

Laboratorio di Fisica 3

Esperienza di Franck-Hertz con Neon

1 Materiale occorrente

- Tetrodo a gas neon ELWE U8482230
- Sistema di alimentazione e di misura di corrente ELWE
- Oscilloscopio

2 Obiettivo

Obiettivo dell'esperienza è osservare gli effetti dovuti alla struttura discreta dei livelli energetici dell'atomo di neon e di stimare la separazione fra lo stato fondamentale ed il primo gruppo di stati eccitati dell'atomo di neon.

3 Descrizione dell'apparato sperimentale e suo funzionamento.

L'esperimento utilizza un tubo elettronico a gas riempito con neon ad una pressione circa 10 mBar. All'interno del tubo sono disposti 4 elettrodi in una configurazione che viene genericamente denominata tetrodo a gas. I 4 elettrodi sono chiamati a partire da quello inferiore rispettivamente catodo, griglia di controllo, griglia anodo e collettore. Il catodo è posto nella parte inferiore del tubo a gas ed è a stretto contatto con un filamento di riscaldamento che per effetto Joule si porta al calor rosso. Il catodo, una volta riscaldato, emette elettroni per effetto termoionico. Gli elettroni hanno un'energia trascurabile rispetto alle altre energie in gioco. (La costante di Boltzmann vale circa $8.6 \cdot 10^{-5}$ eV/K. Al calor rosso, che è attorno ai 1000 K, $kT \sim 0.1$ eV).

Le griglie sono realizzate con una rete fitta di sottili fili conduttori. Esse sono sufficientemente rare 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 considerate un conduttore piano dal punto di vista del potenziale elettrostatico.

Il collettore, infine, è un conduttore circolare piano che definisce un ulteriore piano equipotenziale e raccoglie gli elettroni arrivati sulla sua superficie.

Il tetrodo a gas è collegato a 4 generatori di tensione come in figura 1.

- U_F è la tensione applicata ai capi del filamento e ne regola la temperatura e di conseguenza la corrente di elettroni emessa dal catodo (emissività).
- U_G è la differenza di potenziale applicata fra la griglia controllo ed il catodo per stabilire un campo elettrico nei pressi della superficie del catodo in modo da aumentarne l'emissività.
- U_A è la differenza di potenziale applicata fra catodo e griglia anodo allo scopo di stabilire un campo elettrico che acceleri gli elettroni verso l'elettrodo di raccolta nella parte superiore del tubo a gas.
- U_E è la differenza di potenziale applicata fra griglia anodo e collettore allo scopo di stabilire un campo elettrico che freni gli elettroni che superato l'anodo siano diretti verso il collettore.

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 .

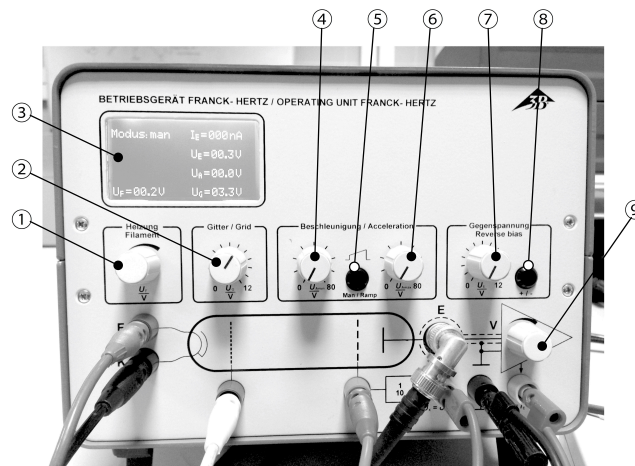
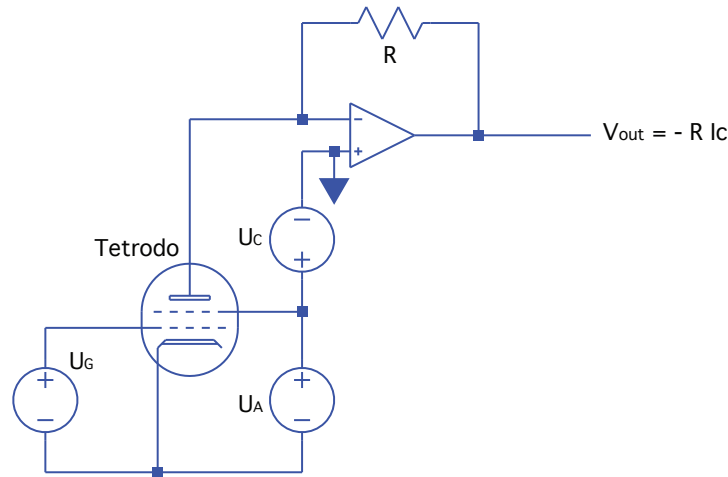


Figura 1: In alto: schema dell'apparato sperimentale per l'esperimento di Franck Hertz. In basso: sistema di alimentazione e misura.

1. Manopola multigiro di regolazione della tensione di filamento U_F .
2. Manopola di regolazione della tensione griglia di controllo U_G .
3. Pannellino di controllo delle tensioni e della corrente di collettore.
4. Manopola di regolazione della tensione minima della griglia anodo.
5. Pulsante di commutazione fra modalità manuale e modalità rampa della tensione della griglia anodo U_A (controllare sullo schermo l'avvenuta commutazione da una modalità all'altra).
6. Manopola di regolazione della tensione della griglia anodo U_A : regolazione diretta di U_A in modalità manuale o in modalità rampa regolazione della tensione massima della griglia anodo.
7. Manopola di regolazione della tensione di collettore U_E .
8. Pulsante di commutazione della polarità della tensione di collettore U_E .
9. Guadagno dell'amplificatore a transimpedenza.

4 Procedura operativa

4.1 Accensione del dispositivo

Per non danneggiare il tetrodo 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 accendere l'alimentatore girare tutte le manopole in verso antiorario fino a fondo corsa. In questa posizione tutte le differenze di potenziale sono poste a zero.
2. Accendere l'alimentatore tramite l'interruttore generale posto sul lato posteriore e ruotare la manopola multigioco che regola U_F (cfr. 1 in fig. 1) fino a che il valore riportato sul display non indichi 8V. Aspettate una trentina di secondi fintanto che il filamento ed il catodo non raggiungano l'equilibrio termico.
3. Pigiare il pulsante di commutazione fra modalità manuale e modalità rampa (cfr. 5 in fig. 1) della tensione della griglia anodo U_A e sincerarsi che sul display scompaia l'indicazione della rampa.
4. Ruotare la manopola di destra del gruppo U_A (cfr. 6 fig. 1) e portare la tensione U_A a 70 V. In questa configurazione, se non ci fosse neon nel tubo a gas, gli elettroni arriverebbero all'anodo con un'energia cinetica di 70 eV.
5. Ruotare lentamente la manopola U_G (cfr. 2 in fig. 1) fin tanto che non si osservi una debole luce arancione all'interno del tetrodo a gas.

4.2 Osservazione degli effetti degli urti anelastici elettrone neon

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 elementi:

1. Descrizione della struttura luminosa visibile all'interno del tetrodo a gas e di come essa varia al variare di U_A ed al variare di U_G . Provare a dare una breve interpretazione dei fenomeni osservati. In particolare: perchè le bande diventano più luminose all'aumentare di U_G ? Perché le bande si muovono al variare di U_A ?
2. Misura delle tensioni U_A alle quali compare nelle immediate vicinanze della griglia anodo la prima banda luminosa, la seconda e la terza. Descrizione della procedura seguita per valutare l'incertezza di queste tre misure.

A questo punto:

- attivare il generatore di rampa per U_A schiacciando il pulsante 5 (cfr. fig. 1) posto al centro delle due manopole che regolano U_A .
 - Portare l'ampiezza della scansione al massimo portando la manopola 4 (cfr. fig. 1) al minimo (completamente girata in senso antiorario) e la manopola 6 al massimo (completamente girata in senso orario).
 - Porre l'oscilloscopio in modalità $X - Y$ ($X = U_A/10$, $Y \propto I_C$) 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_A mostrata dall'oscilloscopio occupi una buona frazione del display.
 - Osservando la curva I_C in funzione di U_A regolare il guadagno dell'amplificatore a transimpedenza in modo da non saturarne l'uscita e regolare le scale dell'oscilloscopio in modo da avere una rappresentazione chiara della curva I_c vs U_A .
3. Descrizione qualitativa della curva I_c vs U_A acquisita con $U_E = 0V$.
 4. Descrizione qualitativa di come essa varia al variare di U_E . A questo scopo agire sulla manopola 7 del potenziale U_E per aumentare il campo. Dare un'interpretazione di quanto osservato.

5. Descrizione qualitativa di come la curva I_c vs U_A varia al variare di U_G (quindi della intensità di corrente elettronica emessa dal catodo). A questo scopo portare la manopola 7 circa a metà corsa ed agire sulla manopola 2 del potenziale U_G per aumentare il campo di estrazione nei pressi del catodo. Dare un'interpretazione di quanto osservato.
 - Ora, regolare U_E ed il guadagno dell'amplificatore in modo che i massimi ed i minimi della curva I_c vs U_A siano ben evidenti e si dispongano grosso modo sull'asse $I_C = 0$.
 - Regolare U_E , U_G ed il guadagno dell'amplificatore di corrente in modo da osservare quanti più minimi e massimi della curva I_c vs U_A e di non saturare l'uscita dell'amplificatore.
 - Disattivare la modalità $X - Y$ dell'oscilloscopio e tornare nella modalità due tracce. Impostare il trigger sul modo fronte di salita di U_A ed acquisite le due tracce U_A e I_C per l'analisi dati successiva. Dovreste osservare delle curve simili a quelle riportate in figura 2.
 - Ripetete l'acquisizione descritta al punto precedente diminuendo il valore del potenziale U_E (ovvero diminuendo l'intensità del campo decelerante) fino al valore nullo. Scegliete tre o quattro valori significativi di U_E a cui effettuare queste acquisizioni.
6. Studio delle curve I_C vs U_A acquisite al punto precedente: descrizione qualitativa delle caratteristiche salienti. Misura, per ognuna delle curve acquisite al punto precedente, delle tensioni U_A per cui la corrente I_C è massima o minima.
7. Confronto fra le tensioni a cui la corrente I_C è massima con le tensioni annotate al punto 2.
8. Grafico che mostri come le tensioni determinate al punto 6 varino al variare di U_E .

A questo punto, giunti al termine dell'esperienza:

- disattivate il generatore di rampa per il potenziale U_A schiacciando di nuovo il bottone nero posto al centro delle due manopole
- ruotare in senso antiorario fino a fondo corsa nell'ordine U_E , U_G , U_A , U_F , spegnere il generatore e l'oscilloscopio.

5 Interpretazione delle osservazioni

Il catodo riscaldato dal filamento emette elettroni per effetto termoionico. La temperatura del catodo ed il potenziale di griglia controllo U_G determinano la corrente elettronica che scorre dal catodo verso gli altri elettrodi.

La griglia controllo è costruita in modo da lasciar passare la quasi totalità degli elettroni emessi dal catodo ed allo stesso tempo da determinare il potenziale elettrostatico sull'intero disco su cui essa giace, in definitiva per gli elettroni è quasi trasparente mentre per il campo elettrico è quasi un conduttore piano privo di aperture.

Nella regione fra griglia controllo e griglia anodo (la regione visibile nella finestra di osservazione) gli elettroni vengono accelerati dal campo elettrico associato alla differenza di potenziale $U_A - U_G$.

Anche la griglia anodo è realizzata in modo tale da definire un piano equipotenziale senza ostacolare il flusso degli elettroni. Gli elettroni che superano l'anodo vengono decelerati dal campo elettrico associato alla differenza di potenziale $U_E - U_A$ (ricordiamo che il catodo è a un potenziale U_E più basso di quello U_A) e riescono a giungere sull'elettrodo collettore solo se la loro energia cinetica è superiore a $-e(U_E - U_A)$.

Quest'ultimo campo sarà chiamato in seguito campo analizzatore in quanto permette di stimare la velocità massima degli elettroni che giungono sul piano dell'anodo.

In assenza di collisioni anelastiche con il gas e trascurando l'energia persa dagli elettroni negli urti elastici con il neon possiamo scrivere l'energia cinetica degli elettroni che giungono sull'anodo come

$$K = eU_A$$

dove la carica dell'elettrone è $-e \sim -1.6 \cdot 10^{-19}$ C.

Ci aspettiamo dunque che all'aumentare di U_A aumenti l'energia cinetica degli elettroni che giungono sul piano anodico e dunque aumenti anche la frazione di elettroni in grado di superare il

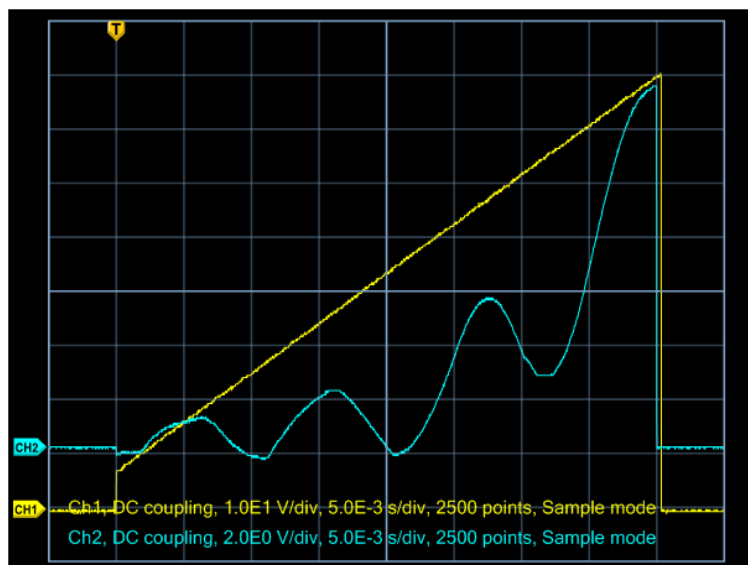


Figura 2: Esempio delle curve U_A (CH1) ed I_C/R (CH2) acquisite al termine dell'esperienza.

campo analizzatore e giungere sul collettore, in definitiva che a U_E fissato I_C aumenti all'aumentare di U_A .

Il carattere quantistico degli urti anelastici fra elettroni e atomi di gas modificano sostanzialmente questo quadro.

L'atomo di neon presenta uno spettro discreto di livelli energetici riportato schematicamente in figura 3.

Aumentando U_A al di sopra di una certa soglia gli elettroni acquistano un'energia cinetica sufficiente per eccitare gli atomi di neon prima ad uno dei 4 livelli energetici $1s$ e poi ad uno degli stati $2p$ riportati in figura 3. A seguito di un urto anelastico l'elettrone cede una frazione significativa della propria energia cinetica all'atomo di neon.

La luce che si osserva nel tubo è associata alla diseccitazione degli atomi di neon dal livello $2p$ al livello $1s$. Durante il diseccitamento viene emesso un fotone nella parte arancione dello spettro.

Guardando attentamente nei pressi dell'anodo (zona in cui la velocità degli elettroni è massima) mentre si aumenta lentamente U_A , si nota dapprima il formarsi di una regione luminosa (fenomeno che coincide grosso modo con il primo massimo di I_C) poi, aumentando ancora U_A , che la regione luminosa si sposta in basso verso la griglia di controllo. Allo stesso tempo I_C diminuisce (provate a dare una spiegazione qualitativa del perché). Aumentando ancora U_A la regione luminosa si distacca dall'anodo ed in questa configurazione, la I_C ha grosso modo un primo minimo segno che la massima frazione degli elettroni ha urtato anelasticamente un atomo ed ha perso troppa energia per eccitare di nuovo il neon. Aumentando ancora U_A la regione luminosa continua a spostarsi verso il basso e la I_C riprende a crescere fin tanto che una nuova luminescenza arancione compare nei pressi dell'anodo, segno che gli elettroni hanno di nuovo raggiunto un'energia cinetica sufficiente ad eccitare gli atomi di neon. In questa configurazione la I_C presenta un secondo massimo. Aumentando ancora U_A si osserva un susseguirsi di nuovi massimi e minimi corrispondenti ad altrettante

