

Scaltritti Matteo

Caruggi Federico

# ESPERIENZA DI FRANCK E HERTZ

## SCOPO DELL'ESPERIENZA:

L'obiettivo di questa esperienza è quello di osservare e misurare la quantizzazione dei livelli energetici nell'atomo di mercurio in fase gassosa per mezzo di elettroni accelerati da un campo elettrico, in modo da dimostrare la validità del principio di quantizzazione dell'energia, sulla base delle teorie del modello atomico di Bohr.

## MATERIALE UTILIZZATO:



Apparecchio per l'esperienza

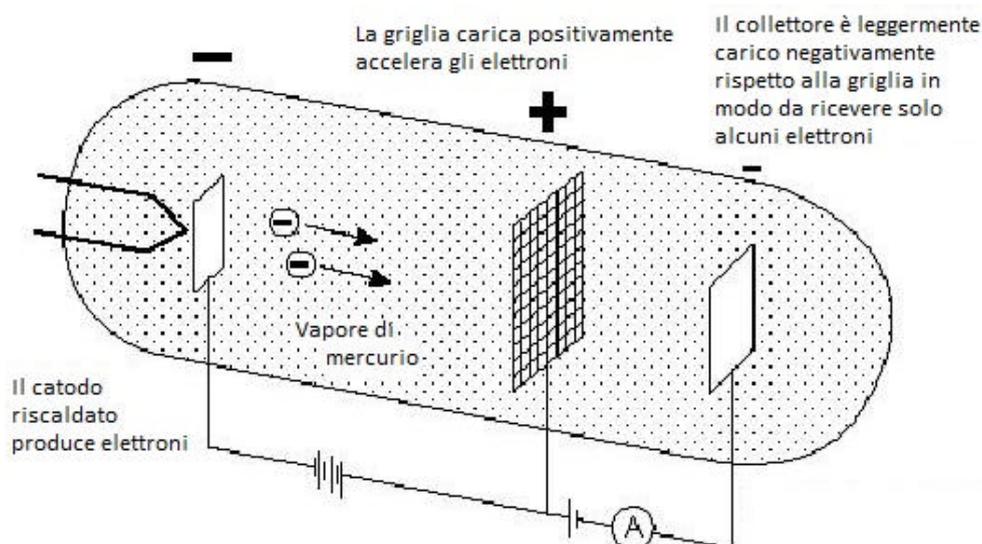
Fonte:

[www.fmboschetto.it/images/galleria\\_fisica\\_atomica.htm](http://www.fmboschetto.it/images/galleria_fisica_atomica.htm)

L'apparecchio utilizzato nell'esperienza di Franck-Hertz consiste in un vero e proprio triodo, nel senso che presenta gli stessi elementi di uno di essi, con il particolare in più che all'interno del bulbo di vetro vi è una goccia di mercurio.

Nello specifico, esso è costituito da un tubo elettronico a bassa pressione contenente mercurio (Hg), da un filamento (generalmente di tungsteno che "riscaldato" emette elettroni per effetto termoionico) che funge da catodo (elettrodo a potenziale negativo), di fronte al quale è posta una griglia con funzione di anodo (elettrodo a potenziale positivo) che "attrae" gli elettroni (accelerandoli per mezzo del potenziale applicato fra gli elettrodi), e da un collettore (o controcatodo), a potenziale negativo rispetto all'anodo. Il tubo viene riscaldato per controllare la pressione dei vapori di mercurio; Infatti poiché la pressione dipende dalla temperatura, il valore della pressione è determinante per l'esperienza. Se la densità del vapore è troppo bassa ci possono essere troppo pochi atomi del mercurio per produrre gli effetti osservabili.

Ad una pressione troppo alta invece, l'agitazione termica diventa noiosa poiché si riduce il cammino libero medio degli elettroni.



### PREMESSA TEORICA:

Bohr fu il primo fisico in grado di dedurre lo schema dei livelli elettronici di un atomo. Egli svolse il suo lavoro non avendo adeguate strumentazioni matematiche e dovette perciò fermarsi a quello dell'atomo d'idrogeno (l'elemento più leggero dotato di un solo elettrone), ed introducendo il concetto di orbite stazionarie, dimostrò appunto che l'energia di un elettrone atomico è quantizzata e formulò i tre seguenti e fondamentali postulati:

1. Gli elettroni atomici percorrono orbite di tipo planetario i cui parametri sono quantizzati secondo la legge:  $L = nh$  essendo  $n$  un numero naturale,  $L$  il momento angolare ed  $h$  la costante di Plank, il cui valore è  $6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$ .
2. Gli elettroni atomici non irradiano energia mentre percorrono un'orbita quantizzata.
3. Viene irradiata energia solo quando un elettrone "salta" fra due orbite di energia  $E_n$  ed  $E_{n'}$ , si ha emissione se  $E_{n'} > E_n$ , assorbimento nel caso contrario. L'onda elettromagnetica irradiata in tal caso oscilla con una frequenza  $\nu$  tale che  $\Delta E = h\nu$ .

Franck ed Hertz, nel loro esperimento, "si servirono" di tali postulati dimostrando che effettivamente esistono dei livelli energetici atomici quantizzati anche negli atomi pesanti.

Essi bombardarono i vapori di vari "elementi" con elettroni di nota energia (cinetica), provocandone l'eccitazione che avviene solo per precisi valori di tale energia; valore appunto coincidente con la differenza energetica fra due diversi livelli atomici considerati. In generale un'interazione di tale tipo può dare origine a due distinti fenomeni di scattering:

- a) **Urti elastici.** In questo caso l'elettrone subisce la repulsione coulombiana della nuvola atomica ed esce dal processo di urto modificando la sua traiettoria ma senza perdere energia (poiché la forza di Lorentz non compie lavoro).
- b) **Urti anelastici.** Se l'elettrone possiede sufficiente energia cinetica, nel processo d'urto una parte di tale energia viene ceduta al sistema atomico che, come detto in precedenza, passa dallo stato fondamentale al suo primo livello eccitato (a più alta energia).

Indicando con  $E_f$  ed  $E_i$  l'energia degli stati iniziali e finali del sistema atomico, possiamo scrivere :

$$E_f = E_i + \Delta E$$

essendo in tal caso  $\Delta E$  la differenza di energia fra lo stato iniziale e quello eccitato. L'energia perduta dall'elettrone durante l'urto è pari a

$$\Delta E = m (v_i^2 - v_f^2) / 2$$

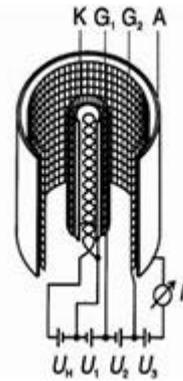
essendo  $v_i$  e  $v_f$  le velocità dell'elettrone prima e dopo l'urto.

Ricordando i postulati di Bohr, possiamo affermare che l'urto anelastico può aver luogo solo se l'energia dell'elettrone sia maggiore o uguale della quantità  $\Delta E$ , cioè pari alla differenza di energia fra l'ultimo stato elettronico occupato ed il primo stato vuoto.

Poiché si prevede che gli atomi hanno livelli di energia discreta, negli urti con gli elettroni anche il trasferimento avviene solo per quantità "precise" di tale energia (salti discreti discontinui).

## Spiegazione del funzionamento del tubo elettronico:

Come già detto il dispositivo è composto da: un tubo di vetro a bassa pressione che contiene quattro elettrodi cilindrici (Fig.3) e alcune gocce di mercurio. Il catodo (K) è circondato dalla griglia di controllo (G1) posta ad una distanza di qualche decimo di millimetro, dalla griglia di accelerazione (G2) posta ad una distanza maggiore ed infine dal collettore (A) che circonda i tre elettrodi precedenti. Per evitare differenze di potenziale lungo la superficie del catodo, si utilizza un catodo a riscaldamento indiretto. Gli elettroni, emessi dal catodo per effetto termoelettronico, vanno a formare una carica spaziale e vengono accelerati per mezzo della tensione di controllo applicata fra la prima griglia ed il catodo. Considerando trascurabile la perdita di elettroni che si verifica quando essi attraversano la seconda griglia, la corrente risulta praticamente indipendente dalla tensione di accelerazione applicata fra le due griglie.



*Rappresentazione schematica del tubo di Frank-Hertz per vapori di mercurio*

Tra la seconda griglia ed il collettore è applicata una tensione minore, la quale esercita un'azione frenante sugli elettroni, per cui solo quelli che hanno acquistato una sufficiente energia cinetica possono raggiungere il collettore e contribuire alla circolazione della corrente.

Nel corso di questo esperimento si misura la corrente di collettore al variare della tensione di accelerazione (0 ? 30 Volt); mentre la tensione di controllo e la tensione frenante rimangono costanti. Inizialmente, aumentando la tensione di controllo, la corrente di collettore aumenta come in un comune tetrodo fino a raggiungere un valore massimo quando, in prossimità della seconda griglia, gli elettroni hanno acquistato un'energia cinetica sufficiente ad eccitare per collisione gli atomi di mercurio. Dopo tale collisione, poiché gli elettroni non riescono più a vincere l'azione della tensione frenante, la corrente diminuisce drasticamente. Aumentando ancora la tensione di accelerazione, gli elettroni raggiungono l'energia necessaria per eccitare gli atomi di Hg sempre più vicino alla prima griglia. In questo caso dopo la prima collisione, gli elettroni vengono nuovamente accelerati in modo che se la tensione di accelerazione è sufficientemente elevata, essi ricevono dal campo elettrico l'energia necessaria ad eccitare più di una volta altri atomi di mercurio. Ciò è dovuto alla maggiore velocità acquistata dall'elettrone sottoposto ad un campo elettrico più elevato. Inoltre, facendo presente che gli elettroni, avendo una massa di molto inferiore a quella atomica, (nel nostro caso circa 360.000 volte) non modificano in maniera apprezzabile lo stato di moto traslazionale dell'atomo di Hg ma modificano sensibilmente il loro moto.

Quindi si otterranno altri massimi sempre più crescenti in corrispondenza di determinati (e sempre crescenti) valori della tensione acceleratrice.

## SVOLGIMENTO:

L'attività consiste nel rilevare almeno una ventina di coppie (V,I) al variare della tensione acceleratrice V come per una qualsivoglia curva caratteristica. In effetti quello che si fa non è altro che individuare la curva caratteristica di un ben preciso conduttore che è rappresentato dal tubo sopra descritto alla temperatura mediamente costante alla quale si sceglie di operare. Lo stesso dispositivo, portato ad un'altra temperatura, rappresenterebbe un conduttore diverso dal precedente.

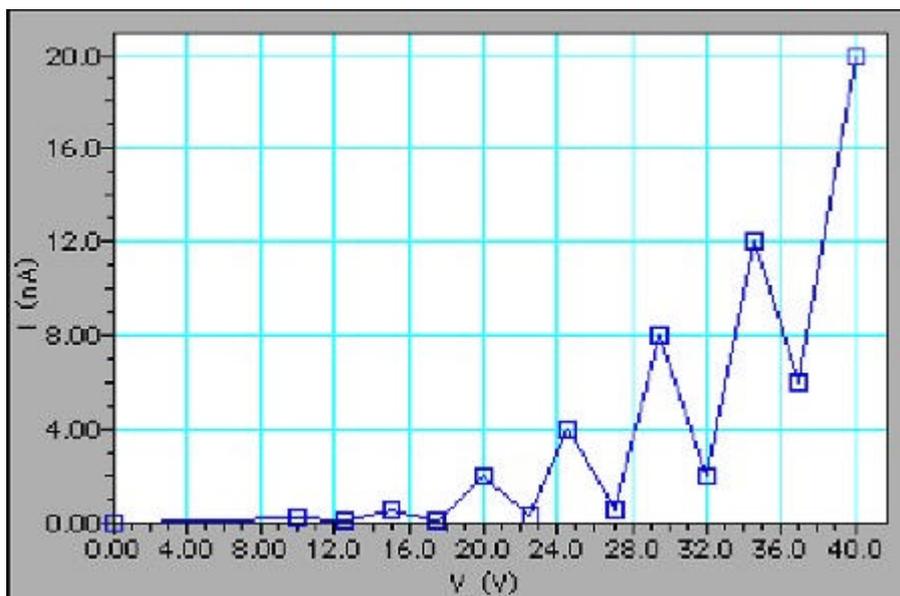
Per il resto non rimane che rappresentare in un piano cartesiano (V,I) le coppie, studiarne l'andamento e verificare che risulta invariante l'ampiezza dell'intervallo di tensione che determina due cadute consecutive della corrente elettrica.

**DATI E OSSERVAZIONI:**

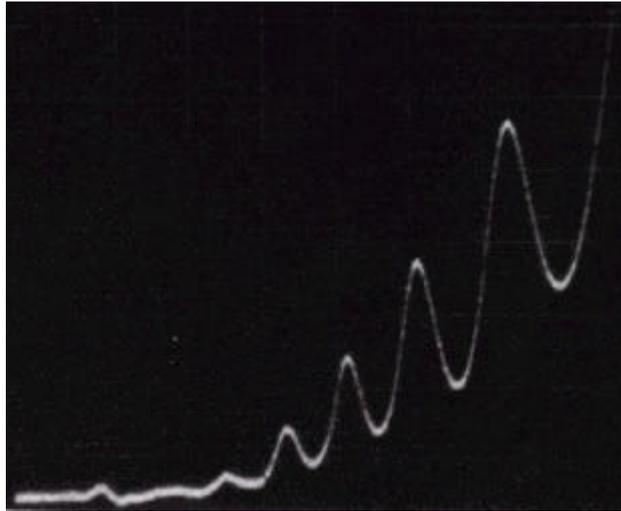
Le misure eseguite come sopra descritto forniscono dati del tipo:

| V (V) | I (nA) |
|-------|--------|
| 0.00  | 0.00   |
| 10.0  | 0.200  |
| 12.5  | 0.0400 |
| 15.0  | 0.500  |
| 17.5  | 0.100  |
| 20.0  | 2.00   |
| 22.5  | 0.300  |
| 24.5  | 4.00   |
| 27.0  | 0.500  |
| 29.5  | 8.00   |
| 32.0  | 2.00   |
| 34.5  | 12.0   |
| 37.0  | 6.00   |
| 40.0  | 20.0   |

Il cui grafico è il seguente.



Quando i dati vengono registrati con un intervallo di campionamento più stretto, come avviene, ad esempio, con un sistema di acquisizione on-line preceduto da opportuno amplificatore di corrente, si ottengono dati del seguente tipo.



**CONCLUSIONI:**

L'esperienza di Franck e Hertz, come possiamo vedere dai risultati riportati nei grafici, è riuscita a dimostrare la validità del principio di quantizzazione dell'energia, verificando il modello atomico di Bohr anche per atomi più pesanti di quelli di idrogeno.

Fonti:

[http://ww2.unime.it/dipfisica/laboratorio\\_di\\_fisica/Franck\\_ed\\_Hertz.htm](http://ww2.unime.it/dipfisica/laboratorio_di_fisica/Franck_ed_Hertz.htm)

[http://www.fisica.uniud.it/URDF/secif/mec\\_q/esp/frank.htm](http://www.fisica.uniud.it/URDF/secif/mec_q/esp/frank.htm)