivamente catodo (C), griglia (G) ed anodo raccoglitore (A). La disposizione dei tre elettrodi all'interno del tubo di vetro è mostrata sul pannello frontale del forno che contiene il tubo (Figura ?? destra). Il catodo è posto nella parte inferiore del tubo a gas ed è a stretto contatto con un filamento che per effetto Joule si riscalda. Il catodo viene quindi riscaldato fino a diventare incandescente e di color rosso ed emette elettroni per effetto termoionico. Gli elettroni hanno un'energia bassa rispetto alle altre energie in gioco. (La costante di Boltzmann vale circa $8.6 \cdot 10^{-5}$ eV/K. Al calor rosso, che è dell'ordine di 1000 K, $kT \sim 0.1$ eV). La griglia è realizzata con una rete fitta di sottili fili conduttori. Essi sono sufficientemente radi da permettere il passaggio degli elettroni negli spazi vuoti fra un filo ed un altro ed allo stesso tempo sono sufficientemente fitte da poter essere considerati un conduttore piano dal punto di vista del potenziale elettrostatico.

L'anodo raccoglitore, infine, è un conduttore piano che definisce un ulteriore piano equipotenziale e raccoglie gli elettroni che arrivano sulla sua superficie.

Il triodo a gas è collegato a 3 generatori di tensione come mostrato a sinistra in Figura ??:

- U_F è la tensione applicata ai capi del filamento e ne regola la temperatura e di conseguenza la temperatura del catodo e quindi la corrente di elettroni emessa dal catodo (emissività).
- U è la differenza di potenziale applicata fra catodo e griglia (G) allo scopo di stabilire un campo elettrico che acceleri gli elettroni verso l'elettrodo di raccolta nella parte superiore del tubo a gas.
- U_{GA} è la differenza di potenziale applicata fra griglia e anodo collettore. La polarità di questa differenza di potenziale può essere invertita e quindi utilizzata o allo scopo di stabilire un

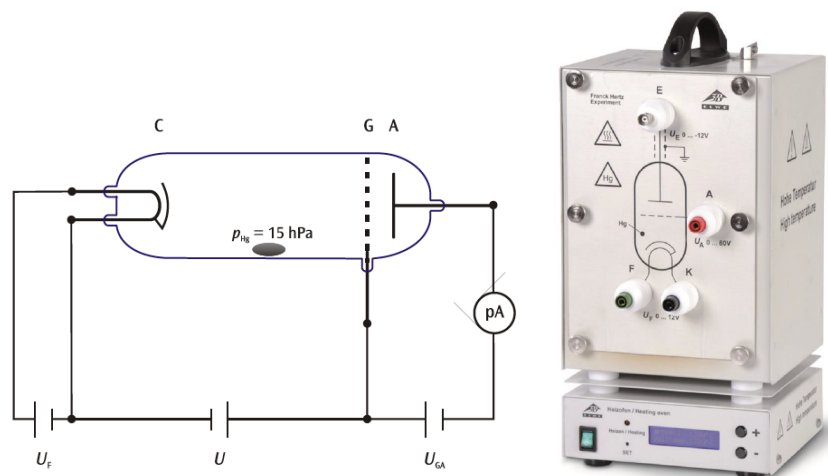


Figura 1: Schema del circuito che collega gli elettrodi e delle alimentazioni (sinistra) e fotografia del forno che contiene il tubo a vuoto con il triodo (destra).

campo elettrico che frena gli elettroni tra la griglia G e l'anodo collettore (A) oppure per accelerare ulteriormente gli elettroni verso l'anodo.

Il collettore è collegato al generatore di tensione mediante un amplificatore a transimpedenza (o convertitore corrente tensione) che fornisce in uscita un segnale in tensione proporzionale alla corrente di collettore I_C .

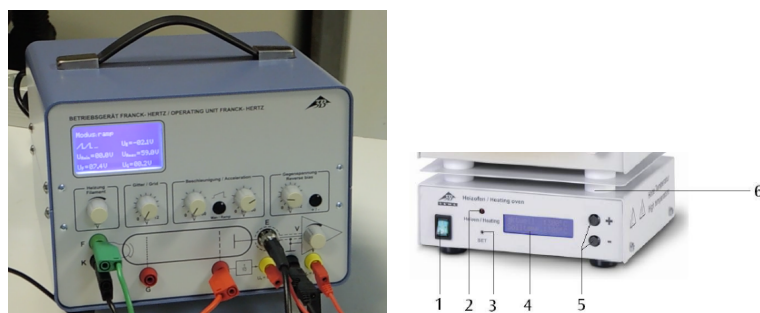


Figura 2: (Sinistra) pannello frontale dell'alimentatore di tensione; (Destra) Unità di controllo del forno posta alla base del forno stesso.

Il pannello frontale dell'alimentatore che permette di controllare le tensioni è mostrato a sinistra in Figura ???. Le manopole ed i pulsanti mostrati che controllano le varie tensioni e la modalità di lavoro sono, partendo da sinistra verso destra:

1. manopola multigiro di regolazione della tensione di filamento U_F ;
2. manopola non utilizzata per l'esperimento con Mercurio;
3. manopola di regolazione della tensione minima di accelerazione tra catodo e griglia;
4. pulsante di commutazione fra modalità manuale e modalità rampa per la tensione della griglia anodo U (controllare sullo schermo in alto sull'alimentatore l'avvenuta commutazione da una modalità all'altra).
5. manopola di regolazione della tensione della griglia: regolazione diretta in modalità manuale o regolazione della massima tensione in modalità rampa;
6. manopola di regolazione della tensione di anodo U_{GA} ;
7. pulsante di commutazione della polarità della tensione di anodo;

8. manopola multigiro (in basso a destra) per regolare guadagno (G_{amp}) dell'amplificatore a transimpedenza.

Le regolazioni delle tensioni e l'utilizzo della modalità rampa o manuale sono mostrate sul pannello di controllo dell'alimentatore in alto a sinistra (Figura ?? a sinistra). Sul pannello è anche mostrato lo schema del collegamento delle tensioni con i vari elettrodi.

L'unità di controllo del forno si trova alla base del forno stesso ed è mostrata a destra in Figura ?. Questa unità permette di regolare e visualizzare la temperatura attraverso i seguenti controlli:

1. interruttore di accensione;
2. spia di accensione;
3. bottone di "SET" - non utilizzato;
4. display per visualizzare la temperatura pre-definita e la temperatura misurata;
5. bottoni per aumentare/diminuire la temperatura pre-definita.

4 Procedura operativa

4.1 Accensione del dispositivo

Per non danneggiare il triodo a gas è necessario seguire la seguente procedura di accensione che nella relazione potrà sinteticamente essere descritta con "Accendiamo l'apparato sperimentale seguendo la procedura raccomandata nella nota di accompagnamento":

1. **prima** di alimentare la multipresa (e di accendere l'alimentatore di tensione), girare tutte le manopole in verso antiorario fino a fondo corsa. In questa posizione tutte le differenze di potenziale sono poste a zero;
2. alimentare la multipresa (ciabatta) tramite l'interruttore;
3. accendere il forno utilizzando l'interruttore verde posto in basso a sinistra (vedi Figura ?? (destra)) ed impostare una temperatura di 180 gradi centigradi. Aspettare che il tubo raggiunga la temperatura (circa 5-10 minuti);
4. accendere l'alimentatore generale attraverso l'interruttore posto sul lato posteriore e ruotare la manopola multigiro che regola U_F (cfr. 1 in fig. ??) fino a che il valore riportato sul display non indichi 7 V. Aspettate qualche minuto fintanto che il filamento ed il catodo non raggiungano l'equilibrio termico.
5. utilizzare il pulsante di commutazione fra modalità manuale e modalità rampa (cfr. 4 in fig. ??) per selezionare la modalità rampa;
6. ruotare la manopola di destra del gruppo U (cfr. 5 fig. ??) e portare la tensione U a 60 V. In questa configurazione, se non ci fosse gas di mercurio nel tubo, gli elettroni arriverebbero all'anodo con un'energia cinetica di circa 60 eV.

Arrivati a questo punto iniziate a scrivere la relazione vera e propria. Nella relazione andranno riportate le procedure seguite, le osservazioni e le misure relative ai seguenti punti:

- Visualizzate tramite l'oscilloscopio la tensione applicata tra catodo e griglia e la tensione in uscita (proporzionale alla corrente prodotta dagli elettroni) connettendole ai due canali dell'oscilloscopio. Descrivete qualitativamente l'andamento delle tensioni sui due canali dell'oscilloscopio che dovrebbero avere un andamento simile a quello mostrato negli esempi di Figura ??
- Osservate attraverso i vetri del forno il filamento incandescente del triodo.
- Variate, una per volta le tensioni che utilizzate (U_{GA} , U_F , U) ed il guadagno dell'amplificatore (G_{amp}), per capire come le tracce variano al variare di questi parametri; state attenti a scegliere intervalli di variazioni sensati (guardate le specifiche) per non saturare l'amplificatore ed ad attendere che le condizioni si stabilizzino quando variate U_F ; spiegate nella vostra relazione le vostre osservazioni.

- Scegliete un punto di lavoro adeguato in modo da visualizzare un numero elevato di massimi a minimi.
- Ponete l'oscilloscopio in modalità $X-Y$ ($X = U/10$, $Y \propto I_C$) con entrambi i canali accoppiati in DC, mediante i controlli di posizione e guadagno dei due canali fare in modo che la curva I_C in funzione di U mostrata dall'oscilloscopio occupi una buona frazione del display. Eventualmente usate la modalità persistenza per meglio visualizzare la traccia e verificate che la distanza tra massimi o minimi consecutivi sia approssimativamente quello che vi aspettate (4.86V) (vedi esempio in Figura segnalix-y).

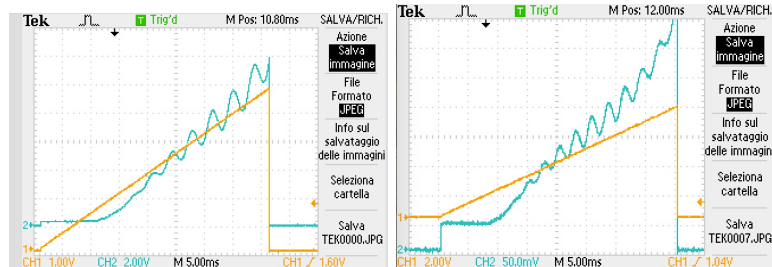


Figura 3: Esempi di tracce di oscilloscopio misurate per l'esperimento di Frank-Hertz: canale 1 - tensione U acceleratrice; canale 2 - tensione in uscita dal convertitore corrente-tensione.

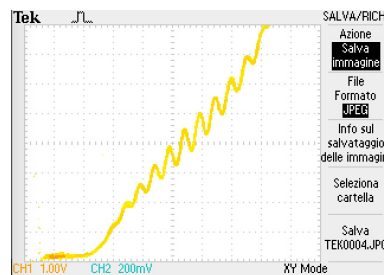


Figura 4: Esempi di tracce di oscilloscopio misurate per l'esperimento di Frank-Hertz utilizzando l'oscilloscopio in modalità $X-Y$, si visualizza su X la tensione U acceleratrice e su Y la tensione in uscita dal convertitore corrente-tensione.

A questo punto dovrete avere stabilito un buon punto di lavoro che dovette annotare (specificando U_F , U_{GA} , tensione massima a minima della rampa) e si può passare all'acquisizione delle tracce per le misure quantitative. A questo scopo disattivate la visualizzazione $X-Y$ dell'oscilloscopio ed acquisite una buon set di tracce che vi permetteranno di eseguire l'analisi in un momento successivo. Prendete misure per verificare:

- come dipende la distanza relativa tra massimi e minimi dalla tensione acceleratrice;
- come dipende la distanza relativa tra massimi e minimi dalla tensione U_F , acquisite oltre alla traccia al punto di lavoro definito, altre due misurazioni per diversi valori di tensione U_F (eventualmente se necessario aggiustare la massima tensione di rampa), tenete conto che il sistema necessita qualche minuto per stabilizzarsi termicamente quando variate U_F ;
- come dipende la distanza relativa tra massimi e minimi dalla temperatura del forno, acquisite oltre alla traccia al punto di lavoro definito, altre due misurazioni per diversi valori di tensione temperatura (guardate le specifiche dell'apparato per assicurarvi di restare in un intervallo corretto), anche in questo caso è necessario qualche minuto affinché la temperatura del forno si stabilizzi.

A questo punto, giunti al termine dell'esperienza:

- disattivate il generatore di rampa per il potenziale U ; schiacciando di nuovo il bottone nero posto al centro delle due manopole;

- ruotare in senso antiorario fino a fondo corsa; nell'ordine U_{GA} , U , U_F e spegnete il generatore di tensione e l'oscilloscopio;
- abbassate la temperatura del forno fino al minimo (100 gradi centigradi) tramite i pulsanti definiscono la temperatura, NON spegnete il forno finché la temperatura del forno non è tornata al minimo.

5 Da riportare nella relazione

Nella vostra relazione riportate per ogni grafico le condizioni in cui è stato preso, riportate le tabelle necessarie all'interpretazione dei dati con unità di misura. Spiegate come avete stimato le incertezze sulle misure che riportate. Infine date un'interpretazione delle vostre misure per spiegare:

- quale è il vostro punto di lavoro e giustificate brevemente come l'avete scelto;
- l'andamento di I_c (struttura di massimi e minimi e loro posizione) in funzione della tensione acceleratrice utilizzando anche il diagramma dei livelli energetici del mercurio (Figura ??);
- la dipendenza o meno dalla temperatura del forno o dalla tensione U_F ;
- facoltativo: discutendo con i vostri colleghi che hanno svolto l'esperienza di Frank-Hertz con il Neon spiegate differenze, pro e contro dei due apparati.

Per documentarvi potete utilizzare tutto il materiale raccolto sul sito di laboratorio altre informazioni interessanti sono sul testo: Experiments in Modern Physics - A.C.Melissinos.

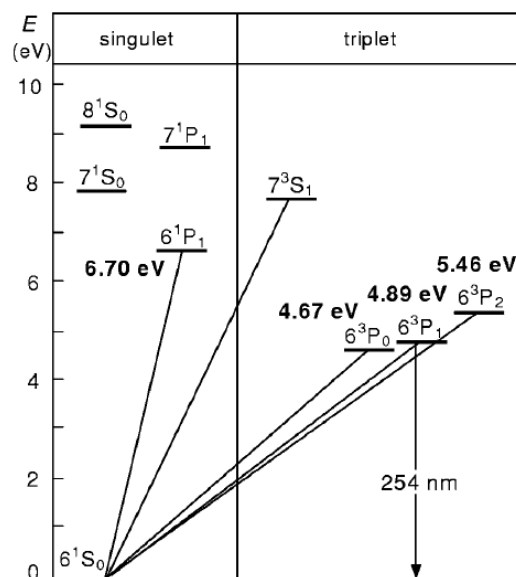


Figura 5: Diagramma dei livelli energetici del mercurio (Hg). Nello stato ad energia minima (stato fondamentale) i due elettroni nell'orbitale più esterno appartengono all'orbitale $6s$. La differenza di energia fra lo stato fondamentale e lo stato eccitato è riportata in ordinata. (da G. Raplor et. al. Am. J. Phys **74**, May 2006).