

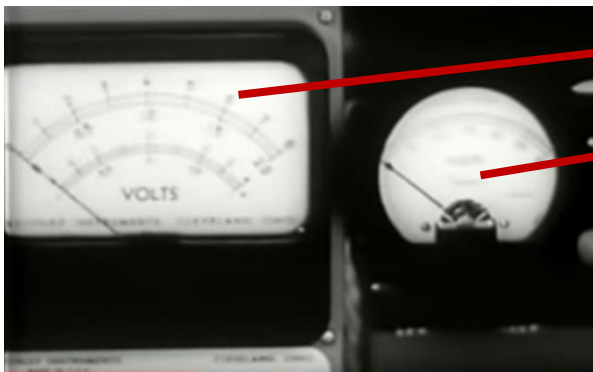
L'ESPERIENZA DI FRANCK E HERTZ

SCOPO DELL'ESPERIENZA:

Verificare e dimostrare il modello atomico postulato dal Niels Bohr nel 1913.

MATERIALI UTILIZZATI:

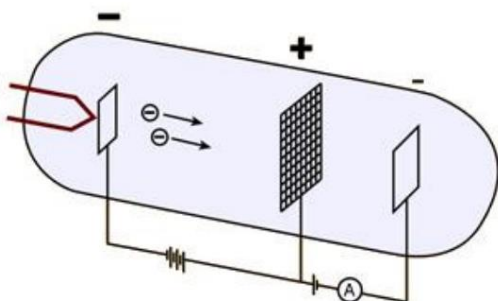
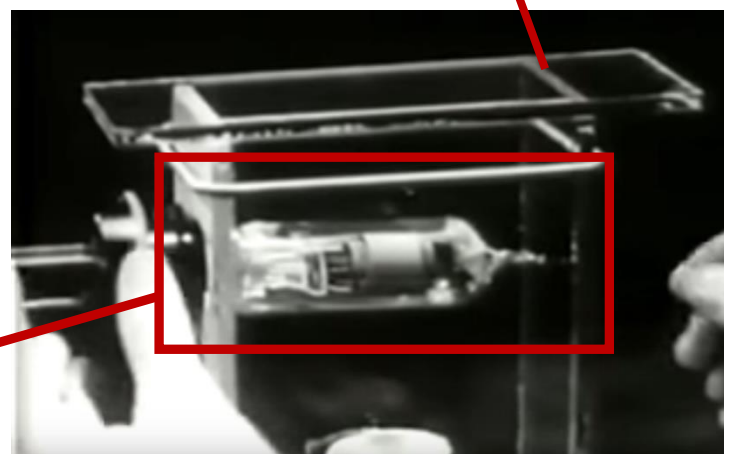
- uno speciale tubo a vuoto con all'interno una goccia di mercurio e costituito da una struttura di elettrodi con nel mezzo un piccolo catodo cilindrico con dentro un filamento per scaldarlo e una griglia di controllo costituita da un filo avvolto ad elica mentre attorno a tali elettrodi viene posta una griglia acceleratrice, costituita da una griglia metallica cilindrica, e un anodo metallico cilindrico concentrico con quest'ultima
- Voltmetro da 0 a 30 V necessario a misurare la tensione acceleratrice
- Elettrometro necessario a misurare la corrente anodica nel tubo a vuoto
- Stufa
- Compasso
- Carta millimetrata
- Un registratore automatico
- Spettografo
- Un tubo a vuoto in quarzo contenente solamente due elettrodi, un filamento



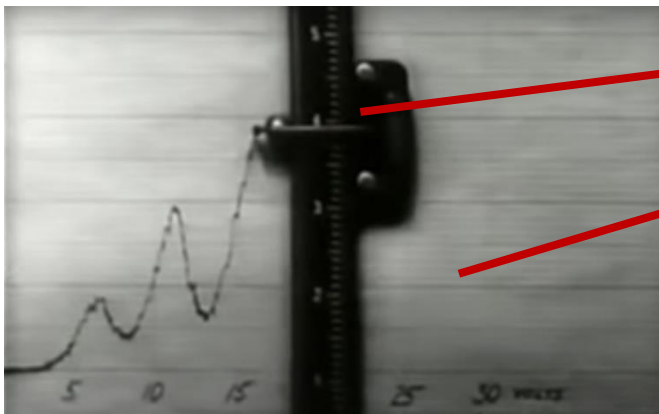
voltmetro

elettrometro

stufa



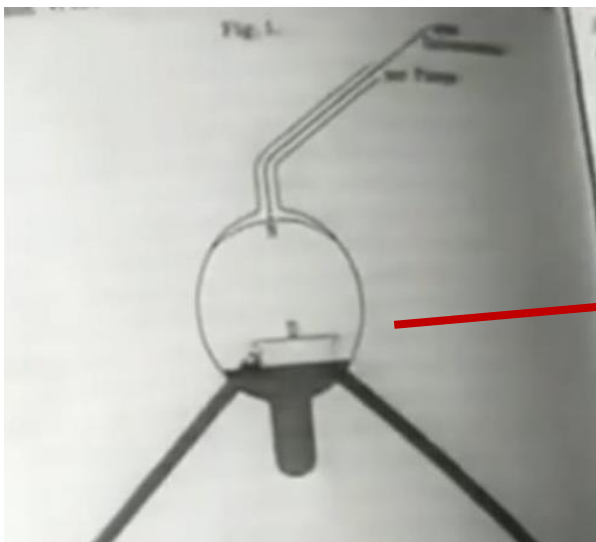
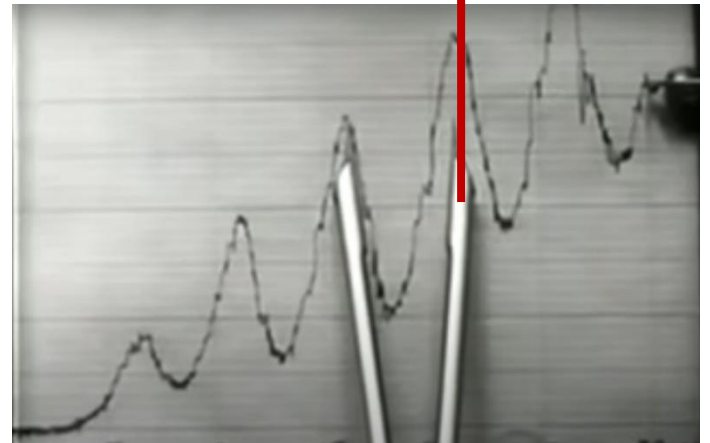
Il tubo a vuoto utilizzato viene riempito da vapori di mercurio: gli elettroni emessi per evaporazione dal catodo grazie ad un filamento caldo vengono guidati da una differenza di potenziale ΔV , una tensione acceleratrice usata per fornire energia agli elettroni quando passano fra le griglie, ed interagiscono con vapori di mercurio e dopo aver oltrepassato l'anodo a forma di griglia, necessaria affinché vengano lasciati passare solamente gli elettroni di almeno 1 eV ossia quelli utili in quanto in grado di cedere energia agli atomi di mercurio, raggiungono un secondo catodo collegato a un amperometro



registratore automatico

Carta millimetrata

compasso



tubo a vuoto in quarzo contenente solamente due elettrodi e un filamento

PREMESSA TEORICA:

Il modello atomico di Bohr venne proposto nel 1913 con l'intento di superare i limiti del modello precedente, ossia il modello planetario di Rutherford il quale non giustificava come l'elettrone potesse muoversi attorno al nucleo carico positivamente senza che, a causa del suo moto intorno al nucleo e della conseguente accelerazione che ne consegue, gli elettroni perdano energia e precipitino sul nucleo. Bohr fece ciò elaborando un modello atomico che univa le conoscenze della fisica classica con quelle della fisica quantistica applicando al modello atomico di Rutherford la teoria della quantizzazione dell'energia di Planck e Einstein; pertanto il modello da lui proposto prevedeva degli elettroni orbitanti attorno al nucleo su orbite specifiche e ben definite e si basava su quattro postulati ossia:

1° Postulato: L'elettrone in un atomo si muove secondo un'orbita circolare intorno al nucleo e il suo moto in tale orbita è regolato dalla forza elettrica di Coulomb tra l'elettrone carico negativamente e il nucleo carico positivamente.

2° Postulato: Il moto dell'elettrone è descritto dalle leggi di Newton ma, proprio perché occorre spiegare come facesse l'elettrone a non perdere energia a causa dell'accelerazione centripeta, Bohr introdusse il fatto che non tutte le orbite fossero permesse ma che fossero possibili solo quelle aventi un raggio r tale che il momento angolare L dell'elettrone fosse un multiplo intero di $h/2\pi$, dove h è la costante di Planck, ovvero $L = n(h/2\pi)$, dove n è un numero intero positivo maggiore di 1, poiché solo in questo modo era possibile che l'elettrone si muovesse lungo l'orbita senza emettere energia (fig.1)

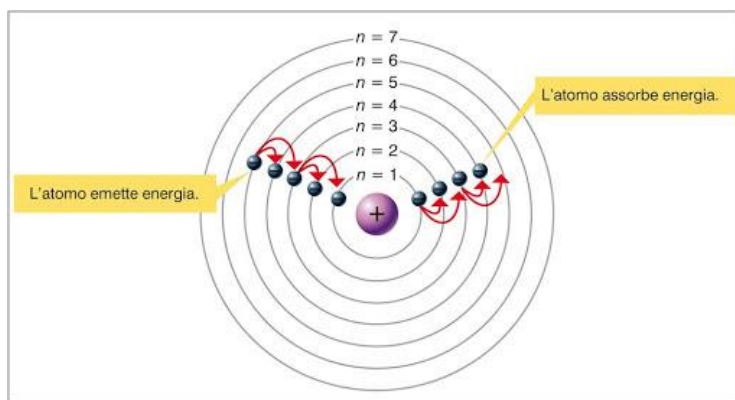


Figura 1

3° Postulato: Un elettrone in un'orbita di Bohr non emette continuamente una radiazione elettromagnetica e pertanto la sua energia è costante, l'orbita viene detta orbita stazionaria

4° Postulato: Una radiazione viene emessa solo quando un elettrone passa da un'orbita a maggiore energia a un'orbita a minore energia: in tal caso l'energia persa ΔE viene emessa come un quanto di radiazione avente frequenza ν data dalla equazione di Planck- Einstein $\Delta E = h\nu$ permettendo così di prevedere le frequenze della radiazione emessa dall'atomo, la quale può assumere solo determinati valori e che corrispondono alle righe dello spettro d'emissione.

Il modello di Bohr fu quindi il primo a dare una spiegazione al fenomeno delle righe spettrali in quanto ogni elemento assorbe ed emette luce a ben definite frequenze, generando uno spettro di assorbimento od emissione a righe, da cui il nome righe spettrali. Nella transizione da un'energia ammessa ad un'altra, l'elettrone deve assorbire o emettere energia, solitamente sotto la forma di fotoni, e tale energia assorbita o emessa sarà pari alla differenza tra le energie dei due livelli coinvolti nella transizione. Le energie permesse per l'elettrone calcolate da Bohr risultano essere proprio quelle che, considerando la differenza tra due diversi valori permessi, danno luogo alle varie serie di righe nello spettro dell'idrogeno. Tuttavia tale modello atomico, pur essendo molto importante elettromagnetica dal punto di vista storico perché indicò alla comunità scientifica una buona strada per poter spiegare i comportamenti subatomici che in quel periodo venivano osservati per la prima volta, è un modello ibrido ossia che non può essere considerato quantistico se misurato con canoni moderni in quanto usa contemporaneamente sia la meccanica classica, infatti egli tratta gli elettroni come se fossero particelle classiche e non oggetti quantistici e utilizza ancora l'idea di traiettoria, sia alcune ipotesi quantistiche e per questo viene definito un modello "semiclassico".

Riassumendo per la presente esperienza è necessario ricordare che la materia scambia energia sottoforma di pacchetti energetici discreti detti quanti, come teorizzato da Planck, e che pertanto gli atomi possono assorbire ed emettere solo valori specifici di energia e che tale energia corrisponde all'energia che consente agli elettroni di compiere un salto raggiungendo uno stato eccitato, ritornando poi allo stato fondamentale ed emettendo la stessa energia sottoforma di

fotoni, ossia emettendo una luce avente una lunghezza d'onda corrispondente alla differenza di energia fra i due stati energetici (fig.2) e che corrisponde, giustificandole, alle righe dello spettro di emissione dei vari elementi.

In accordo con tale modello durante l'esperienza all'aumentare della tensione, eccezione fatta per i primi momenti in cui essa non è sufficiente a far sì che gli elettroni raggiungano e superino la seconda griglia, anche la corrente anodica dovrebbe aumentare gradualmente ma, essendo presenti sul cammino degli elettroni degli atomi di mercurio, si dovrebbero verificare delle cadute di corrente in quanto quando gli elettroni che urtano gli atomi di mercurio hanno un'energia di un valore tale da poter essere assorbita da tali atomi essa viene allora ceduta loro dagli elettroni per intero, sotto forma di pacchetti di energia discreti e pertanto, avendo ceduto tutta la loro energia agli atomi di mercurio, non hanno sufficiente energia per oltrepassare la barriera di potenziale della seconda griglia e non viene quindi registrata alcuna corrente.

ESECUZIONE DELL'ESPERIENZA:

Dopo aver predisposto tutti gli strumenti ed aver osservato l'andamento della corrente anodica al variare della tensione in assenza di atomi di mercurio occorre procedere con la misurazione della corrente nel tubo a vuoto al variare della tensione acceleratrice grazie al voltmetro e della corrente anodica tramite l'elettrometro in presenza di tali atomi. Dopo aver studiato l'andamento senza atomi di mercurio utilizzando per l'elettrometro la scala intermedia che va da 0 a 2 unità di 10^{-5} ampere. Fatto ciò occorre riportare a zero i valori e introdurre sul percorso degli elettroni il tubo a vuoto, ponendolo all'interno della stufa così che il tubo contenente le gocce di mercurio venga portato a $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ affinché tale elemento evaporino e si diffondano per tutto il tubo, in modo tale che anche quando tali vapori condensano sulle pareti fredde ridiscendendo sotto forma di gocce rievaporino nuovamente. A questo punto è necessario cambiare scala utilizzando 10^{-8} anziché 10^{-5} ampere, procedendo poi aumentando gradualmente la tensione acceleratrice fino ad un massimo di 30 V osservando come cambia la corrente anodica (fig.3); dopo aver notato che essa aumenta e precipita ripetutamente e aver osservato che si verificano 5 cadute di corrente

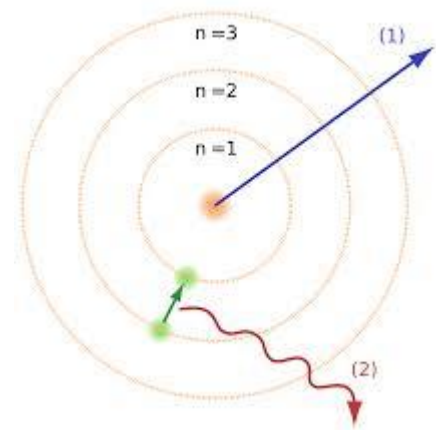


Figura 2



Figura 3

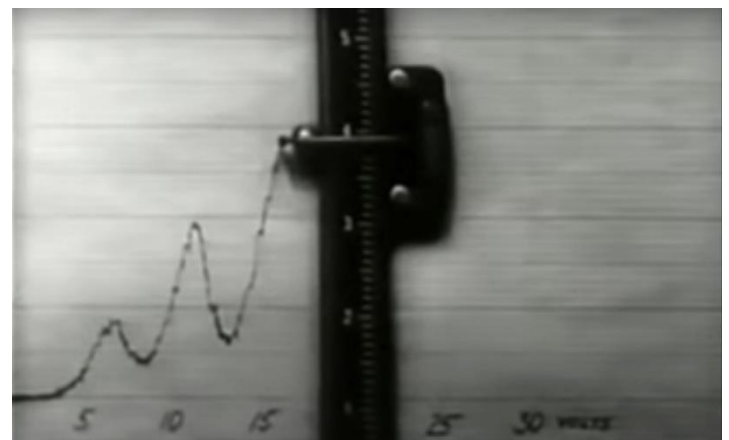


Figura 4

si deve ripetere l'esperienza utilizzando un dispositivo, un registratore automatico, in grado di fare un grafico della corrente anodica in funzione della tensione acceleratrice così da poter rilevare dal grafico i valori per cui si verificano le cadute di corrente (fig.4). In seguito bisognerà misurare con il compasso la distanza fra i vari picchi (fig.5) a partire dalla distanza fra il primo e il secondo picco in quanto considerando il primo si rischierebbe di introdurre una misura eccessivamente compromessa da errori poiché non è possibile sapere esattamente dove la

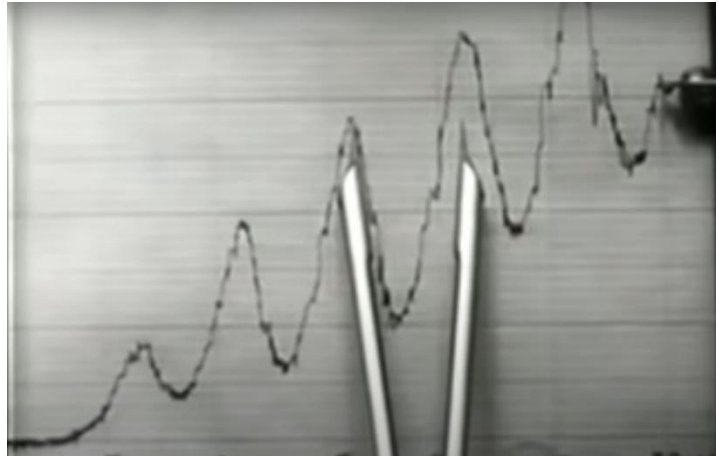


Figura 5

corrente inizia a passare. Infine da ultimo utilizzando la lunghezza d'onda in corrispondenza della quale si ha la riga spettrale del mercurio si potrà procedere a calcolare il rapporto che sussiste tra il più piccolo pacchetto di energia che un atomo di mercurio può accettare e il pacchetto di energia di un fotone. Tuttavia poiché tali osservazioni implicano due diverse spiegazioni e consento di concludere solamente che il più piccolo pacchetto di energia che un atomo di mercurio può accettare è di 4.9 eV occorre eseguire un ulteriore esperimento, così da garantire una maggior precisione nello studio del fenomeno, osservando l'emissione di fotoni di energia pari a 4.9 eV: tale esperienza può essere realizzata utilizzando uno spettrografo e un tubo a vuoto in quarzo contenente solamente due elettrodi, un filamento e del mercurio, da riscaldare fino ad ottenere una pressione di vapore che consenta un numero sufficientemente elevato di urti anelastici; stabilendo una differenza di potenziale leggermente maggiore a 4.9 V e ponendo il tubo a vuoto davanti allo spettrografo compare una sola riga di emissione, a differenza del normale spettro di emissione del mercurio, in corrispondenza della lunghezza d'onda utilizzata per calcolare il pacchetto di energia di un fotone, ossia 2537 Å.

OSSERVAZIONI, DATI ED ELABORAZIONE:

Grafico della corrente anodica in funzione della tensione acceleratrice

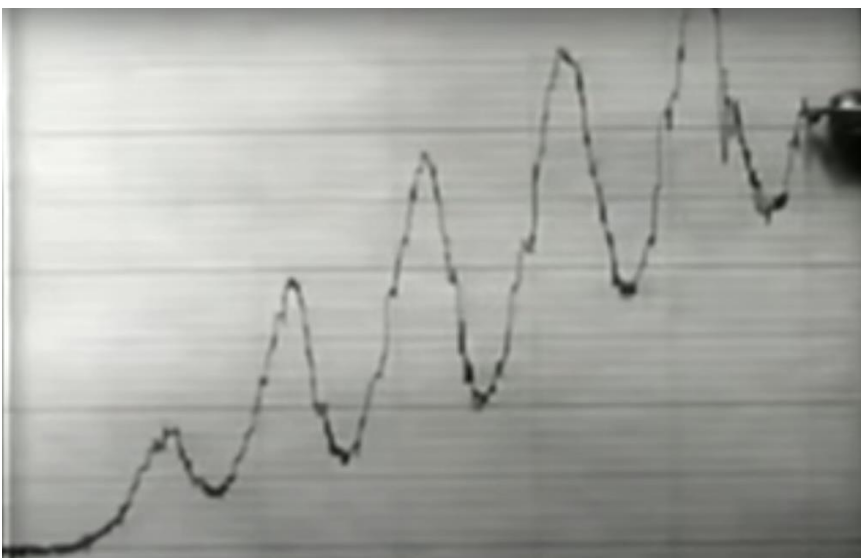


Tabella relativa ai dati dei picchi di corrente anodica

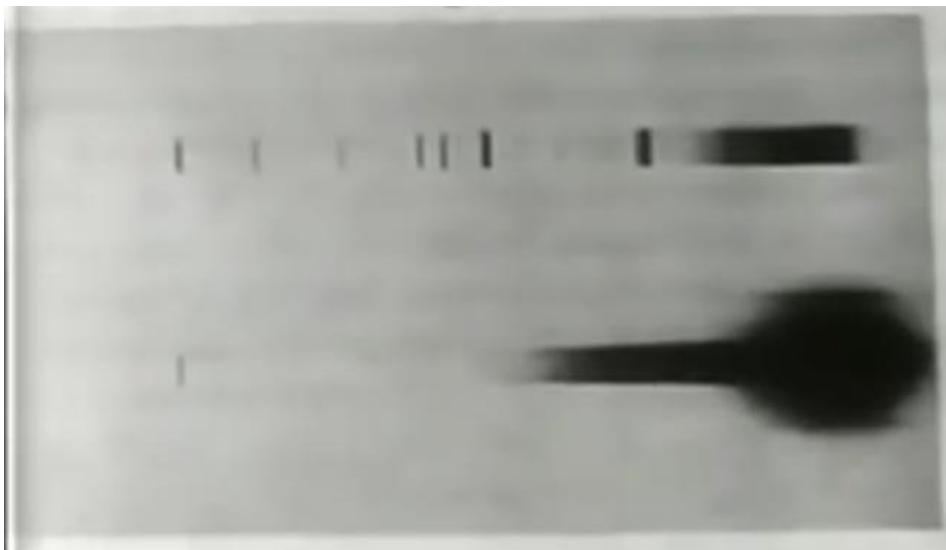
DISTANZA CONSIDERATA	valore della distanza [V]
primo-secondo picco	4.5
secondo-terzo picco	4.8
terzo-quarto picco	4.9
quarto-quito picco	5.1
Valore medio: 4.8 V	

Calcolo del valore medio della distanza in volt fra i picchi:

$$\Sigma \text{ distanza} / 4 = (4.5 + 4.8 + 4.9 + 5.1) V / 4 = 4.83 V$$

Calcolare l'energia di un fotone

$$E = \frac{12397 \text{ eV } \text{\AA}}{2537 \text{ \AA}} = 4.89 \text{ eV}$$

Grafico di confronto fra lo spettro di emissione del mercurio e quello discretoOsservazioni:

Inizialmente quando l'osservazione avviene in assenza di atomi di mercurio e la tensione acceleratrice viene gradualmente aumentata all'inizio non si registra alcuna corrente, in quanto inizialmente gli elettroni non hanno sufficiente energia per oltrepassare barriera di potenziale, ma in seguito essa aumenta gradualmente. Quando invece sul percorso degli elettroni vengono introdotti degli atomi di mercurio questi ultimi vengono urtati dagli elettroni che cedono loro energia sottoforma di pacchetti energetici detti quanti: inizialmente quando la tensione viene aumentata non si verifica nessun passaggio di corrente per lo stesso motivo della prima osservazione mentre inseguito al progressivo aumento di tensione si verifica anche un graduale aumento della corrente anodica finché, arrivati ad uno specifico valore della tensione, si registra un brusco calo della stessa. Tale fenomeno si ripete e osservando il grafico e le misurazioni ottenuti si deduce che tali cadute avvengono ad intervalli che sono all'incirca uguali: questo può essere spiegato in due differenti modi ossia con il fatto che un atomo di mercurio può

assorbire solo pacchetti di energia multipli di 4.9 V oppure con il fatto che gli elettroni urtano così spesso con gli atomi di mercurio che quando arrivano a circa 5 eV non ce la fanno a salire ancora di energia ma cedono la propria energia ad un atomo di mercurio, ricominciando così tale processo diverse volte lungo il percorso che intercorre fra le due griglie, e dunque essi riescono a passare oltre la barriera di potenziale della griglia, facendo sì che si verifichi una corrente, solamente quando o non si verifica nessun urto anelastico o quando il primo urto anelastico che si verifica, e che avviene tanto più vicino alla griglia uno quanto maggiore è la tensione acceleratrice, non permette che se ne verifichi di successivi prima della griglia due che faccia sì che essi cedano tutta la propria energia in quanto impedirebbe loro di avere quella sufficiente a superare la barriera di potenziale. Tuttavia poiché a partire da tale esperimento non è possibile trarre una conclusione unica ma si giunge a un risultato che implica due diverse spiegazioni si può concludere solamente che il più piccolo pacchetto di energia che un atomo di mercurio può accettare è 4.83 eV; tuttavia calcolando il pacchetto di energia trasportato da un fotone e osservando che i due valori sono pressoché uguali, ossia 4.83 eV e 4.89 eV, si deduce che l'atomo di mercurio è in grado di assorbire tanta energia da un elettrone quanta ne è in grado di emettere con un fotone. Inoltre a partire dal risultato ottenuto dal secondo esperimento è possibile dire che quanto osservato risulta essere in perfetto accordo con quanto affermato da Bohr, ossia che il sistema elettronico degli atomi si può trovare solo in stati discreti di energia e che l'emissione di energia e di luce avviene solamente quando un elettrone di tale atomo dopo essere stato eccitato ad uno stato quantico superiore ritorna allo stato quantico iniziale emettendo una luce che ha una lunghezza d'onda che dipende strettamente dalla differenza energetica dei due stati, in quanto si è potuto osservare che l'atomo di mercurio emette fotoni solamente con un'energia pari a quella assorbita dagli elettroni e che la lunghezza d'onda corrispondente a tale emissione di luce, ossia 2537 Å, corrisponde alla transizione dal primo stato eccitato allo stato fondamentale

CONCLUSIONI:

A seguito dei dati e dei grafici ottenuti grazie all'esperienza svolta è possibile concludere affermando che l'esperimento si può quindi definire riuscito poiché si è giunti a dimostrare tramite l'esperienza lo scopo preposti in quanto le osservazioni e le conclusioni tratte dallo svolgimento dell'esperienza sono coerenti con quanto previsto dal modello di Bohr che si voleva verificare infatti partendo dalle osservazioni si può dedurre che gli atomi di mercurio possono assorbire energia dagli elettroni solamente quando essa si presenta in una quantità ben precisata e che coincide con la differenza di energia fra i due livelli come dimostrato dal fatto che la stessa quantità di energia viene emessa sotto forma di fotoni