

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]	ΔU_a [V]	I_C [nA]	ΔI_C [nA]
23	3	8	1
41	3	20	1
59	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]	ΔU_a [V]	I_C [nA]	ΔI_C [nA]
25	3	0	1
44	3	2	1
61	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	ΔU_a [V]	U_a [V] minimi	ΔU_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 di U_A corrispondenti ai massimi (figura (4), figura (5), figura (6)) e ai minimi (figura (7), figura (8), figura (9)) della curva della corrente, al variare del potenziale frenante ¹.

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

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 ~ 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 (1) utilizzando i valori dei massimi in tabella (3) restituisce ($\chi^2/\text{ndof}=0.2/1$) il valore $E_a = 16 \pm 2$ eV. Il valore è in accordo con quello atteso.

Si ottiene inoltre dal fit $\frac{\lambda}{L}=0.06\pm0.05$. Dato che l'errore su questo parametro è elevato e non è stata misurata la distanza L tra le due griglie, non è possibile dare una misura del cammino libero medio. Tuttavia è possibile avere un'idea del suo ordine di grandezza: la distanza tra le due griglie è dell'ordine di 1 cm, di conseguenza λ è dell'ordine del mezzo millimetro.

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

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

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.

5 Grafici ed immagini

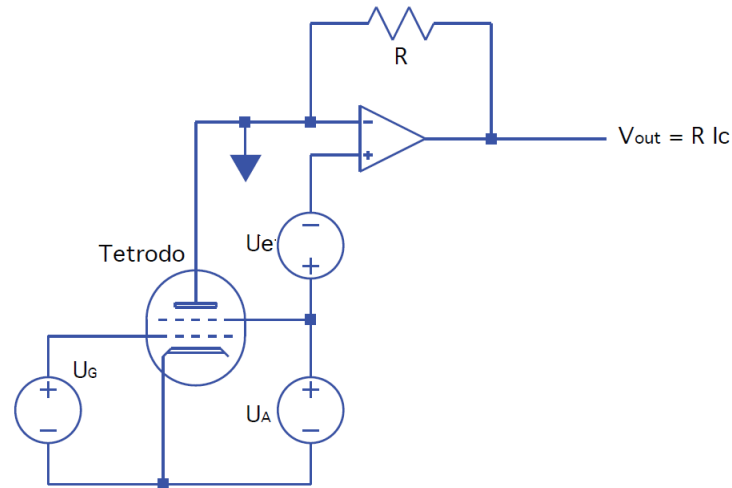


Figure 1: Schema dell'apparato utilizzato nell'esperienza

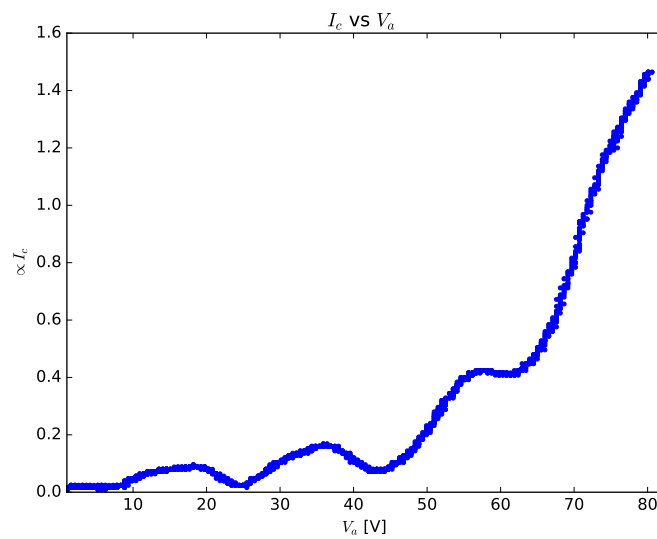


Figure 2: grafico di I_c in funzione di U_a

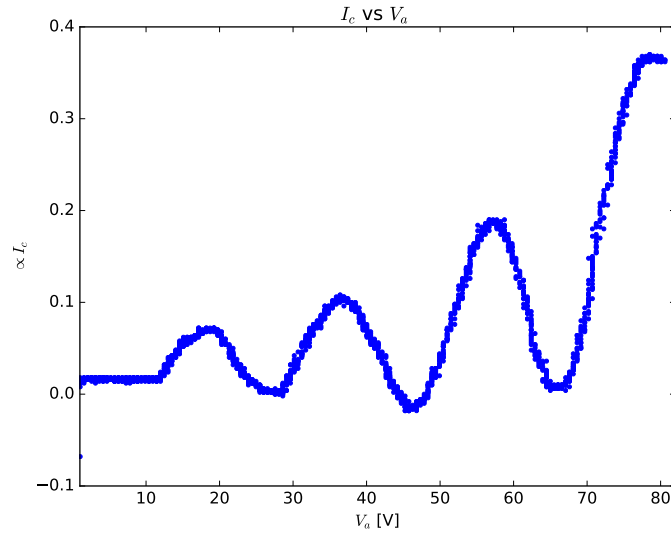


Figure 3: grafico di I_c in funzione di U_a

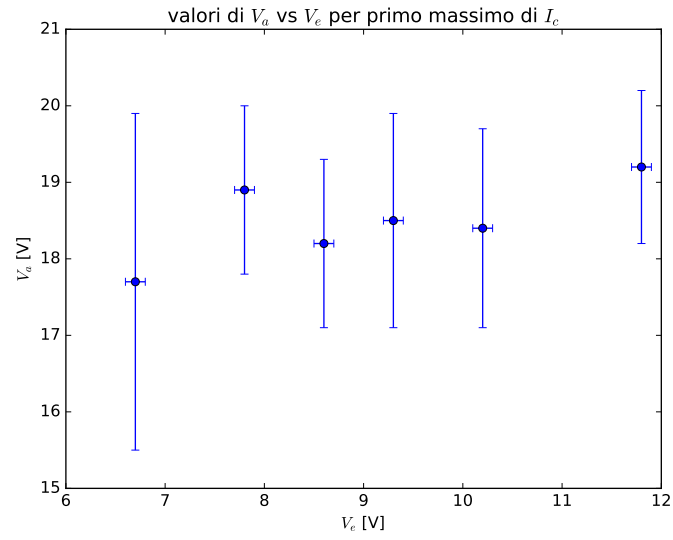


Figure 4: valori di U_a al variare di U_E in corrispondenza del primo massimo di I_c

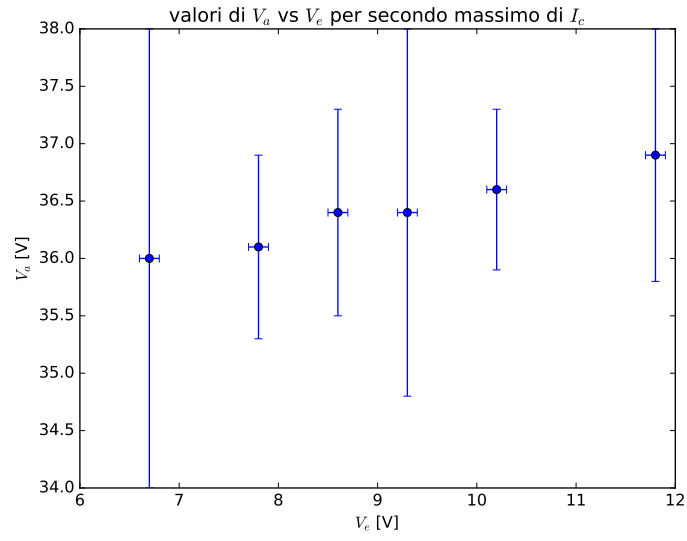


Figure 5: valori di U_a al variare di U_E in corrispondenza del secondo massimo di I_c

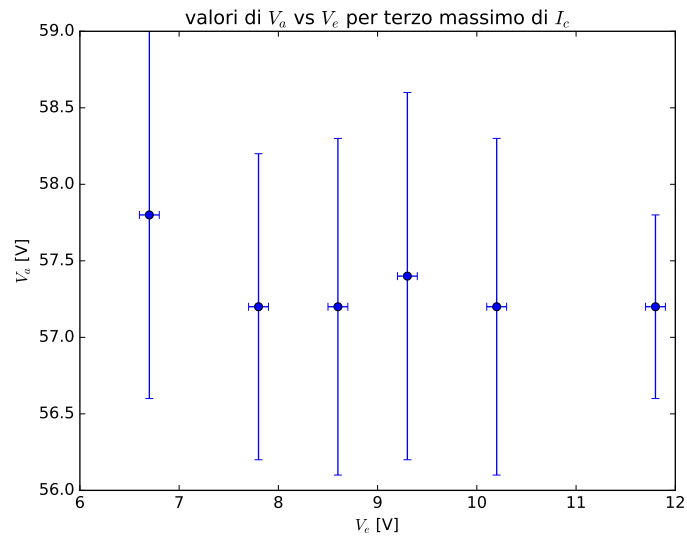


Figure 6: valori di U_a al variare di U_E in corrispondenza del terzo massimo di I_c

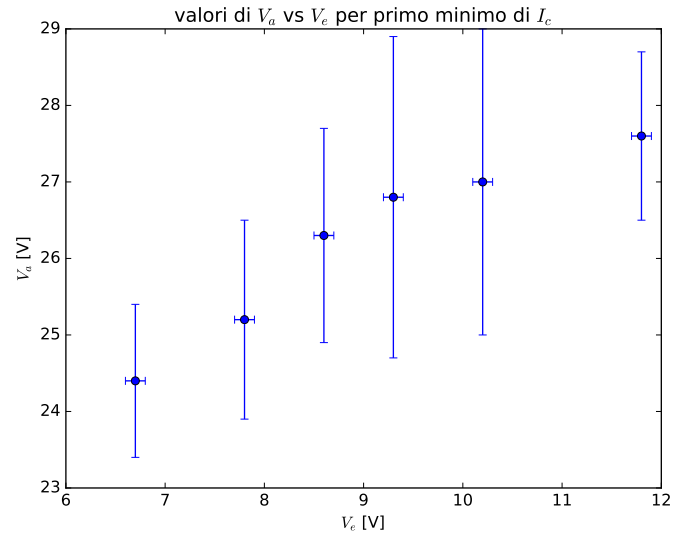


Figure 7: valori di U_a al variare di U_E in corrispondenza del primo minimo di I_c

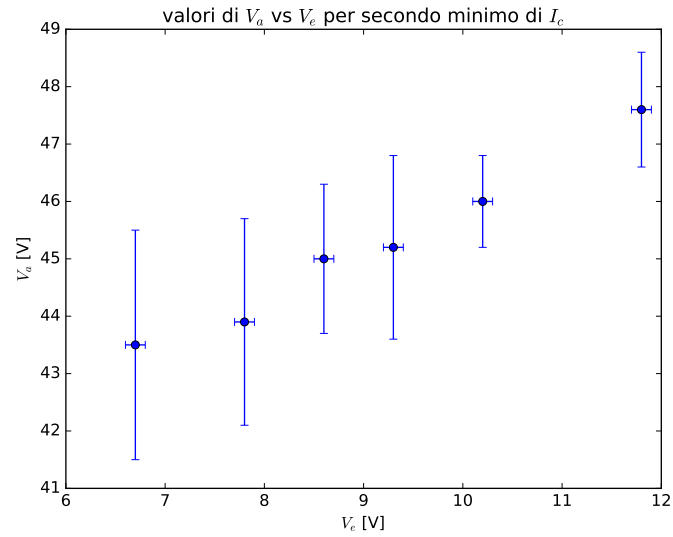


Figure 8: valori di U_a al variare di U_E in corrispondenza del secondo minimo di I_c

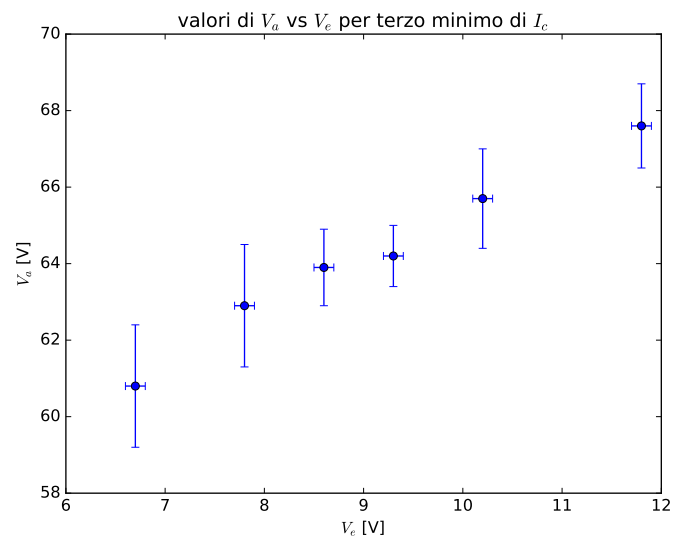


Figure 9: valori di U_a al variare di U_E in corrispondenza del terzo minimo di I_c