

# Esperienza di Frank ed Hertz

Gruppo AA

Luca Ciambriello, Gianfranco Cordella, Leonardo Bertini

24 Febbraio 2017

## 1 Scopo e strumentazione

Con questa esperienza abbiamo osservato il comportamento degli elettroni in un tetrodo contenente gas neon, soggetti a un campo elettrico esterno. In particolare abbiamo studiato l'andamento della corrente in uscita in funzione del campo applicato. La strumentazione impiegata include, un tetrodo ELWE U8482230 e un sistema di alimentazione e lettura di corrente ELWE, dove i valori delle varie grandezze sono mostrati su un display, un oscilloscopio.

In figura (1) è mostrato lo schema circuitale dell'apparato utilizzato. Nel tetrodo, alle cui estremità vi sono un catodo da cui partono generalmente gli elettroni e un anodo, sono presenti infatti due griglie; tra la griglia più vicina al catodo e il catodo stesso vi è il potenziale  $U_G$ , che incrementa il tasso di emissione degli elettroni.  $U_A$  indica invece la differenza di potenziale tra la seconda griglia e il catodo e permette di accelerare gli elettroni.  $U_E$  è, diversamente dagli altri, un potenziale frenante ed agisce tra la seconda griglia e l'anodo. Gli elettroni, una volta raggiunto l'anodo, danno luogo ad una debole corrente ( $\approx$  nA); un amplificatore permette di visualizzarla tramite un fattore di amplificazione variabile. Ai due canali dell'oscilloscopio sono osservati i potenziali  $U_A$  e  $V_{out}$ , quest'ultimo proporzionale a  $I_C$ .

## 2 Comportamento degli elettroni in seguito ad urti con atomi di neon

Dopo aver avuto cura di porre tutte le manopole a 0 in modo da annullare eventuali offset, abbiamo attivato il sistema di alimentazione, impostato la tensione applicata ai capi del filamento, che permette l'emissione di elettroni per effetto termoionico, a  $U_F = 8.0 \pm 0.5$  V.

Abbiamo atteso che il catodo raggiungesse una condizione di equilibrio.

### 2.1 Bande del neon

Abbiamo lentamente variato  $U_G$  finché non abbiamo distintamente osservato una banda luminosa tra le due griglie. Ciò è avvenuto per  $U_G = 4.3 \pm 0.1$  V. Abbiamo dunque agito anche sulla manopola di  $U_A$  osservando a partire da un certo valore di tensione la banda arancione. Continuando ad incrementare la  $U_a$  abbiamo potuto individuare dapprima due e poi tre bande ben distinte. I valori di tensione e corrente corrispondenti alla comparsa di ciascuna banda ottenuti mantenendo costante  $U_G$  (al valore prima indicato) e circa nullo il potenziale frenante  $U_e$  sono riportati in ordine in tabella (1). In assenza di potenziale frenante non è stata osservata alcuna diminuzione di corrente in corrispondenza della comparsa delle bande: in accordo con il fatto che tutti gli elettroni giungono all'anodo

$U_a$ [V]	$\Delta U_a$ [V]	$I_C$ [nA]	$\Delta I_C$ [nA]
22.5	3	8	1
40.5	3	20	1
59.0	3	86	1

Table 1: Valori di  $I_C$  in funzione di  $U_a$

In tabella (2) sono invece riportati i dati ottenuti con una tensione frenante pari a  $U_E = 6.6 \pm 0.1$  V e senza agire sulla manopola di  $U_G$ . Con un simile valore di  $U_E$  è stato possibile osservare una decrescita della corrente  $I_C$  al comparire delle bande, evidenziando così il comportamento non classico dell'atomo di neon in seguito agli urti con gli elettroni: questi ultimi infatti eccitano gli atomi di neon a ben definiti livelli energetici.

$U_a$ [V]	$\Delta U_a$ [V]	$I_C$ [nA]	$\Delta I_C$ [nA]
25.0	3	0	1
43.5	3	2	1
60.5	3	14	1

Table 2: Valori di  $I_C$  in funzione di  $U_a$

Errori così elevati al potenziale sono dovuti al fatto che le bande avevano spessore finito non trascurabile e non erano abbastanza nitide da poter determinare con maggiore precisione il potenziale a cui comparivano. Per ciascuna banda i due valori misurati, con  $U_E$  differenti, sono compatibili: infatti la comparsa delle bande è dovuta solo ad  $U_A$  e non al potenziale frenante, che influisce solo sulla corrente. All'aumentare di  $U_g$  si osservava un aumento della luminosità delle bande e della corrente di collettore. Ciò si attribuisce al fatto che quanto più grande è questo potenziale, tanto maggiore è il numero di elettroni estratti dal filamento per effetto termoionico. Inoltre si osserva che lo spessore delle bande tra la prima e la terza è crescente. Infatti gli elettroni, appena superata la griglia catodo hanno una distribuzione in energia centrata nel valore di  $U_G$  e con una certa larghezza. L'urto è un processo casuale, che quindi redistribuisce le energie con una larghezza maggiore rispetto alla precedente.

## 2.2 Generatore di rampa, osservazioni qualitative

Abbiamo attivato un generatore di potenziale dipendente linearmente dal tempo agendo sulla manopola apposita ed abbiamo posto la tensione di accelerazione al suo livello massimo possibile  $U_A = 80.0 \pm 0.5$  V. Ponendo l'oscilloscopio in modalità X-Y abbiamo così potuto osservare  $I_C$  in funzione di  $U_A$ , realizzando un grafico riportato in figura (2).

I tre minimi corrispondono alla comparsa di ciascuna delle tre bande e di tre massimi corrispondenti. Infatti in corrispondenza di ogni minimo il neon sottrae energia agli elettroni. Il secondo massimo ha un valore di corrente di collettore pari a circa il doppio rispetto a quella del primo.

Facendo attenzione a non saturare la corrente di collettore ed agendo quindi opportunamente sul guadagno, abbiamo ricercato il comportamento di  $I_C(U_A)$  al variare di  $U_E$ . In particolare, la corrente diminuisce all'aumentare della tensione frenante, mentre i minimi, e soprattutto il terzo minimo, si spostano verso destra. Questo può essere interpretato considerando il fatto che i minimi sono presenti quando gli elettroni, dopo l'urto acquisiscono nuovamente abbastanza energia per superare la barriera frenante. Di conseguenza quanto più la barriera è elevata tanto più gli elettroni necessitano di una maggiore energia dopo l'urto per superarla.

Per  $U_E$  grande il terzo e il secondo minimo diventano negativi. Ciò è attribuito ad una corrente in senso opposto di elettroni estratti dall'anodo e raccolti nella griglia più vicina ad esso.

Abbiamo ricercato il valore di  $U_E = 10.2$  V per cui i minimi si disponessero approssimativamente a  $I_C = 0$  nA come in figura (3).

## 2.3 Generatore di rampa, acquisizioni misure

Sempre utilizzando il generatore di un potenziale a rampa, variando i valori minimi e massimi di  $U_a$  si può osservare una variazione del numero di massimi e minimi della curva della corrente di collettore in funzione del potenziale  $U_a$ . Il maggior numero di massimi visualizzabile è quello di 3, nel caso in cui  $U_{A,min} = 0.0 \pm 0.5$  V,  $U_{A,max} = 80.0 \pm 0.5$  V (in figura (3)). In queste condizioni sono esplorati tutti i valori di potenziali possibili e quindi, al variare del potenziale nel tempo di salita della

rampa, tra le griglie sono presenti dapprima una sola banda luminosa, in seguito due ed infine tre. Si è regolato il guadagno dell'amplificatore in modo tale che non fosse il più grande possibile, evitando che saturasse, in modo tale da poter visualizzare sull'oscilloscopio un segnale sufficientemente elevato. Si è posto l'oscilloscopio in modalità due tracce (potenziale tra le griglie e potenziale proporzionale alla corrente di collettore in funzione del tempo). Sono state effettuate acquisizioni al variare del potenziale frenante. Si è osservata la curva della corrente di collettore in funzione del tempo (e quindi del potenziale  $U_A$ ), al variare del potenziale frenante.

E' stata effettuata dapprima una acquisizione tramite oscilloscopio della curva della corrente di collettore in funzione del potenziale tra le griglie, nelle stesse condizioni in cui era stata svolta in modalità manuale la misura iniziale ( $U_E=6.6\pm0.1$  V). E' stato ottenuto:

$U_a$ [V] massimi	$\Delta U_a$ [V]	$U_a$ [V] minimi	$\Delta U_a$ [V]
18	2	24	1
36	2	44	2
58	1	61	2

Table 3: Valori i  $U_a$  in funzione dei massimi e minimi di  $I_c$

Si nota come i valori corrispondenti ai minimi sono in accordo entro una banda d'errore con quelli misurati manualmente nella sezione precedente.

Il potenziale frenante  $U_E$  è stato variato nel range  $U_{E,min} = 0.3 \pm 0.1$  V  $U_{E,max} = 11.8 \pm 0.1$  V .

Sono stati realizzati alcuni grafici che rappresentano i valori dei massimi (figura (4), figura (5), figura (6)) e dei minimi (figura (7), figura (8), figura (9)) della curva della corrente, al variare del potenziale frenante <sup>1</sup>.

Si osserva dai grafici l'andamento crescente già discusso relativo soltanto ai minimi e non ai massimi. Questi ultimi risultano compatibili tra loro in una banda d'errore a  $U_E$  fissato.

Inoltre si misura in corrispondenza dei minimi una corrente negativa per valori di potenziale frenante sufficientemente elevati.

In quanto misura di massimi e minimi, le grandezze sono affette da un elevato errore.

### 3 Stima livello energetico del neon

Si può dare una stima delle energie dei primi livelli energetici del neon, relativi alle configurazioni 1s. Essendo queste energie vicine tra loro si è data una stima  $E_a$  valida per tutte. Il valore che ci aspettiamo è  $\sim 16.7$  eV

Si considera il fatto che una volta raggiunta l'energia del primo livello la particella percorra il suo cammino libero medio prima di eccitare il neon. Da ciò si può dedurre:

$$E_n = E_a n + E_a \frac{\lambda}{L} n^2 \quad (1)$$

Dove  $E_n$  è l'energia del livello n-esimo .

Il fit numerico al modello (??) restituisce ( $\chi^2/\text{ndof}=0.2/1$ ) il valore  $E_a= 16 \pm 2$  eV. Il valore è in accordo con quello atteso.

### 4 conclusioni

E' stato osservato il comportamento quantistico dell'eccitazione del neon dapprima in modo qualitativo ed attraverso l'osservazione diretta delle bande luminose. In seguito è stata svolta un'analisi più quantitativa. Quest'ultima, risulta essere in accordo con le osservazioni qualitative iniziali ed ha permesso di misurare alcune grandezze seppure con errori relativi piuttosto elevati.

E' stata infine data una stima anche dell'energia dei primi stati eccitati del neon.

<sup>1</sup>Non sono stati misurati massimi e minimi per potenziali minori di 6 V in quanto non erano distinguibili nella curva acquisita

## 5 Grafici ed immagini

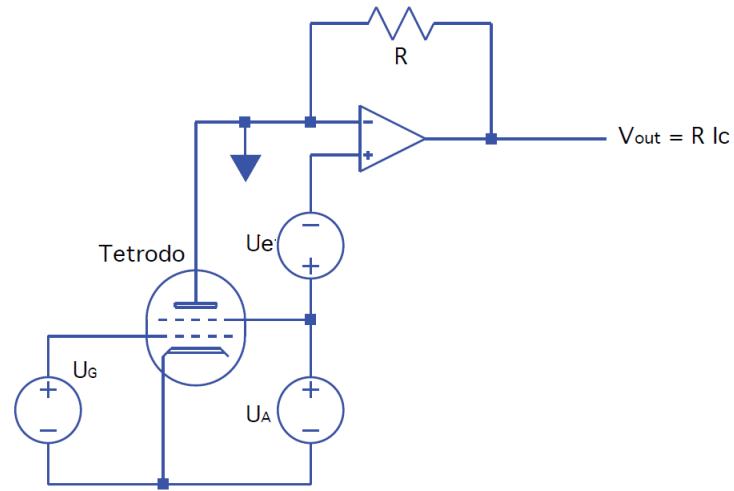


Figure 1: Schema dell'apparato utilizzato nell'esperienza

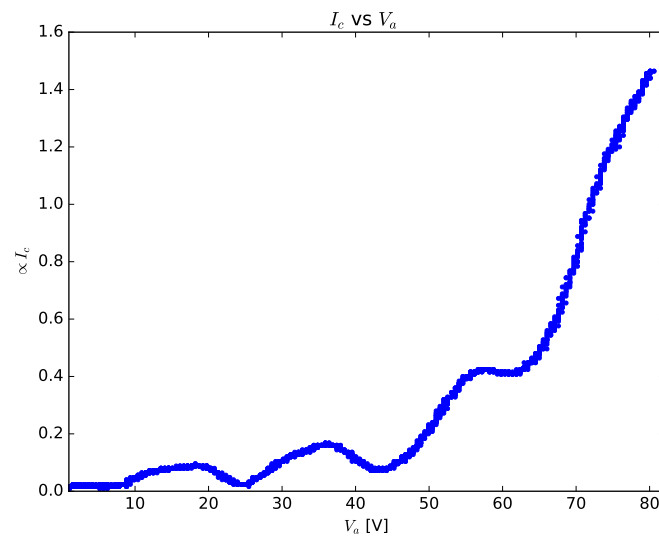


Figure 2: grafico di  $I_c$  in funzione di  $U_a$

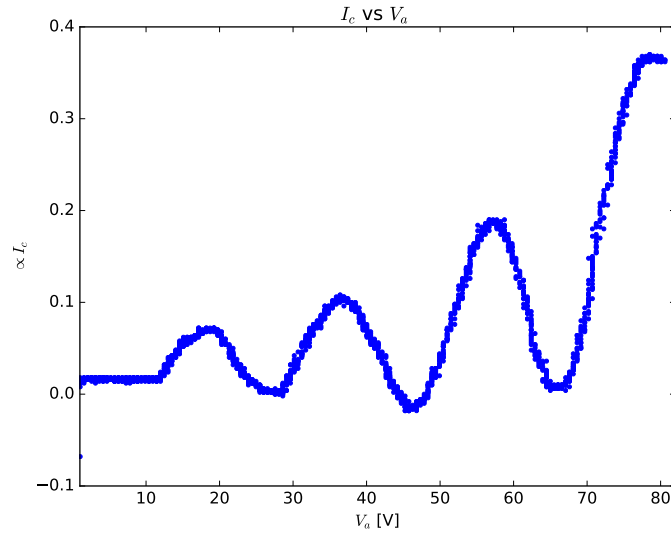


Figure 3: grafico di  $I_c$  in funzione di  $U_a$

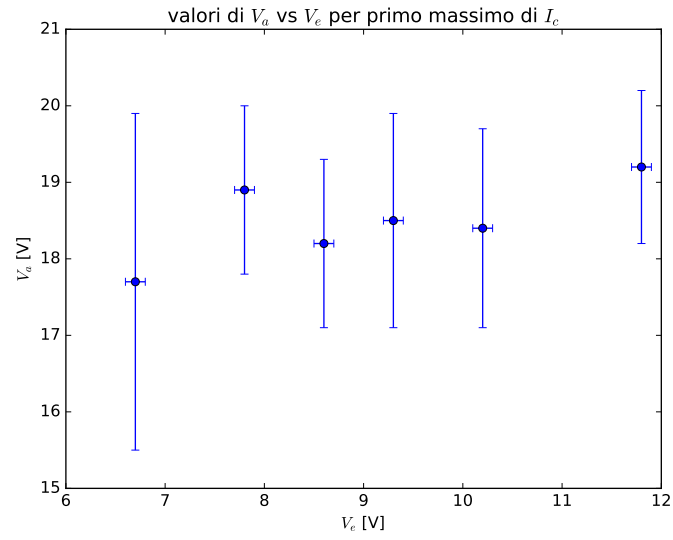


Figure 4: valori di  $U_a$  al variare di  $U_E$  in corrispondenza del primo massimo di  $I_c$

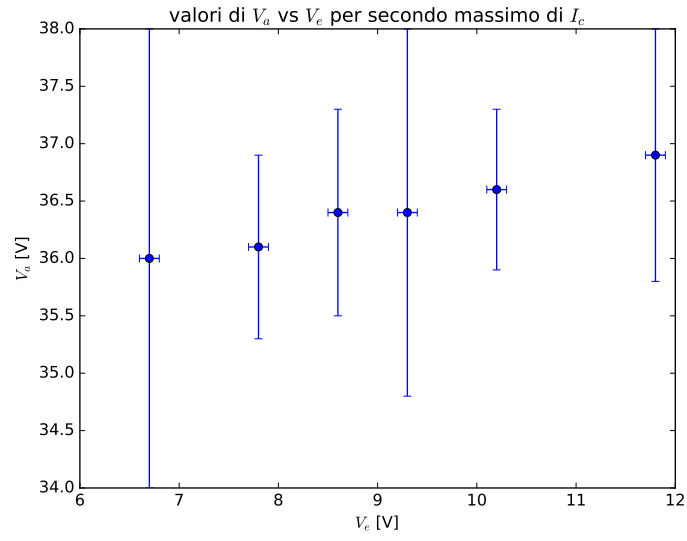


Figure 5: valori di  $U_a$  al variare di  $U_E$  in corrispondenza del secondo massimo di  $I_c$

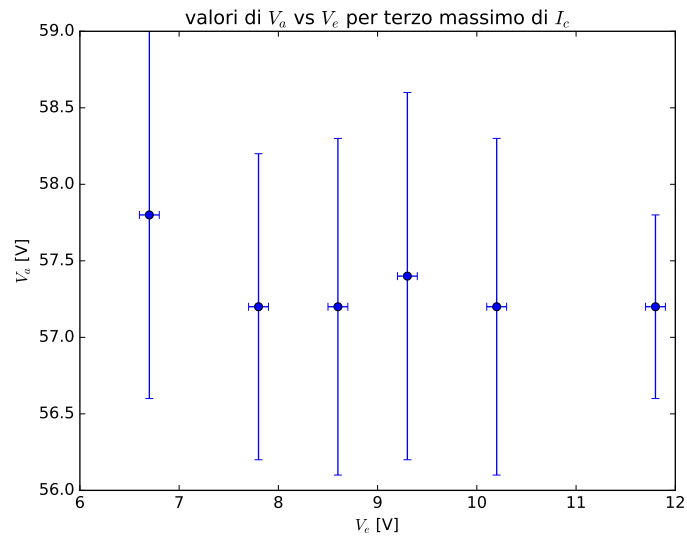


Figure 6: valori di  $U_a$  al variare di  $U_E$  in corrispondenza del terzo massimo di  $I_c$

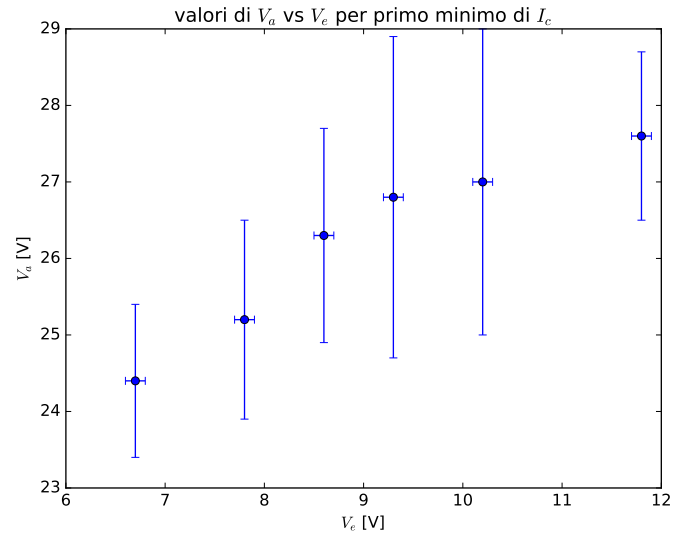


Figure 7: valori di  $U_a$  al variare di  $U_E$  in corrispondenza del primo minimo di  $I_c$

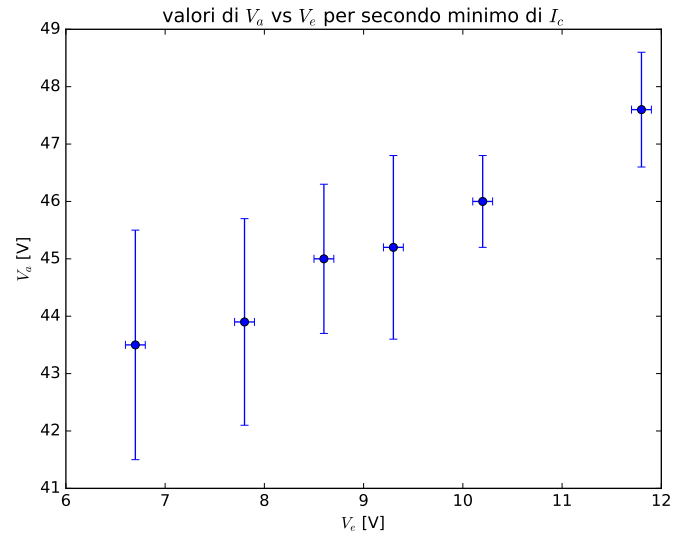


Figure 8: valori di  $U_a$  al variare di  $U_E$  in corrispondenza del secondo minimo di  $I_c$

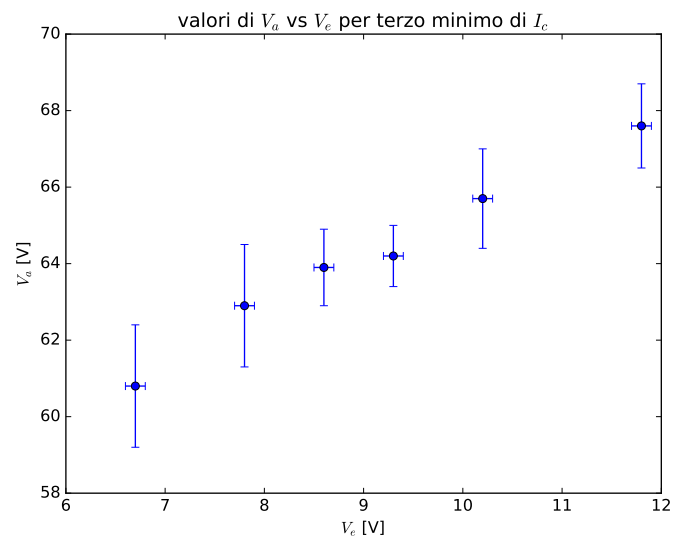


Figure 9: valori di  $U_a$  al variare di  $U_E$  in corrispondenza del terzo minimo di  $I_c$