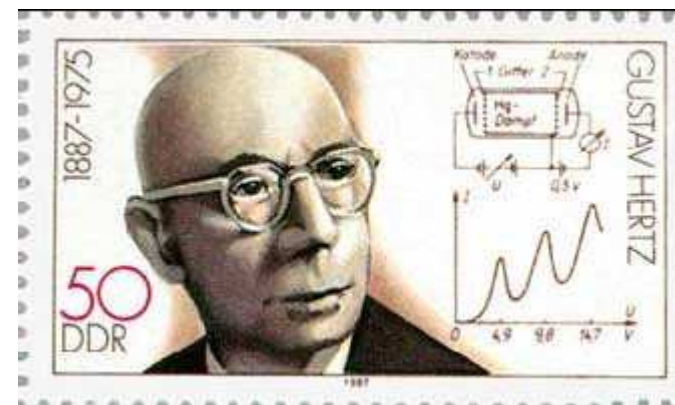


L'ESPERIENZA DI FRANCK ED HERTZ

Premesse su elettroni e tubi a vuoto

- 1884 Balmer: Righe di assorbimento ed emissione nei gas discrete.
- 1890 Rydberg-Ritz: lunghezze d'onda deducibili da numeri interi.
- 1905 Planck, Einstein elaborano teorie, che prevedono la quantizzazione dell'energia.
- 1914 Modello atomico di Bohr e postulati di quantizzazione, contraddicono la fisica classica (e^- su orbite stabili, senza perdita di energia, dovuta all'accelerazione nel loro moto intorno al nucleo)
- 1914 Franck ed Hertz bombardano con elettroni atomi di mercurio di e osservano perdite di energia discrete con emissione di radiazione in accordo con il modello di Bohr.
- 1925 Premio Nobel per Franck ed Hertz, per aver aperto una nuova frontiera nella fisica.



BOMBARDAMENTO DI ATOMI CON ELETTRONI

Conferma delle ipotesi di Bohr

➤ Modello Planetario dell'atomo:

❖ Fisica classica :

- elettrone perde energia, attratto dal nucleo
- emissione di spettro continuo di radiazione

❖ Non corrisponde a quanto osservato:

- l'atomo non sarebbe stabile
- emissione di spettro di radiazione discreta .

➤ Modello Planetario dell'atomo:

❖ Bohr:

❖ Atomi si trovano a lungo in determinati stati stazionari e non emettono o assorbono energia.

❖ Ogni variazione di energia per assorbimento o emissione è possibile, in seguito a collisione, solo in risonanza con gli stati stazionari.

❖ Nel passaggio tra uno stato e si ha emissione di radiazione: da uno stato m ad n :

$$E_m - E_n = h\nu$$

CANNONI DI ELETTRONI

Proiettili di elettroni per sparare agli atomi, sorgenti metalliche.

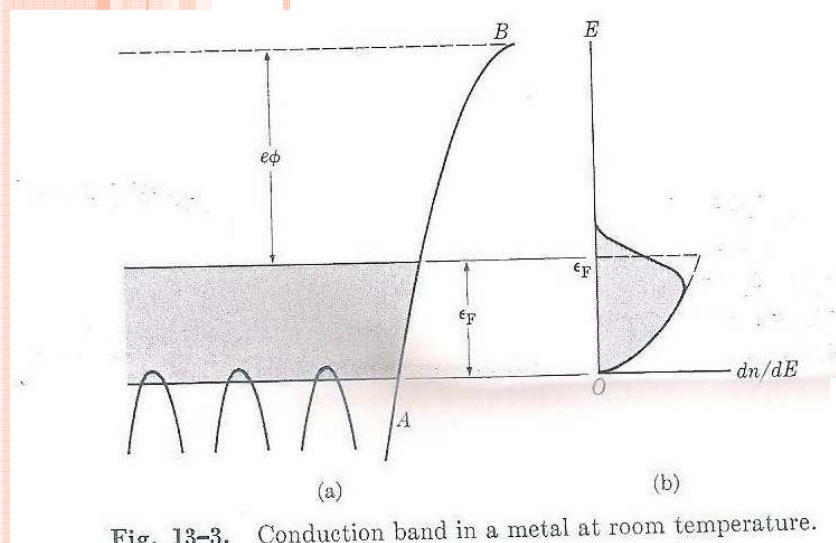


Fig. 13-3. Conduction band in a metal at room temperature.

Funzione lavoro ϕ : energia necessaria per estrarre gli elettroni dal metallo nel vuoto.

All'aumentare delle temperatura, si alza il livello di Fermi, gli elettroni acquistano energia e viene richiedono meno energia per essere estratti.

$$j = \frac{4\pi m_e}{h^3} (kT)^2 e^{-e\phi/kT} = AT^2 e^{-e\phi/kT}$$

TABLE 13-2 Values of the Work Function ϕ and the Thermionic Constant A , Obtained Experimentally from Eq. (13.11)

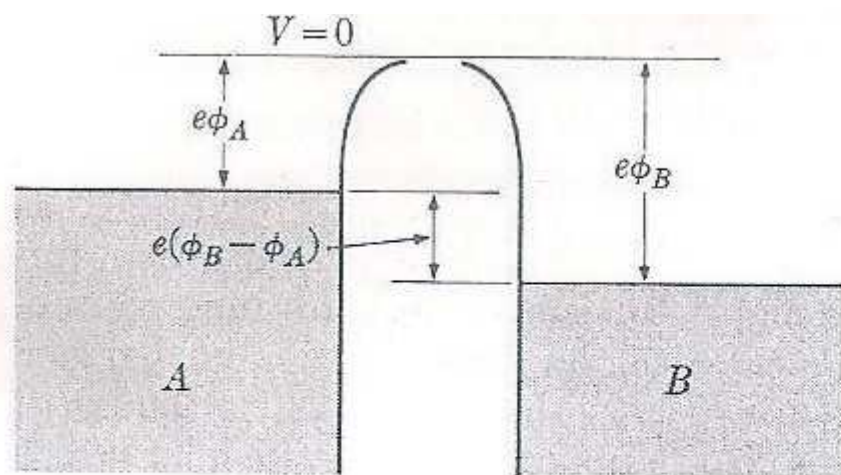
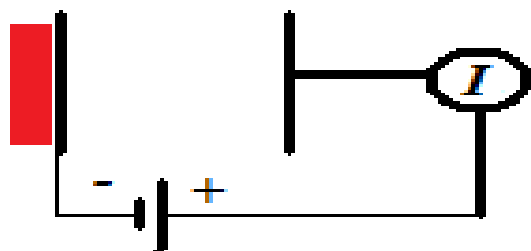
Metal	ϕ , eV	A , $\text{A cm}^{-2} \text{ } ^\circ\text{K}^{-2}$
Cs	1.8	120
Cr	4.4	48
W	4.5	75
Pt	6.2	32
Ta	4.1	55
Ni	4.6	30
Ca	3.2	60
Th	3.4	60
Mo	4.3	60

CANNONI DI ELETTRONI

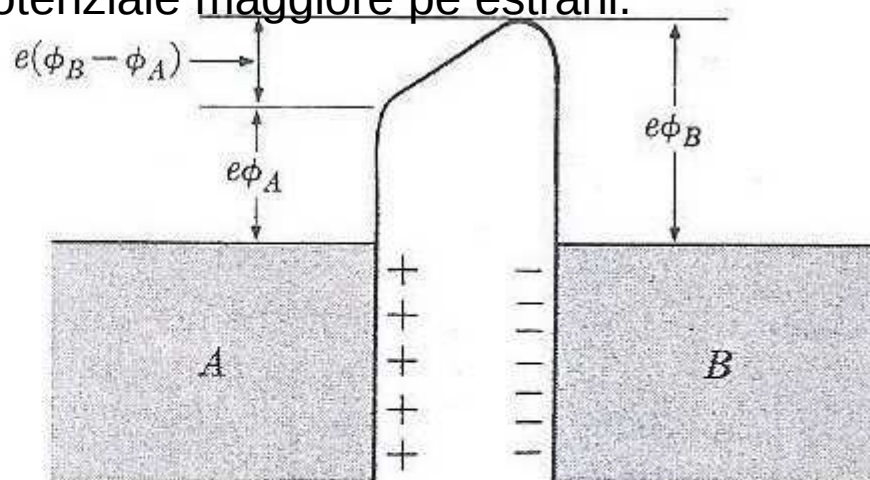
Potenziale di contatto

Catodo

Anodo



(a)



(b)

Fig. 13-4. Origin of the contact potential difference.

Senza applicare alcuna tensione gli elettroni potrebbero essere già accelerati o al contrario decelerati da un potenziale di contatto, che dipende dallo stato delle superfici, dei vapori di mercurio depositati?

Nel disegno b, se B fosse il catodo (A l'anodo) gli elettroni verrebbero accelerati. Se il contrario verrebbero decelerati, bisogna applicare un potenziale maggiore per estrarli.

CANNONI DI ELETTRONI

Proiettili elettronici per sparare agli atomi

Catodo

Anodo

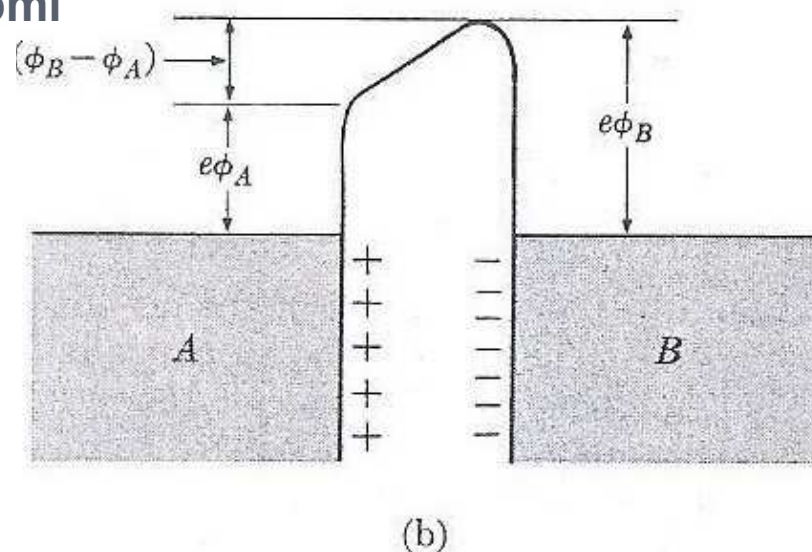
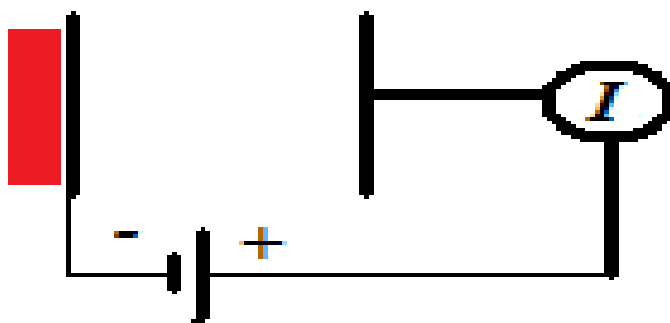


Fig. 135. Origin of the contact potential difference.

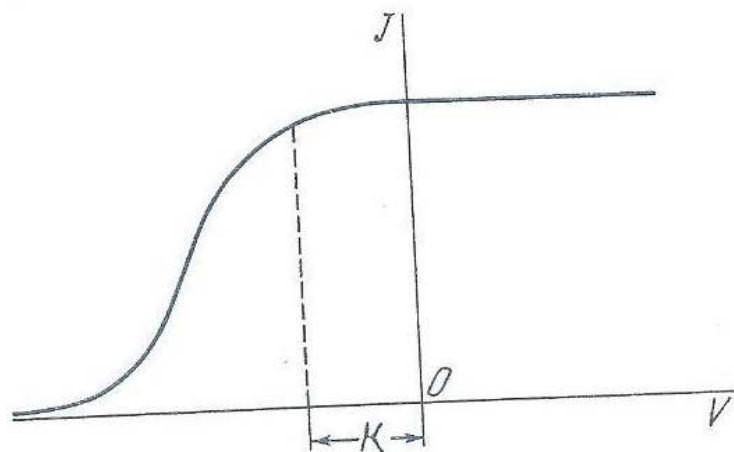


Fig. 136. Caratteristica amperovoltica di un tubo a catodo caldo.

Tutti gli elettroni liberati dal catodo, vengono estratti (saturazione). Nella figura accanto si osserva corrente, anche a tensioni negative: potenziale di contatto accelerante. Per compensare si può applicare un potenziale di frenamento. In ogni caso compensare questo problema. Di un livello di tensione dovuto ai materiali usati.

ENERGIA E VELOCITÀ DEGLI ELETTRONI

- Un elettrone in un campo elettrico di potenziale V :
acquisisce un'energia cinetica

$$\frac{1}{2}mv^2 = eV$$

Espressa in electronvolt risulta immediato:
un elettrone in un campo di potenziale 1.0 V
acquisisce l'energia di 1.0 eV.

Nell'interazione degli elettroni con la materia, risulta
pratico utilizzare tale unità di misura per l'energia.



CANNONI DI ELETTRONI TUBO DI FRANCK ED HERTZ

Proiettili di elettroni per sparare agli atomi

Schema su manuale leybold

Apparatus

1 Franck-Hertz tube, Hg	555 85
1 Socket for Franck-Hertz tube, Hg with multi-pin plug	555 861
1 Electric oven, 220 V	555 81
1 Franck-Hertz supply unit	555 88
1 Temperature sensor, NiCr-Ni	666 193

Recommended for optimizing the Franck-Hertz curve:

1 Two-channel oscilloscope 303	575 211
2 Screened cables BNC/4 mm	575 24

Recommended for recording the Franck-Hertz curve:

1 XY-Yt recorder SR 720	575 663
Connecting leads	

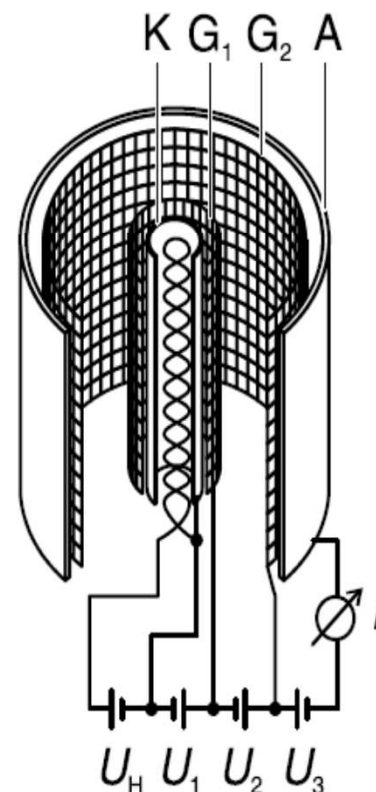


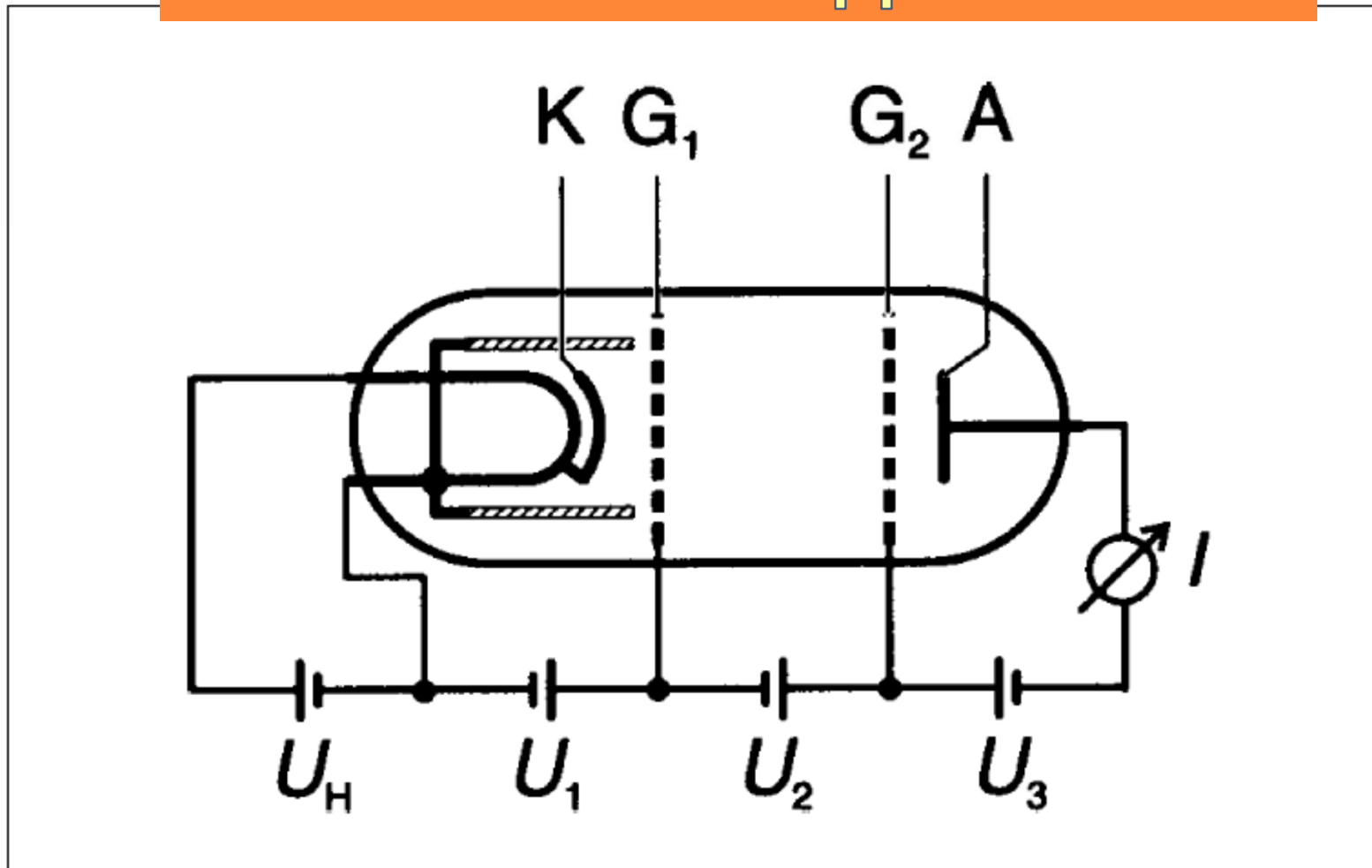
Fig. 1: Schematic diagram of the mercury Franck-Hertz tube

CANNONI DI ELETTRONI TUBO DI FRANCK ED HERTZ

Proiettili elettronici per sparare agli atomi

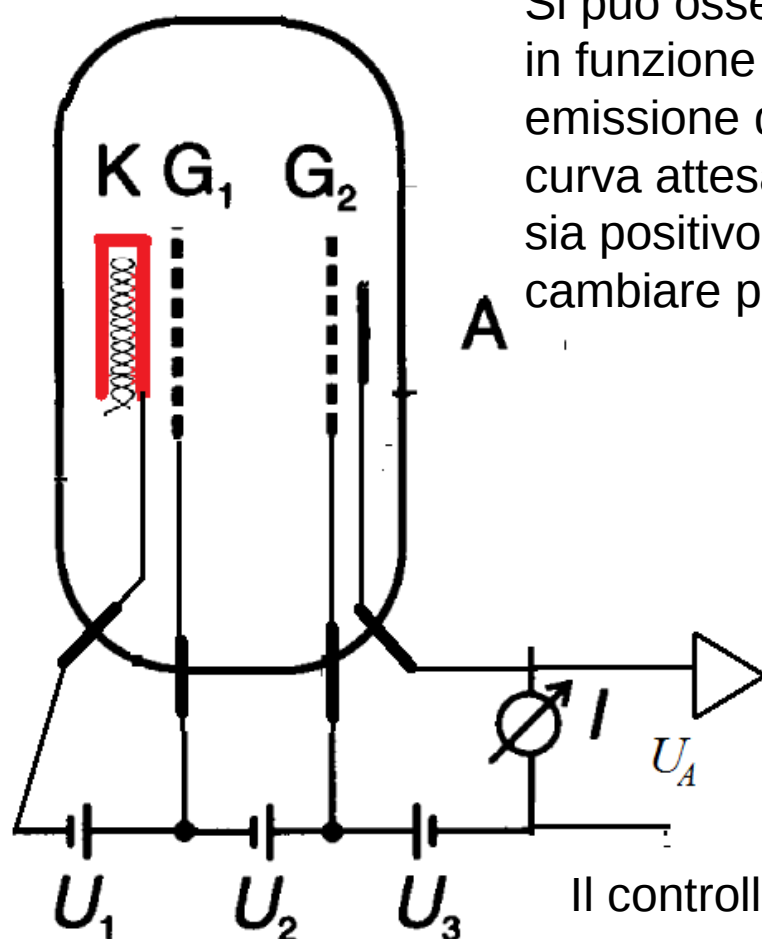
Fig. 1:

Schema su apparato



CANNONI DI ELETTRONI TUBO DI FRANCK ED HERTZ

Riproduzione del tubo in uso



Si può osservare la corrente di elettroni in funzione dei potenziali, o verificare la corrente di emissione degli elettroni (T sorgente?). Osservare la curva attesa, e verificare, se il potenziale di contatto sia positivo o negativo, il suo valore potrebbe cambiare poi per effetto dei vapori di Mercurio.

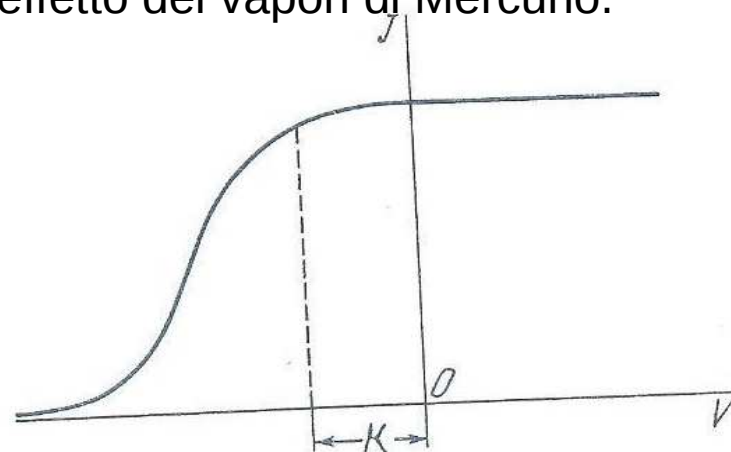


Fig. 136. Caratteristica amperovoltica di un tubo a catodo caldo.

Il controllo dei potenziali, non è immediato, U_1 e U_2 sono manuali, in ogni caso è utile far vedere che gli elettroni arrivano ad una corrente di saturazione, Costante dopo una certa tensione applicata.

POI FACCIAMO EVAPORARE IL MERCURIO

- Elettroni in **urto elastico**, con l'atomo, possono perdere una quantità minima di energia, per cui dovremmo osservare la stessa curva leggermente attenuata.
- Urto elastico con gli elettroni solo variazione di direzione.
- Urto con i nuclei trascurabile

$$\Delta E_k \approx -4(m_e/m_{Hg})E_k \approx 5 \times 10^{-6} E_k$$

- **Urti anelastici**: trasferimento di energia agli elettroni

$$E_m - E_n = h\nu$$

Se quantizzata ovvero per $E = eV$ definite:
confermato il modello di Bohr.

VAPORE DI MERCURIO

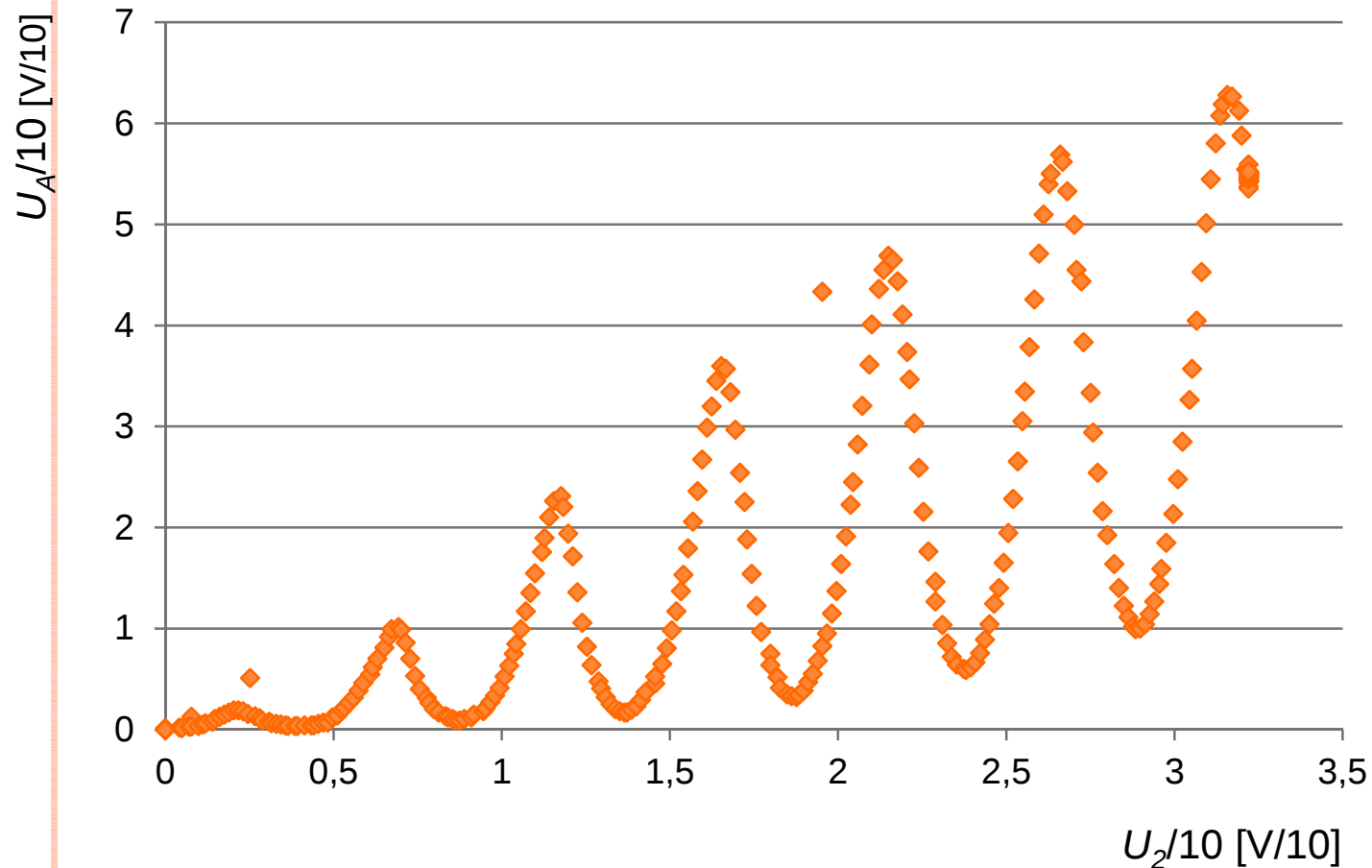
Z	Ele- men- to	K	L		M			N				O				P			Q	Potenziale di ionizza- zione (in eV)
		1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f	6s	6p	6d	7s	
77	Ir	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	7		2				9,05
78	Pt	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	8		2				8,96
79	Au	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		1				9,22
80	Hg	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2				10,44

Mercurio di facile utilizzo nel tubo, liquido a temperatura ambiente esi può regolare densità dei vapori con la temperatura.

	k_B	1,3085E-23 J K ⁻¹			
temperatura	t[°C]	10	50	100	200
pressione	p [kPa]	2,78E-05	1,79E-03	0,03745	2,315
Temperatura in Kelvin	T [K]	283,15	323,15	373,15	473,15
$p=nkT$	n (mol m ⁻³)	7,50E+18	4,22E+20	7,67E+21	3,74E+23
mol sta per molecole					
densità	n((mol cm ⁻³)	7,50E+12	4,22E+14	7,67E+15	3,74E+17
libero cammino medio	λ [cm] ~	1,2E+01	2,1E-01	1,2E-02	2,4E-04

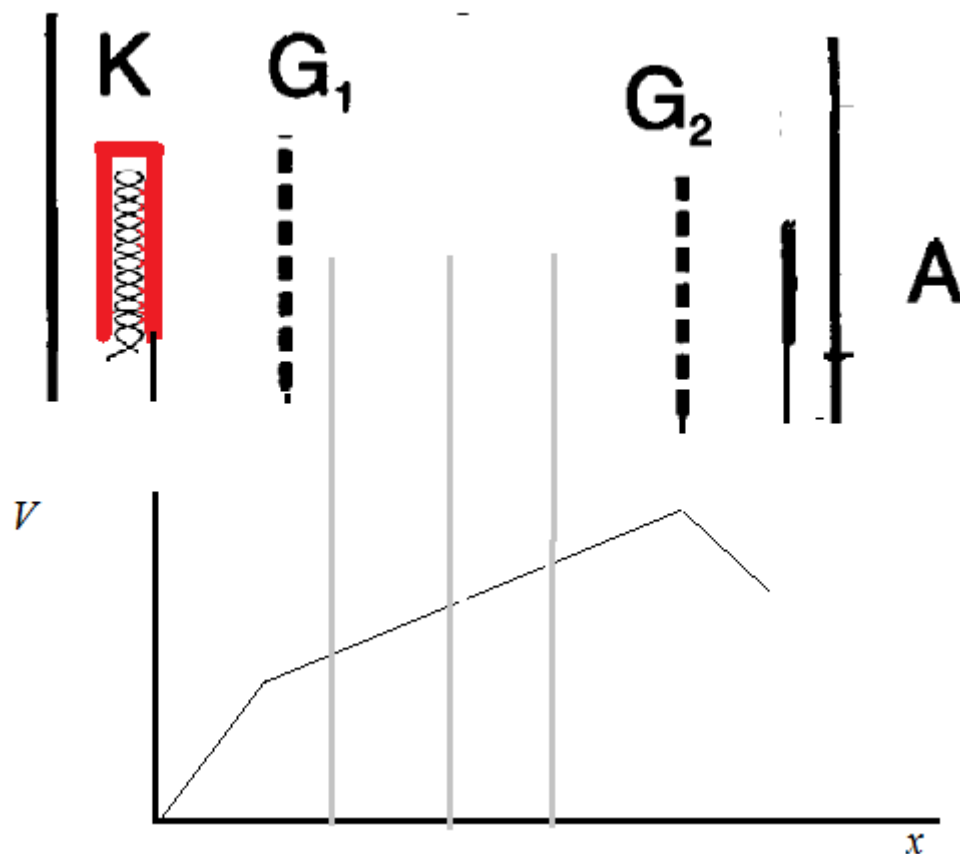
OSSERVAZIONE DEI DATI

Prima misura di prova effettuata con i responsabili del laboratorio dell'Ariosto: Giuseppe e Lorenzo

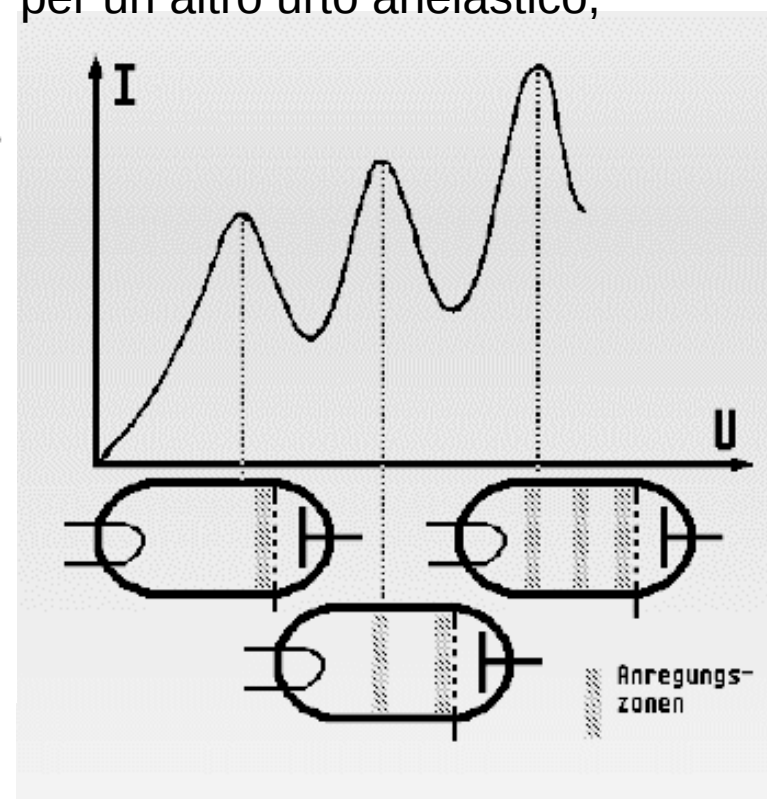


U_2 tensione applicata tra le griglie G_1 e G_2

ANALISI DATI QUALITATIVA



Gli elettroni raggiungono
Un'energia specifica
(ben definita), che nell'urto
trasferiscono all'atomo.
Aumentando la tensione raccolgo
gli e⁻, che hanno fatto urti elastici.
Nel loro percorso gli e⁻ possono
raggiungere nuovamente
l'energia sufficiente
per un altro urto anelastico,



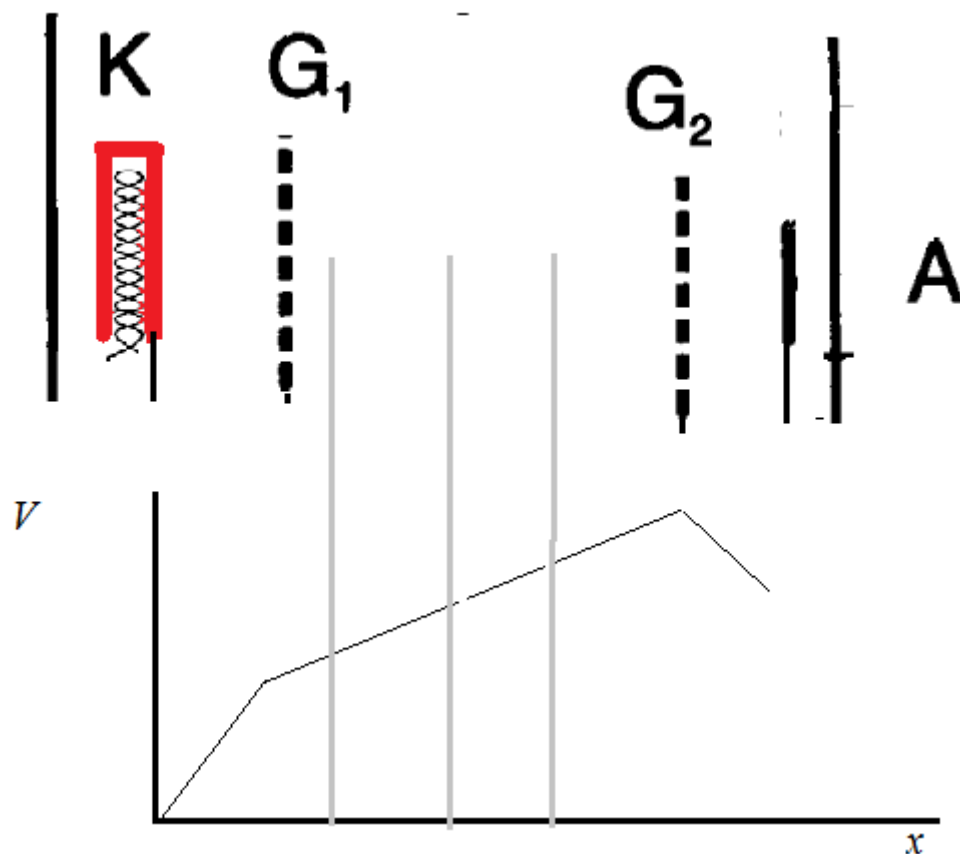
ANALISI DATI QUALITATIVA: VERSO LA QUANTITATIVA

La prima diminuzione di corrente osservata è affetta dal potenziale di contatto.

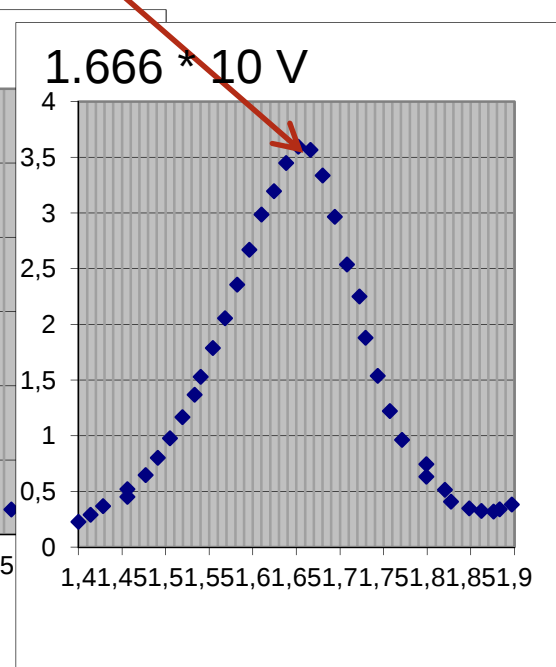
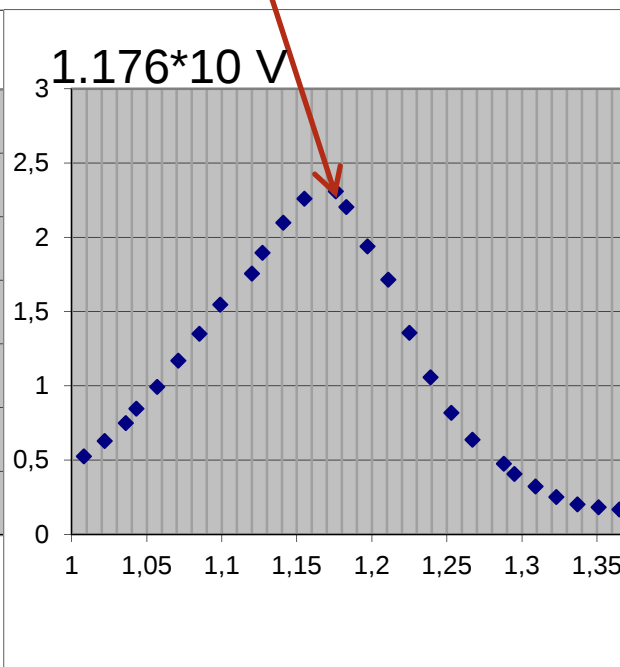
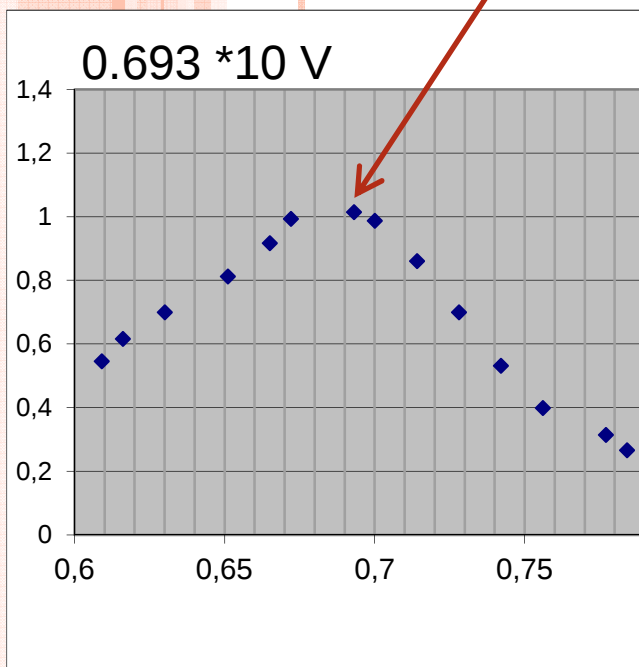
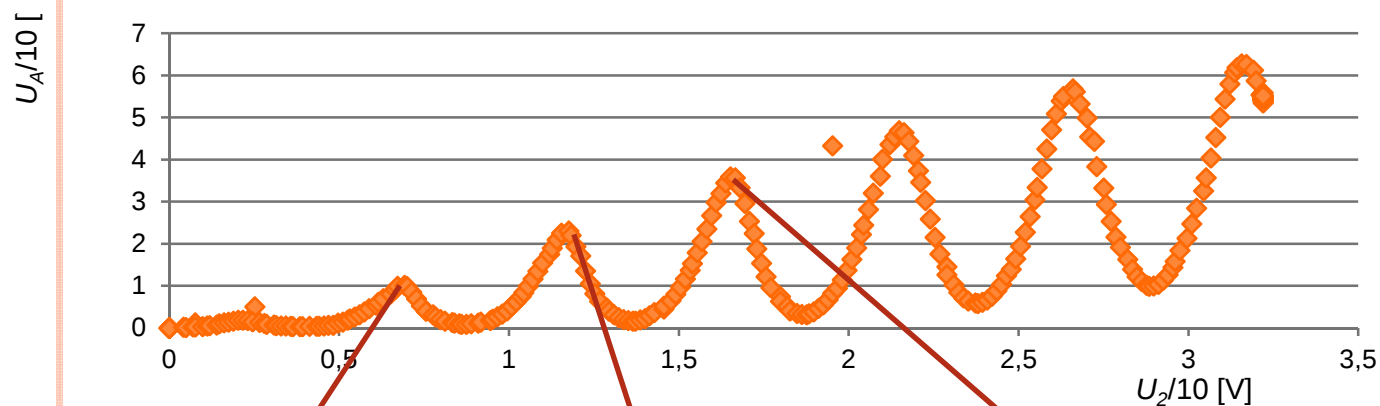
Dalle diminuzioni successive, osservandone la differenza ΔU , si ottiene l'energia "discreta" trasferita dall'elettrone proiettile all'atomo.

Se si potesse misurare la radiazione nelle fasce di eccitazione e diseccitazione, si osserverebbe una radiazione di lunghezza d'onda

$$\lambda = 2536.52 \text{ \AA}.$$

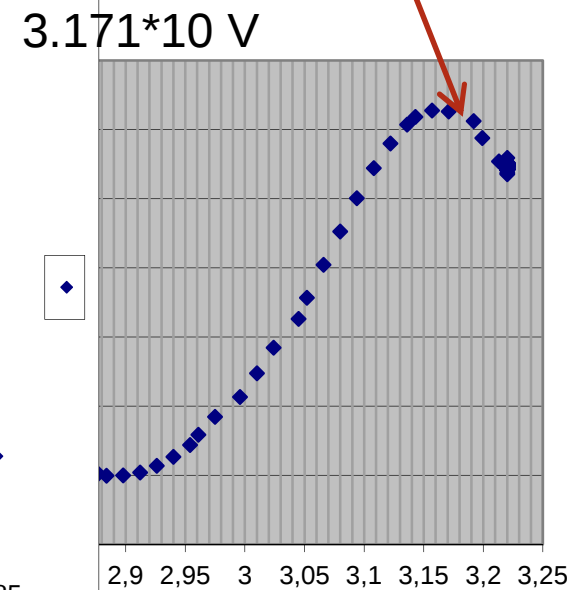
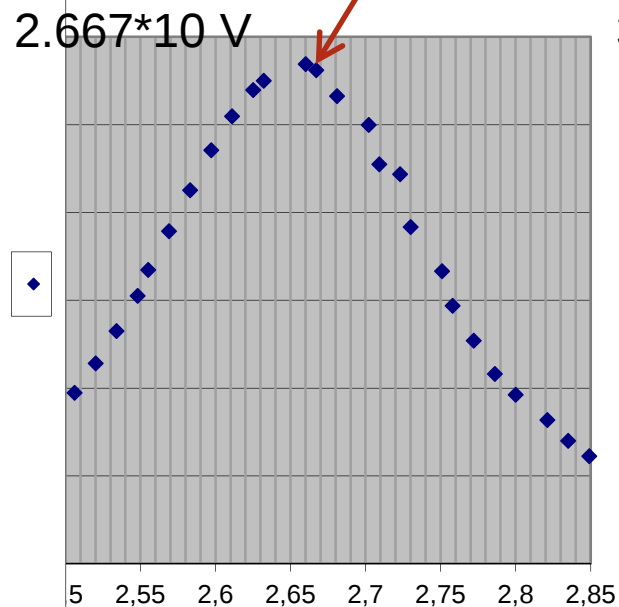
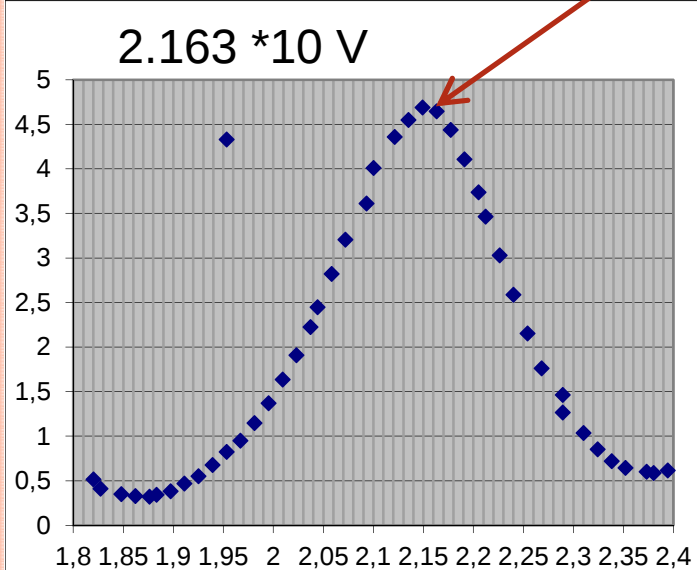
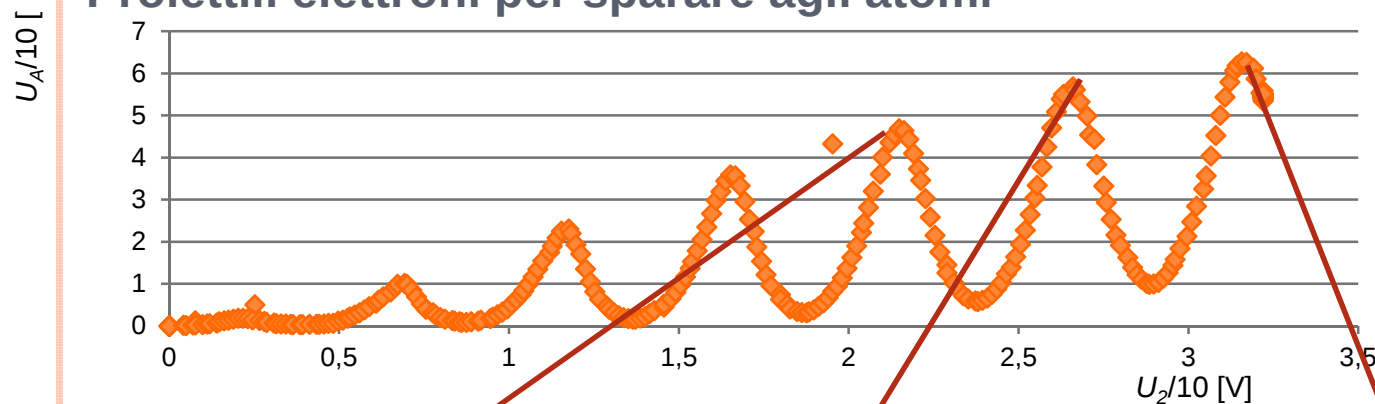


ANALISI DATI QUANTITATIVA



ANALISI DATI

Proiettili elettronici per sparare agli atomi



ANALISI DATI

Proiettili elettronici per sparare agli atomi

ε – incertezza di lettura

σ - incertezza statistica:
deviazione standard del campione

δ - incertezza totale:
Somma in quadratura tra ε e σ .

$$\delta = \sqrt{\sigma^2 + \varepsilon^2}$$

$U_2/10$	ε	$\Delta U_2/10$	ε	
[V/10]	[V/10]	[V/10]	[V/10]	
0.693	0.0005			
1.176	0.0005	0.483	0.0010	
1.666	0.0005	0.490	0.0010	
2.163	0.0005	0.497	0.0010	
2.667	0.0005	0.504	0.0010	
3.171	0.0005	0.504	0.0010	
	media	0.496		
	$\sigma=$	0.009		
	$\delta=$	0.009		
$\Delta U_2 =$	4.96	$\pm$	0.09	V

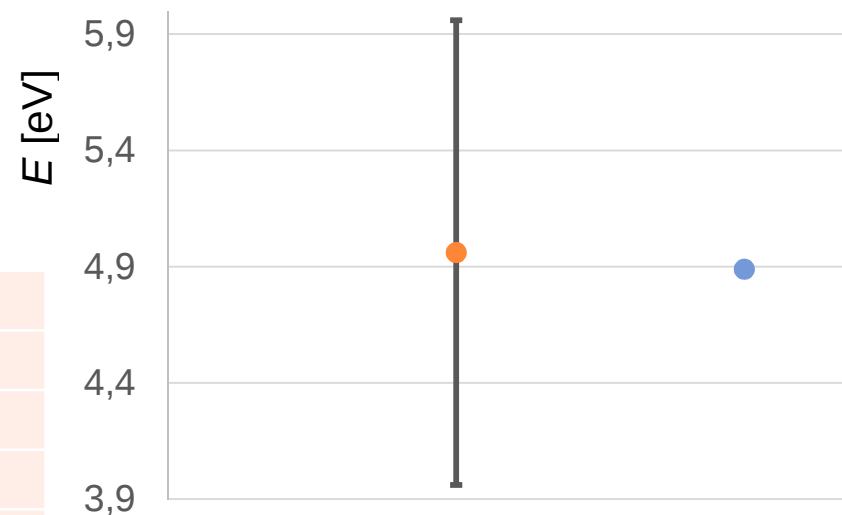
ANALISI DATI

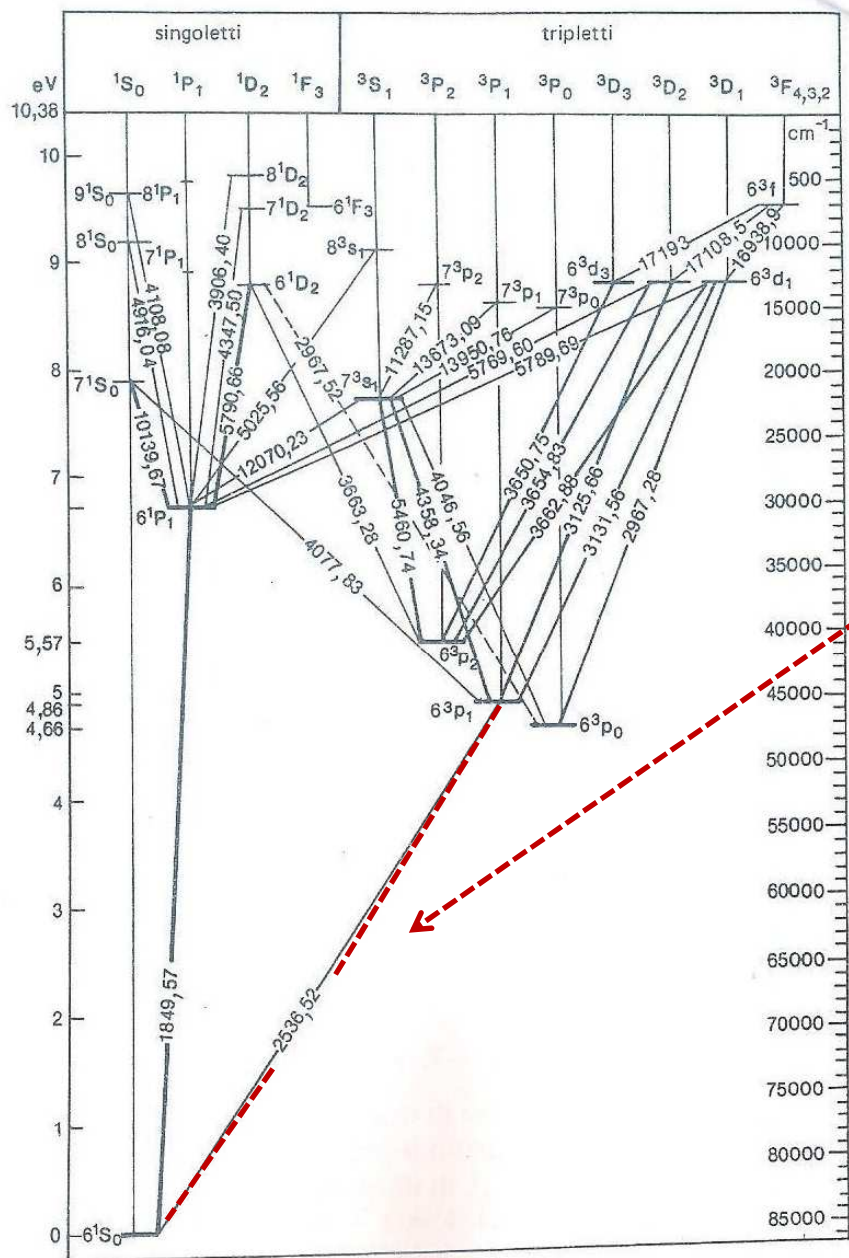
Proiettili elettronici per sparare agli atomi

Dalla misura della radiazione emessa 2536.52 Å

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$h=$	6.626E-34	J s
$c=$	2.998E+08	m s ⁻¹
$\lambda=$	2.537E-07	m
Si ottiene E :		
$E=$	7.831E-19	J
Espressa in eV (elettron Volt)		
$e=$	1.602E-19	C
$E=$	4.888	eV





Transizione tra livelli energetici del mercurio osservata: 2536.52 Å

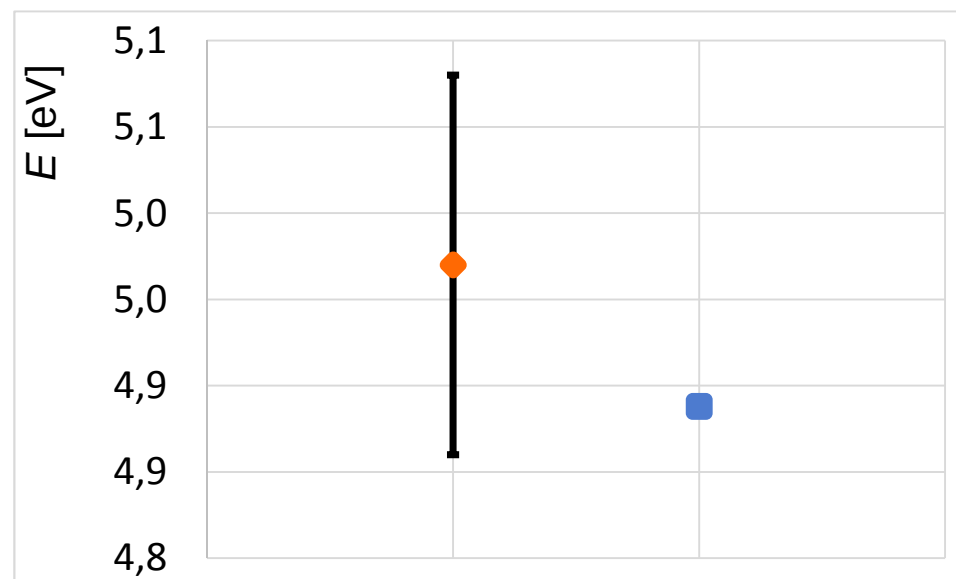
Fig. 67. Schema dei livelli energetici del mercurio.

RIPRODUCIBILITÀ 2A MISURA

Seconda misura

Dalla misura della radiazione emessa 2536.52 Å

$U_2 / 10$	ε	$\Delta U_2 / 10$	ε	
[V/10]	[V/10]	[V/10]	[V/10]	
0.693	0.0005			
1.176	0.0005	0.483	0.001	
1.673	0.0005	0.497	0.001	
2.163	0.0005	0.49	0.001	
2.667	0.0005	0.504	0.001	
3.178	0.0005	0.511	0.001	
			ΔU_2	$\delta(\Delta U_2)$
media	0.497	V/10	[V]	[V]
$\sigma=$	0.011	V/10	4.97	0.11
$\delta=$	0.011	V/10		

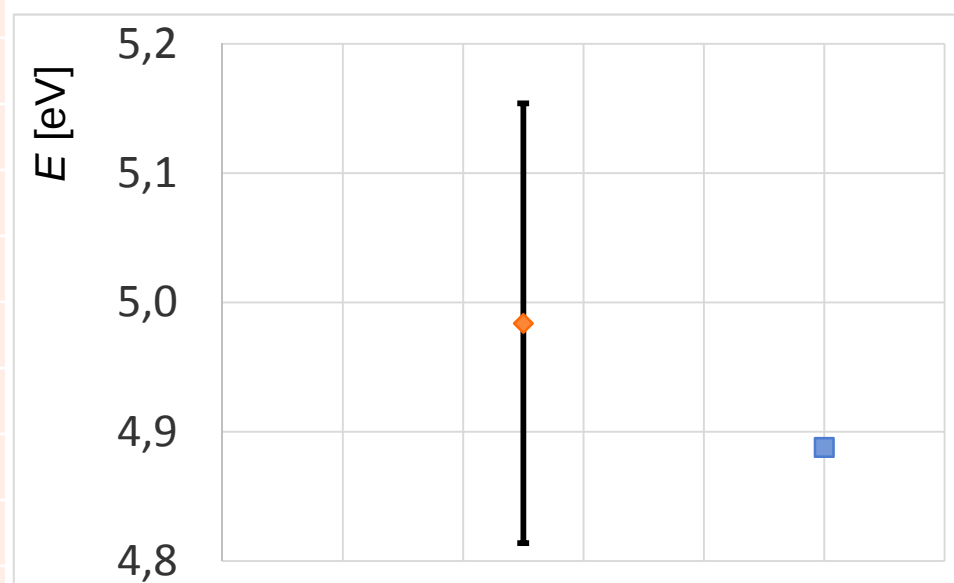


RIPRODUCIBILITÀ 3A MISURA

Terza misura

Dalla misura della radiazione emessa 2536.52 Å

$U_2 / 10$	ε	$\Delta U_2 / 10$	ε	
[V/10]	[V/10]	[V/10]	[V/10]	
0.693	0.0005			
1.169	0.0005	0.476	0.001	
1.659	0.0005	0.49	0.001	
2.156	0.0005	0.497	0.001	
2.667	0.0005	0.511	0.001	
3.185	0.0005	0.518	0.001	
			ΔU_2	$\delta(\Delta U_2)$
media	0.4984	[V/10]	[V]	[V]
$\sigma=$	0.017	[V/10]	4.98	0.17
$\delta=$	0.017	[V/10]		



MISURA DEL POTENZIALE DI CONTATTO

$U_2 / 10$	ε	$\Delta U_2 / 10$	ε	
[V/10]	[V/10]	[V/10]	[V/10]	
0.693	0.0005			
1.169	0.0005	0.476	0.001	
1.659	0.0005	0.49	0.001	
2.156	0.0005	0.497	0.001	
2.667	0.0005	0.511	0.001	
3.185	0.0005	0.518	0.001	
			ΔU_2	$\delta(\Delta U_2)$
media	0.4984	[V/10]	[V]	[V]
σ	0.017	[V/10]	4.98	0.17
δ	0.017	[V/10]		

Il potenziale di contatto possiamo misurarlo sottraendo al primo picco, influenzato da tale potenziale, il valore del ΔU misurato. Utilizziamo il caso a lato:

$$(6.93 \pm 0.005) - (4.98 \pm 0.17) \text{ V} =$$

$$1.95 \pm 0.17 \text{ V}$$

In questo caso il potenziale di contatto, risulta: $1.96 \pm 0.17 \text{ V}$, per cui sembra che si sia nella situazione di un potenziale positivo. Se non si fornisce una tensione superiore al potenziale di contatto, gli elettroni non raggiungono l'anodo.

Si faccia attenzione, che il nostro riferimento è il potenziale di contatto, tra catodo (K) e griglia G2, visto che misuriamo il potenziale di accelerazione sulla griglia G2.

ALTRO DA FARE: SI POTREBBE OSSERVARE ANCHE

Misura della ionizzazione a
 $V = 1.68$
Atteso 10.44

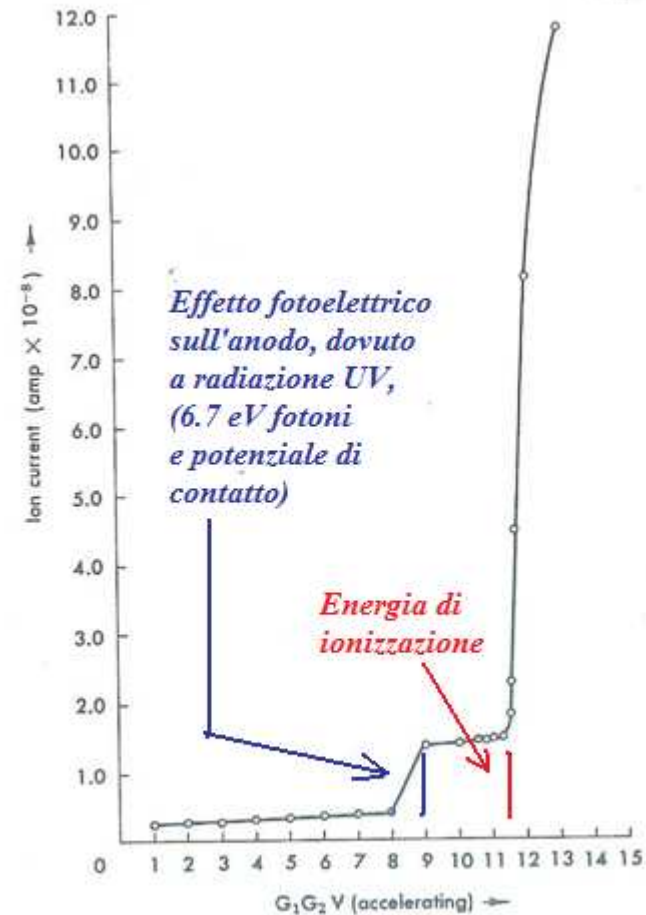
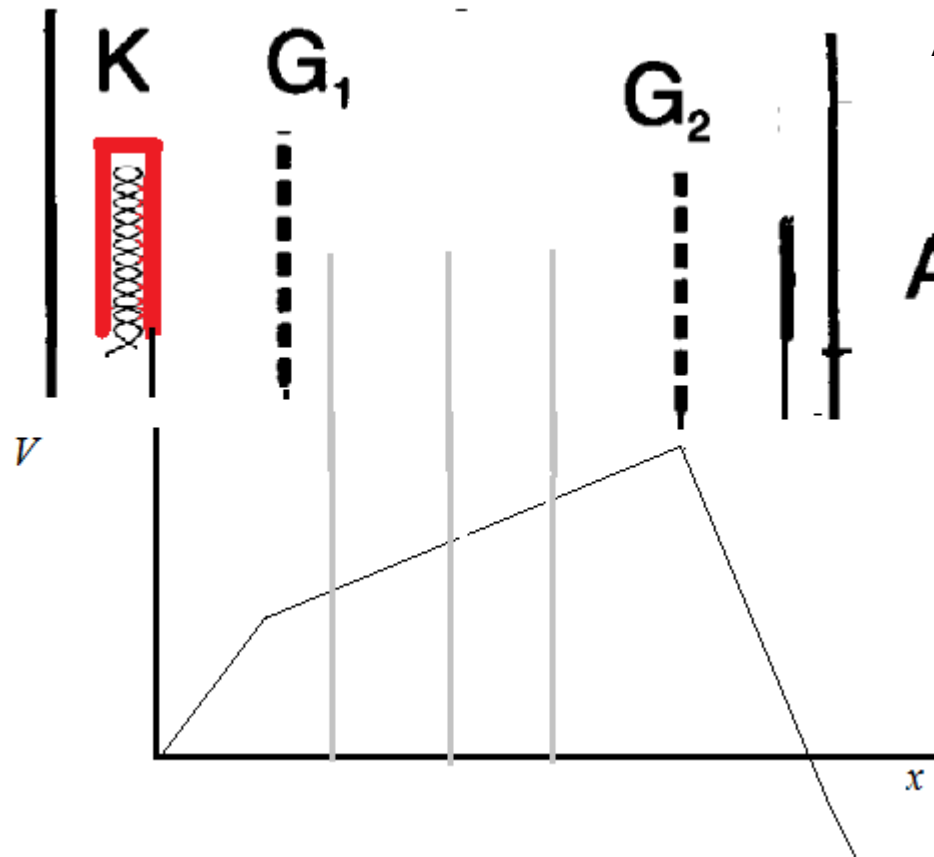


FIG. 1.11 Ion current versus accelerating voltage in Frank-