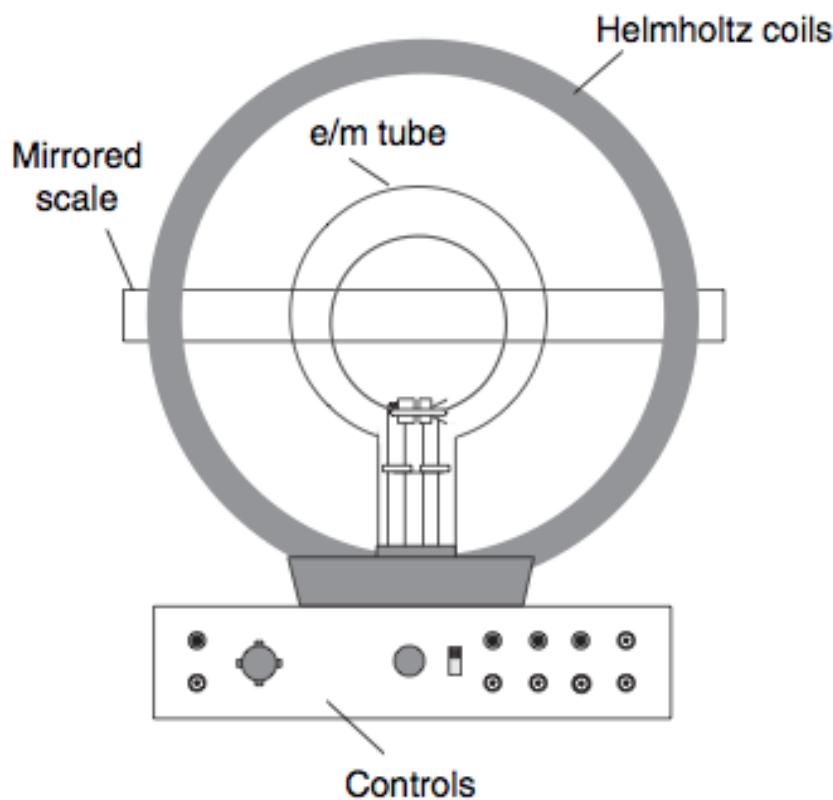
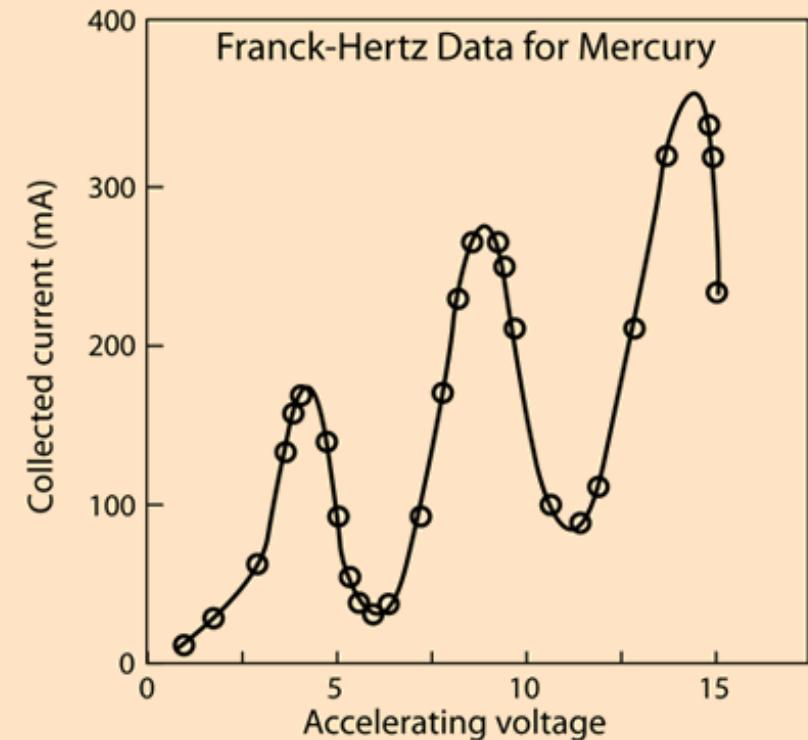


Esperimento per la misura del rapporto e/m



Esperimento di Frank e Hertz

Verifica del modello atomico di Bohr



Contesto storico

J.J. Thomson nel 1897 all'universita` di Cambridge utilizzo` un tubo catodico per misurare il rapporto tra la carica e la massa dell'elettrone. L'apparato utilizzato da Thompson utilizzava una geometria diversa da quello che useremo noi ma concettualmente e` uguale.

1895 Röntgen scopre i raggi X

1896 Nasce Pertini

1897 Marconi brevetta la radio

1899 Nasce la FIAT

1901 Prima mostra di Pablo Picasso

1905 Planck e Einstein elaborano la teoria che prevede orbitali atomici quantizzati

1908 Primo volo dei fratelli Wright

1911 Esperimento H.Geiger. E.Marsden (alias esperimento di Rutherford)

1914 Scoppia la prima guerra mondiale

1916 Einstein pubblica la "Teoria generale della relativita`"

Nel 1914 Frank e Hertz forniscono definitiva dimostrazione sperimentale della discretizzazione dei livelli energetici dell'atomo, per questo nel 1925 vincono il premio Nobel.

<http://www.mondi.it/almanacco/decennio/1900/>

L'esperimento di Frank e Hertz

Urti

Un fascio di elettroni di energia nota e regolabile viene fatto incidere su molecole di un **gas rarefatto** (gas ad alta T e bassa P, che si comporta quasi come un gas ideale → ogni molecola è indipendente dalle altre)

Ogni e⁻ può interagire con le molecole del gas in due modi differenti:

- URTI ELASTICI** → non alterano l'energia degli e⁻, né inducono transizioni nelle molecole del gas
- URTI ANELASTICI** → gli e⁻ incidenti perdono energia trasferendola alle molecole del gas, portandole in uno stato eccitato

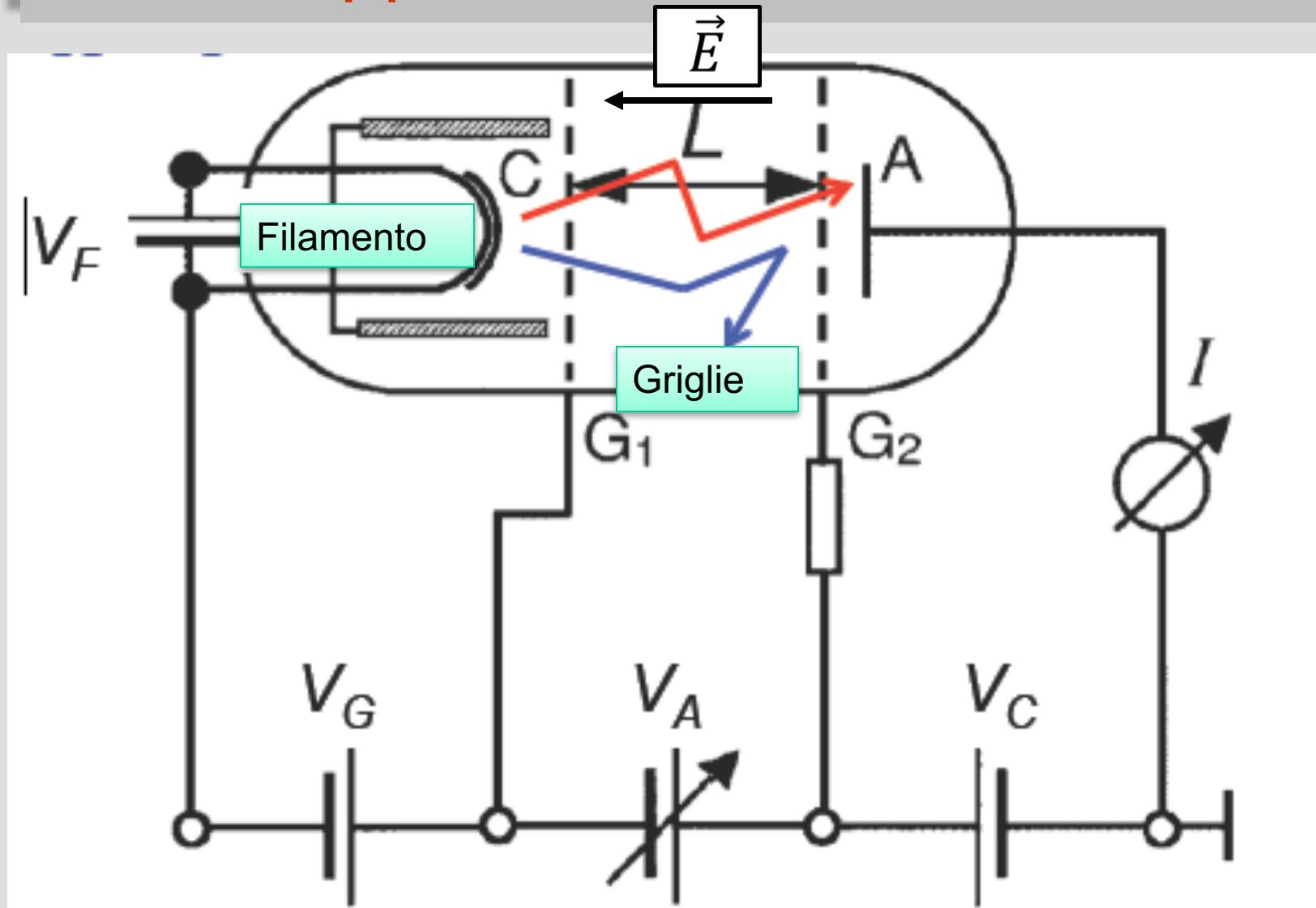


Generalità

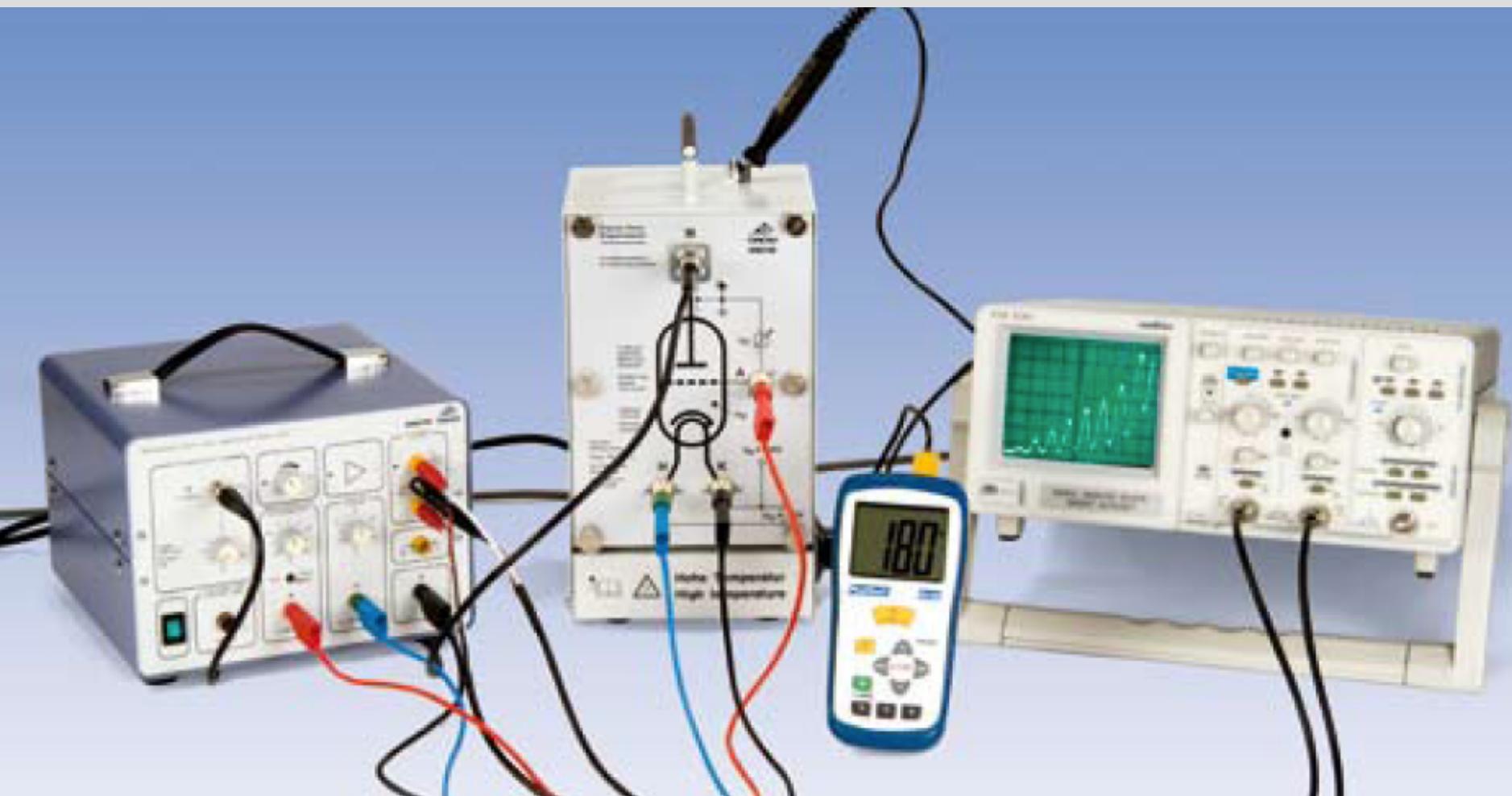
- Significato storico
 - dimostrazione chiave del comportamento quantistico degli atomi secondo il **modello di Bohr**
 - metodo **non ottico** (a differenza dei precedenti)
 - risultati pubblicati nel **1914** (e premiati con il Nobel nel **1925**)
- In cosa consiste l'esperimento
 - urti **anelastici** di **elettroni** con atomi di gas
 - ➔ perdita di energia degli elettroni incidenti ed **eccitazione** degli atomi
 - per effetto dello **spettro discreto** dei livelli atomici, l'energia trasferita in questi urti deve essere pari all'**energia minima di eccitazione**
(ovvero alla differenza di energia tra due livelli)
 - ➔ solo elettroni con **energia cinetica non inferiore** a questa possono trasferire una parte ΔE della loro energia nella collisione
- equivalentemente, elettroni di **energia inferiore** possono dar luogo a soli **urti elastici** con gli atomi ➔ perdita di energia trascurabile

$$\frac{1}{2}mv^2 \geq \Delta E = E_n - E_{n-1}$$

L'apparato sinteticamente

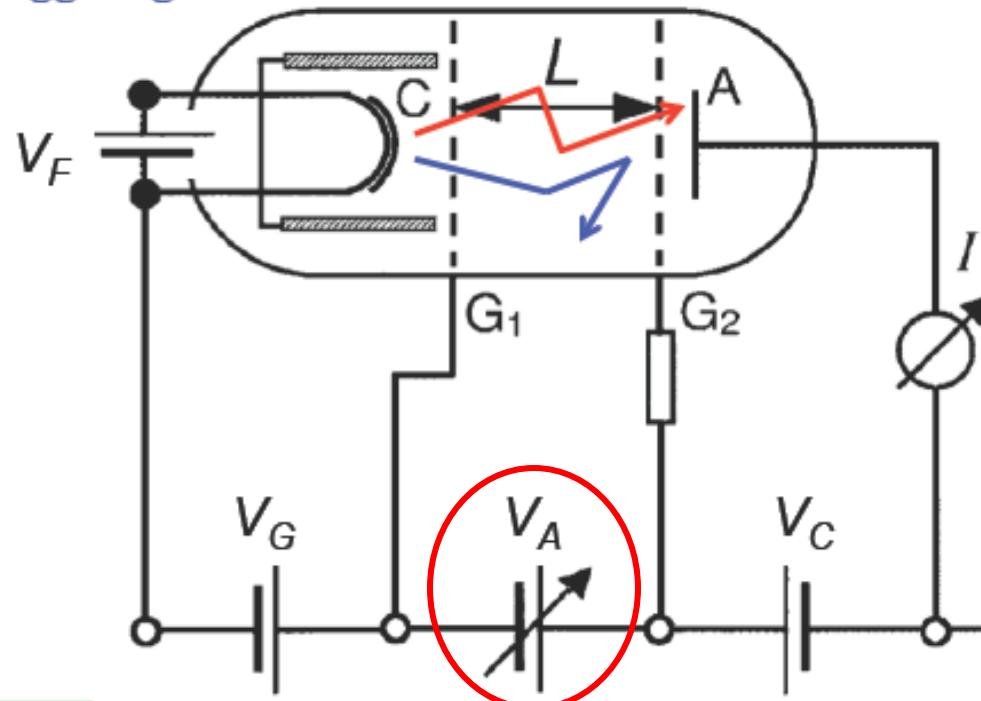


L'apparato sinteticamente



L'apparato sperimentale

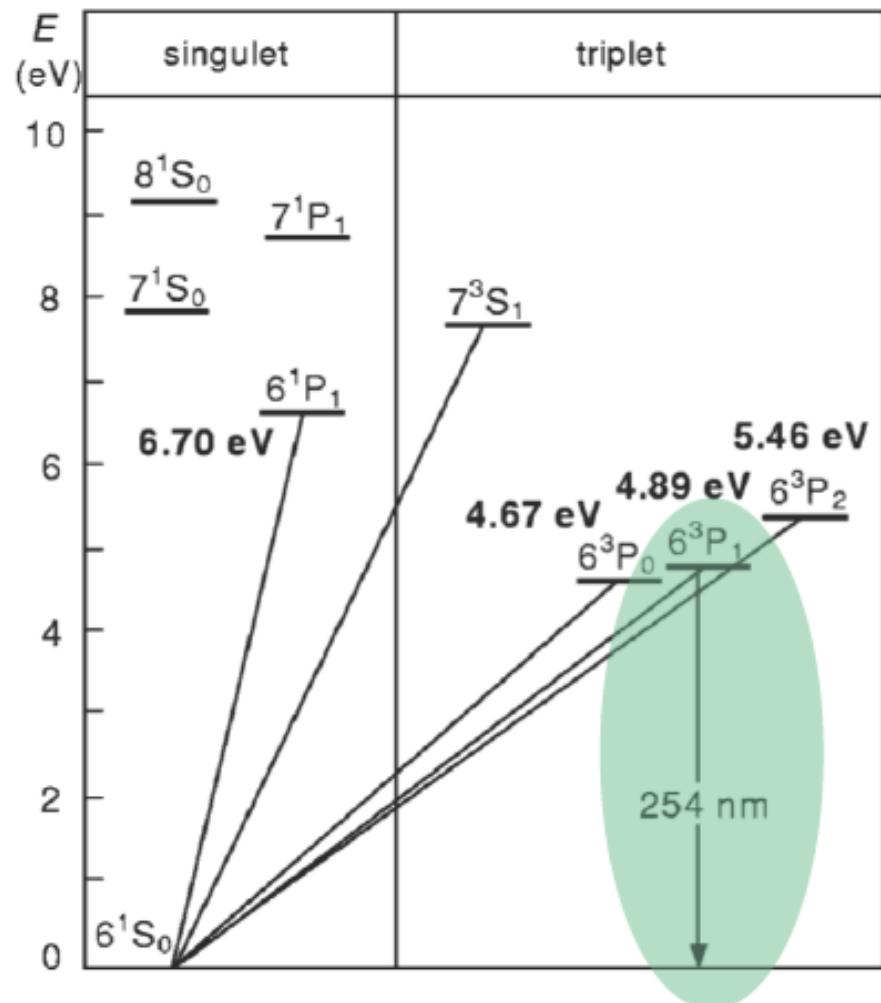
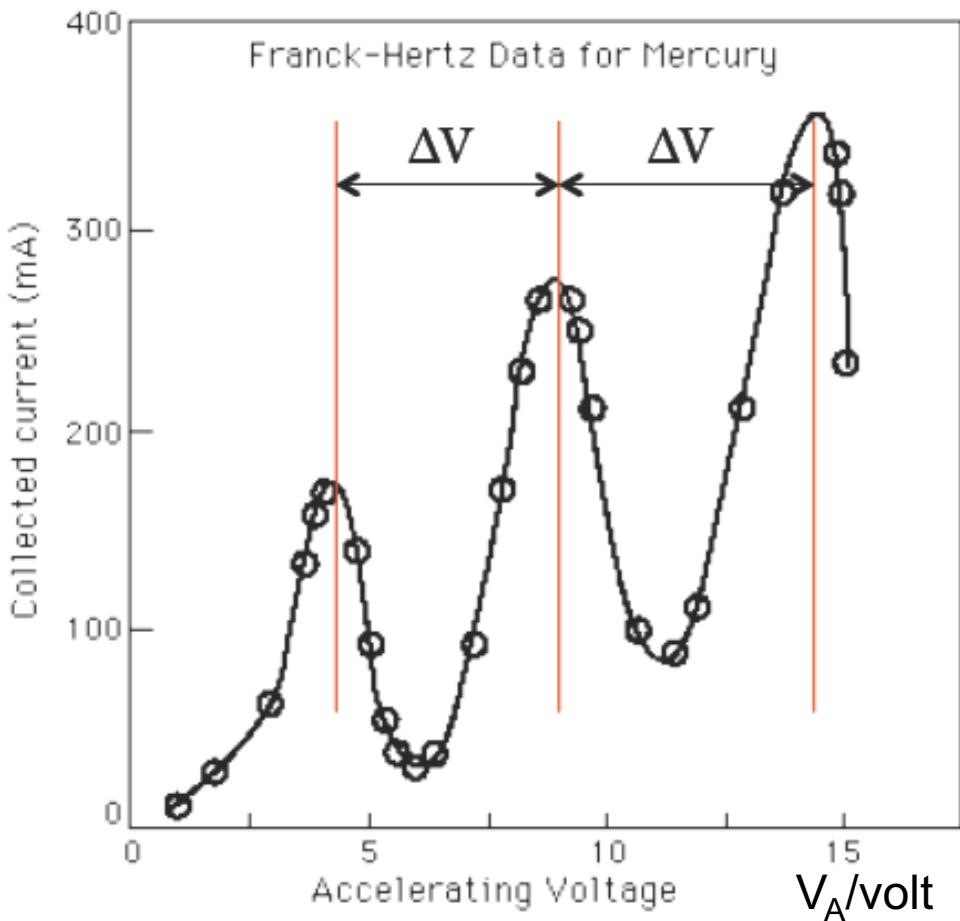
- Uso di un **tetrodo** riempito di gas (Hg o Ne) a bassa pressione (~ 10 mBar)
- Elettroni emessi da un **catodo** per effetto termoionico, flusso controllato dalla tensione ai capi del **filamento** (V_F) e dalla tensione di **griglia G₁** (V_G)
- L'energia acquisita dall'elettrone dipende dalla **tensione di accelerazione** (V_A) tra le due griglie
- Tra **G₂** e l' **anodo A** si stabilisce una piccola **d.d.p. frenante** (V_C) di modo che gli elettroni soggetti a **collisioni inelastiche** (con perdita totale dell'energia) non raggiungano l'anodo



Gli elettroni raccolti sull' anodo vengono contati misurando la corrente in funzione della tensione acceleratrice

Misura dell'eccitazione su Hg

Evidenza di uno spettro discreto con energia di eccitazione minima pari a $\Delta E = 4.89 \text{ eV}$ (corrispondente alla transizione $6^3P_1 \rightarrow 6^1S_0$)

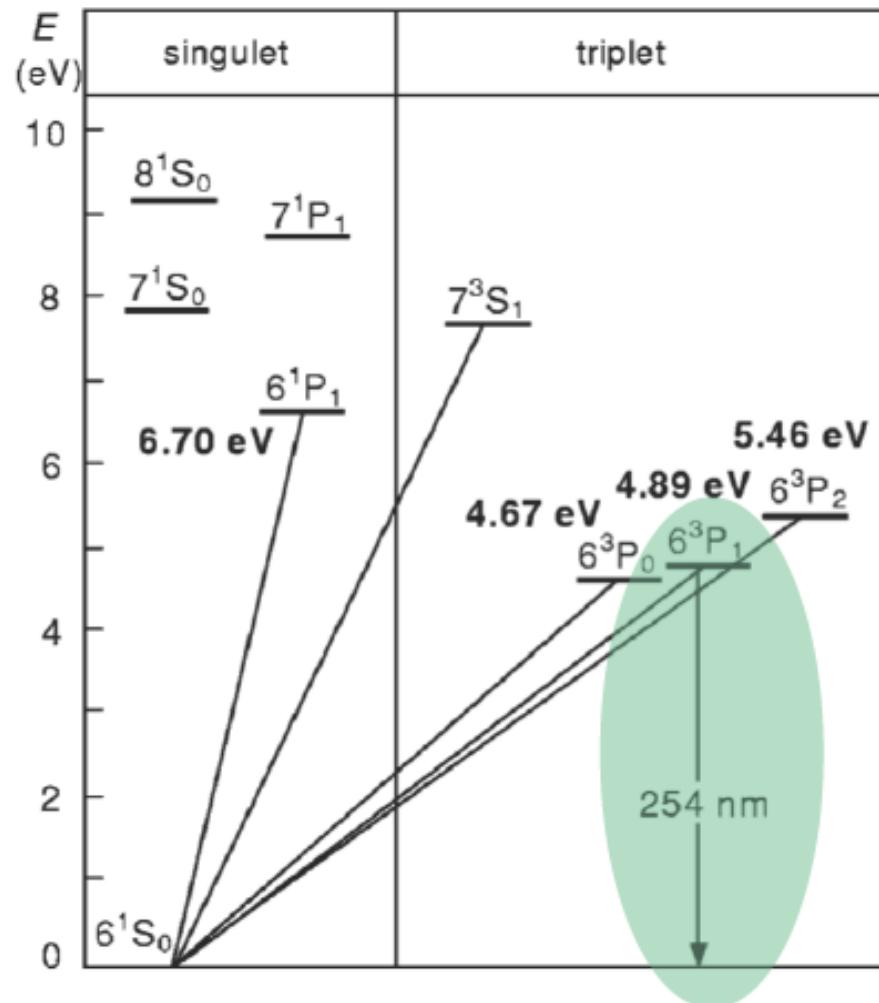


Misura dell'eccitazione su Hg

Nella misura che facciamo con il mercurio si osserva solo l'effetto dovuto alla transizione corrispondente a $6^1S_0 \rightarrow 6^3P_1$

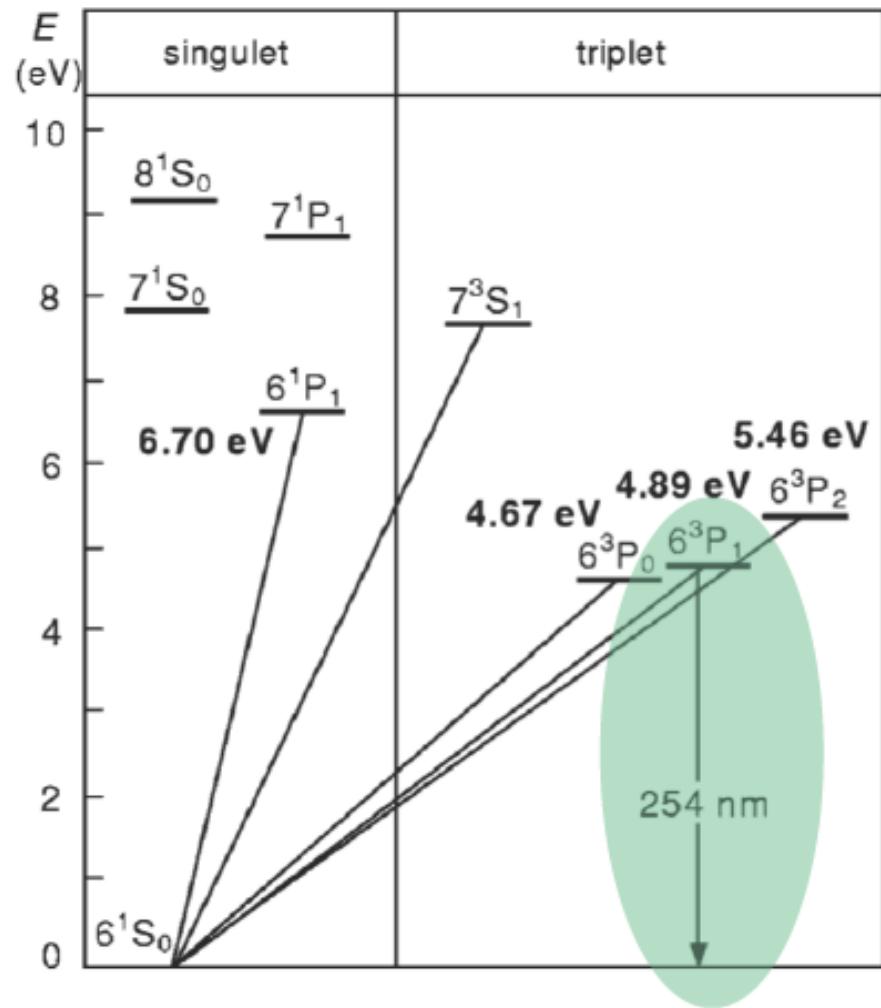
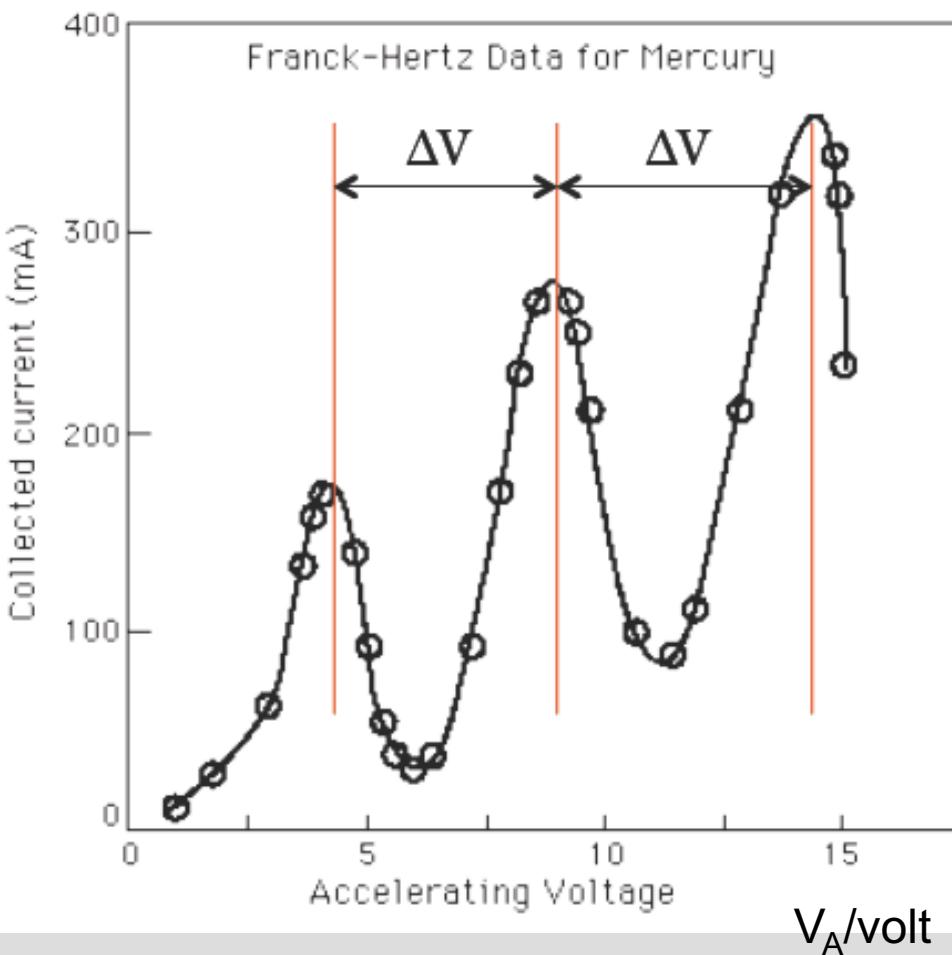
Questo perche` una volta che l'atomo e` eccitato puo` tornare allo stato fondamentale tramite l'emissione di un fotone (in 10^{-8} s) che ha momento angolare 1, nella transizione quindi il momento angolare dell'atomo deve variare di 1 $\rightarrow \Delta J = 1$. La transizione radiativa quindi puo` avvenire dallo stato 3^P_1 ma non da 3^P_0 o 3^P_2 . Le transizioni da questi stati, che risultano metastabili, sono molto piu` lente (10^{-3} s).

La transizione allo stato 1^P_1 (6.7eV) sarebbe possibile ma quella ad energia minore (3^P_1) e` cosi` efficace che in effetti non si osserva.

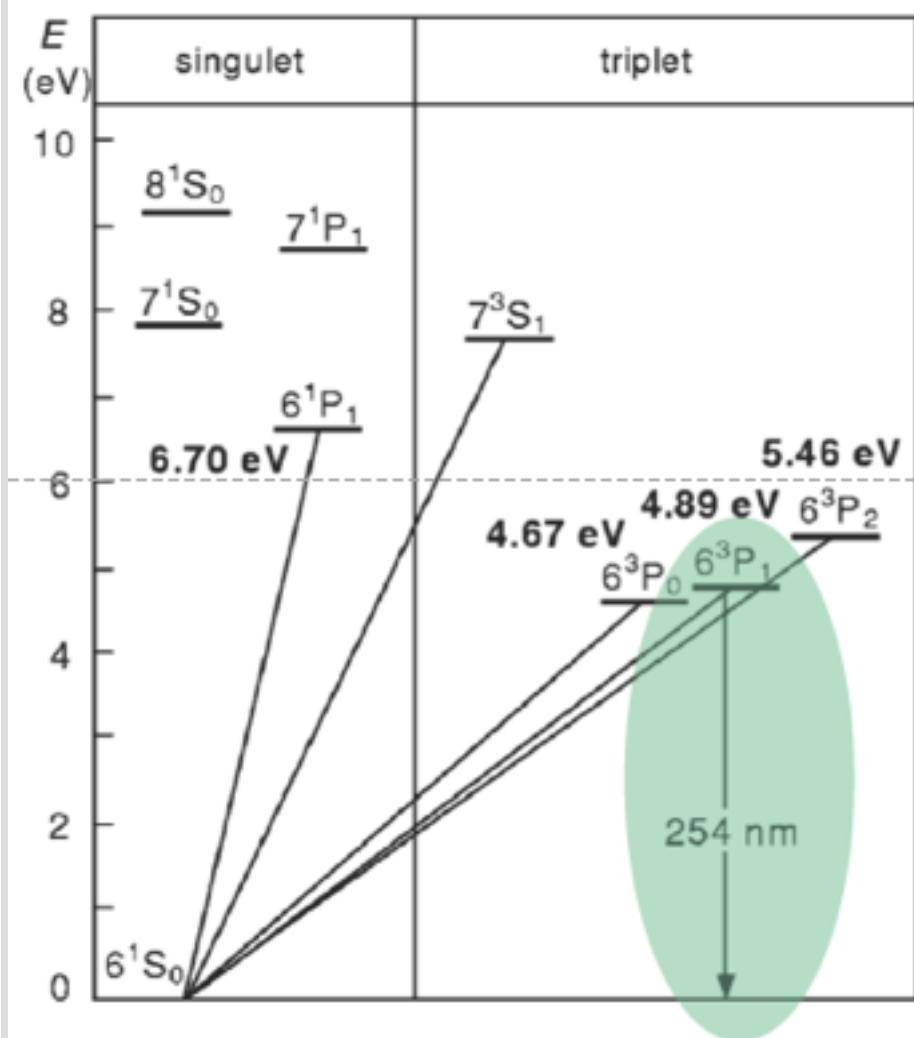
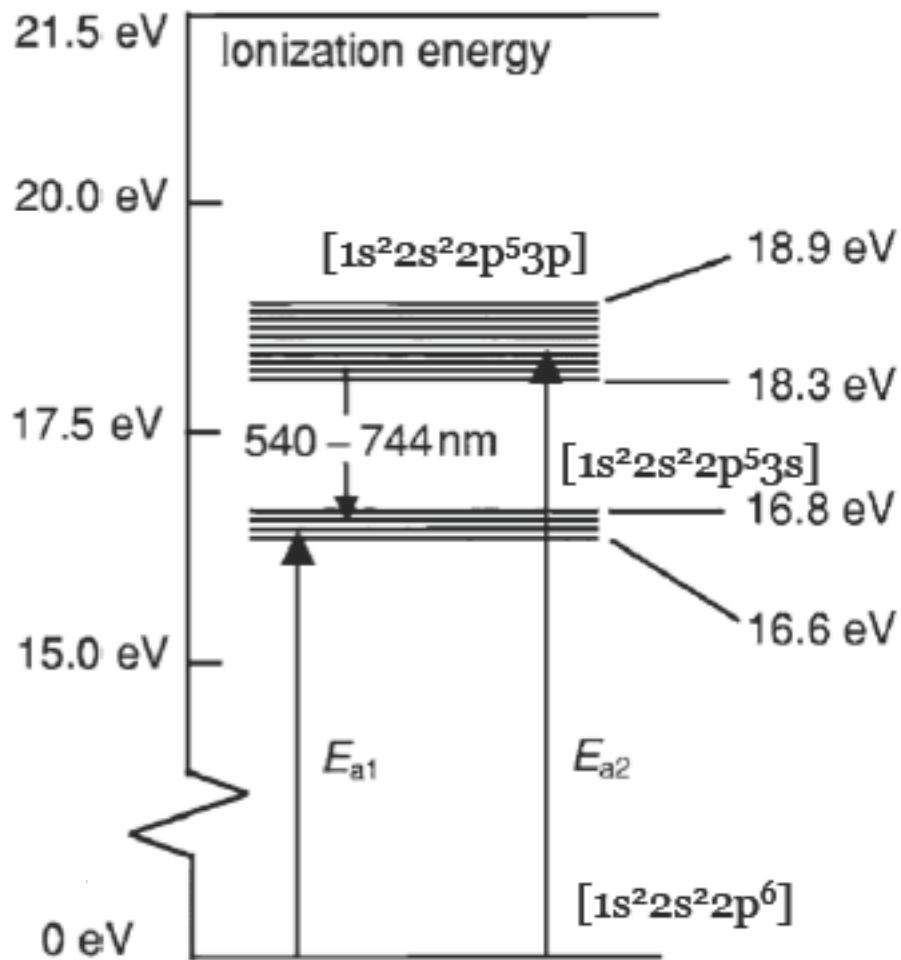


Misura dell'eccitazione su Hg

Evidenza di uno spettro discreto con energia di eccitazione minima pari a $\Delta E = 4.89 \text{ eV}$ (corrispondente alla transizione $6^3P_1 \rightarrow 6^1S_0$)



Neon vs Hg



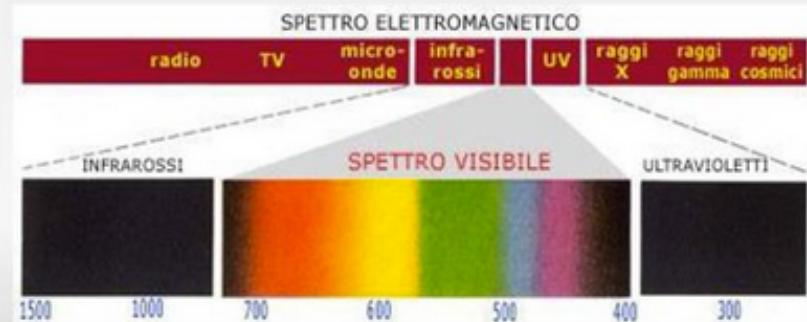
Fotoni emessi in Neon e Hg

- ✓ Il gas emette radiazione:



Nel caso del Hg i fotoni emessi hanno $\lambda=254\text{nm} \rightarrow$ Far UV (UVB, UVC)

✓ Nel caso di gas Neon i fotoni emessi hanno lunghezze d'onda nel **visibile** (arancione, giallo) ovvero $\lambda = 600 \text{ nm}$.



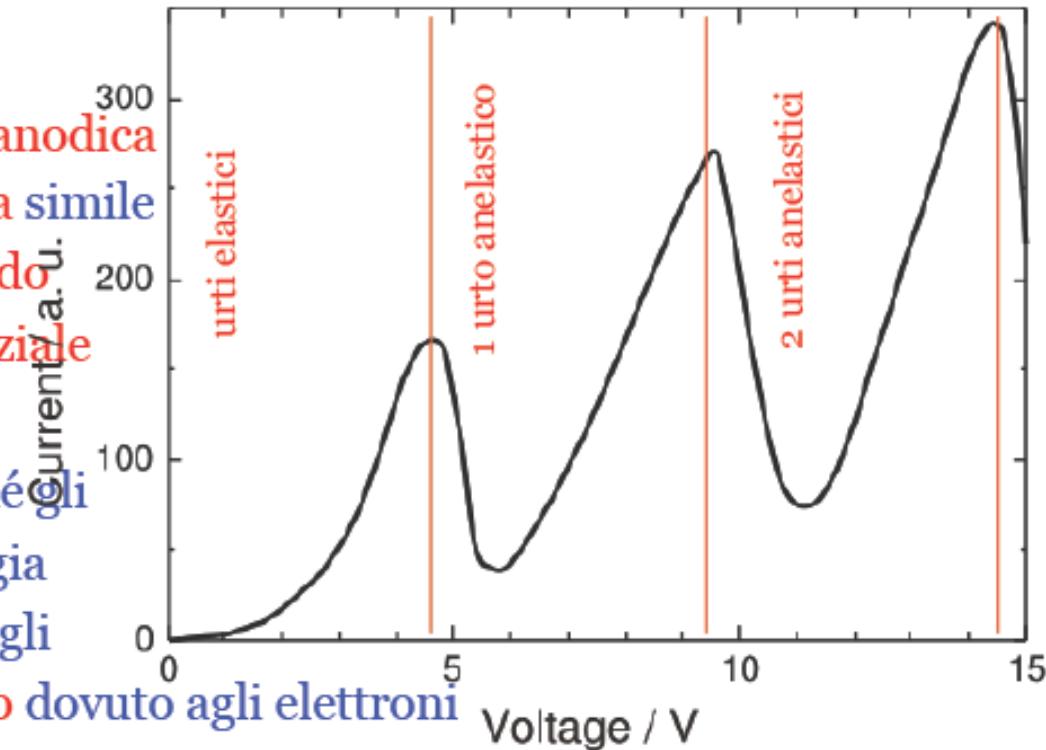
Interpretazione (1)

- Regime “elastico”

- Finché $V_A < \Delta E/e$, la corrente anodica cresce con una legge di potenza simile a quella ($I \propto V_A^{3/2}$) di un diodo a vuoto in regime di carica spaziale

- 1^a eccitazione

- La corrente diminuisce allorché gli elettroni raggiungono un’energia cinetica sufficiente ad eccitare gli atomi del gas → primo minimo dovuto agli elettroni accelerati fino all’energia di eccitazione a ridosso di G_2
 - Aumentando ulteriormente V_A , la zona di eccitazione nel gas si sposta gradualmente verso G_1 → incremento dello spazio per gli elettroni per guadagnare energia cinetica e superare la barriera di potenziale G_2 -A → la corrente riprende a crescere



Interpretazione (2)

- **Dumping**

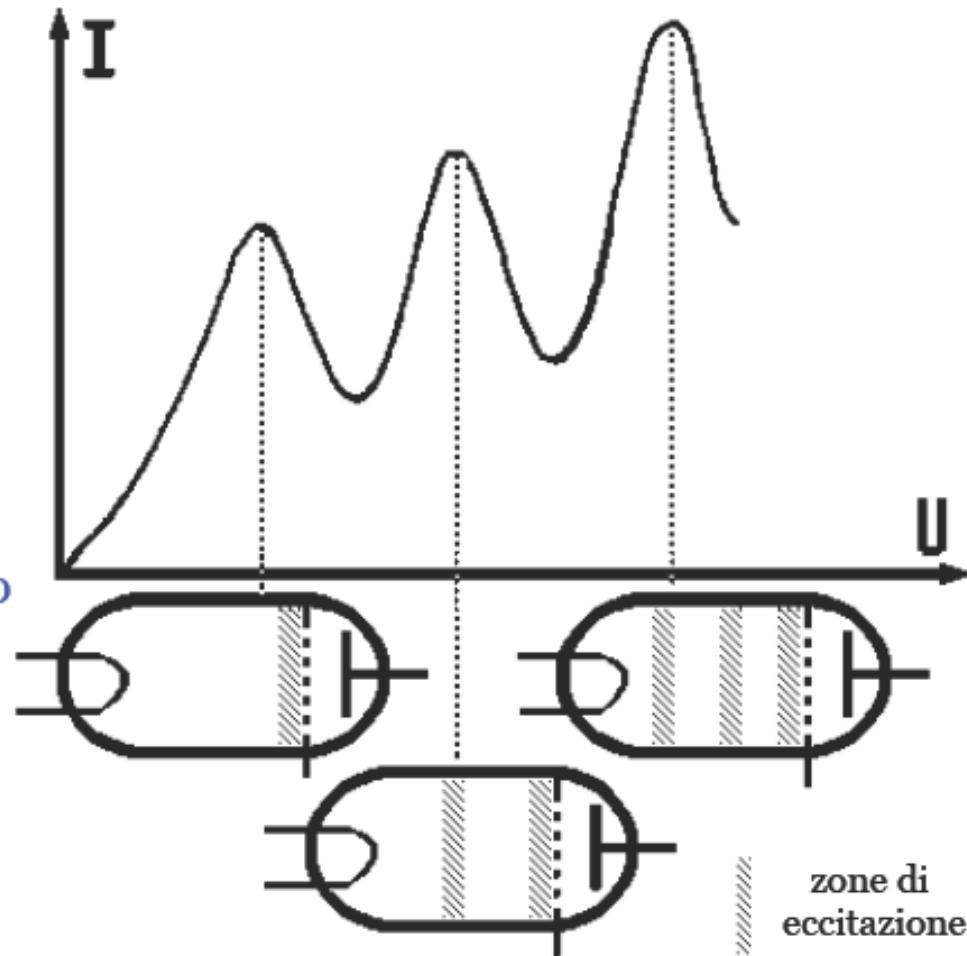
- Un ulteriore progressivo incremento di tensione determina un aumento della corrente anodica finché la tensione di accelerazione non è pari a $2\Delta E/e$, allorché essa presenta una **nuova discontinuità**

→ **2^a eccitazione**

- dovuta agli elettroni che acquistano in prossimità di G_2 sufficiente energia cinetica per subire un **secondo urto elastico**

...

→ **n-esima eccitazione**



In questo modo ci si aspetterebbe la distanza tra i massimi sempre uguale...

Effetti sistematici

- Separazione massimi corrente

- è apprezzabile (ordine ~ 1%) un incremento (quasi lineare) di ΔE in funzione dell'ordine n e della densità del gas
 - dovuto al fatto che, raggiunta l'energia di eccitazione, l'elettrone percorre in media un tratto pari al **libero cammino medio** λ prima di urtare un atomo, così acquistando un'**ulteriore energia cinetica** δ_1
- possibilità di eccitare stati di **energia più elevata**

$$E_i = E_A + \delta_1$$

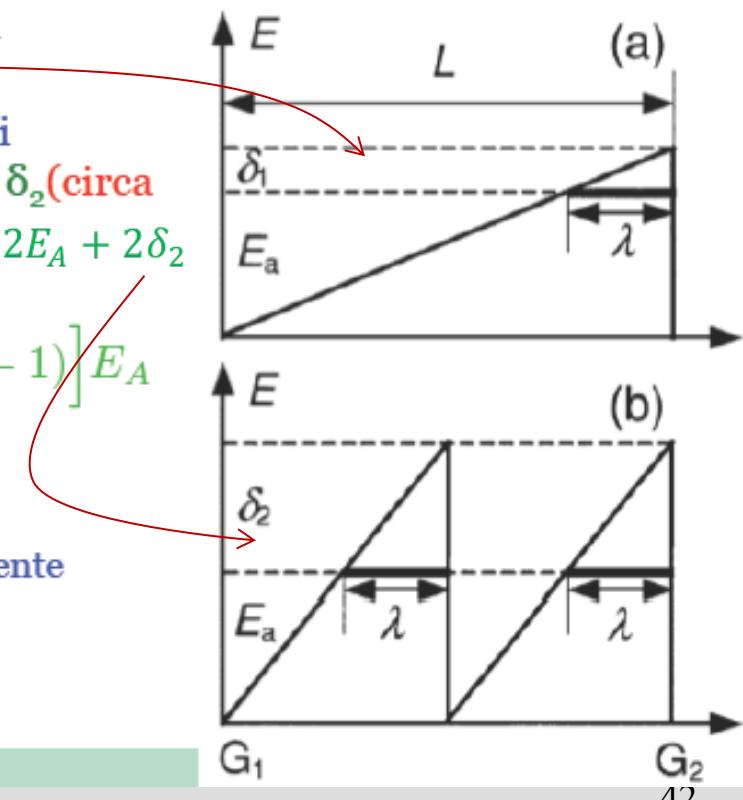
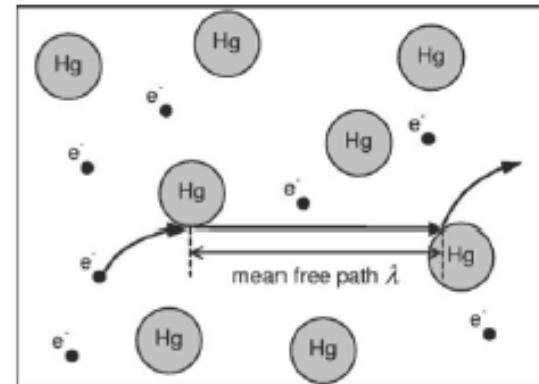
- per effetto del **maggior campo elettrico**, gli elettroni soggetti a **2 urti** guadagnano una **maggiore energia** δ_2 (**circa doppia di** δ_1) lungo lo stesso cammino medio $E_2 = 2E_A + 2\delta_2$
- in generale, se $\delta_n \ll E_A$, risulta

$$\delta_n = n \frac{\lambda}{L} E_A \Rightarrow \Delta E_n = E_n - E_{n-1} = \left[1 + \frac{\lambda}{L} (2n - 1) \right] E_A$$

(più il gas è **rarefatto**, più l'effetto è visibile)

→ **procedura più corretta:**

- estrarre le tensioni corrispondenti ai massimi di corrente
- per ogni coppia di max. contigui calcolare ΔE
- interpolare ΔE_n vs. n a partire da $n=2$
- estrapolare a $n=0.5$ per ottenere E_A



Le nostre esperienze

Obiettivo: riprodurre i risultati dell'esperimento di Frank e Hertz in Neon o Mercurio

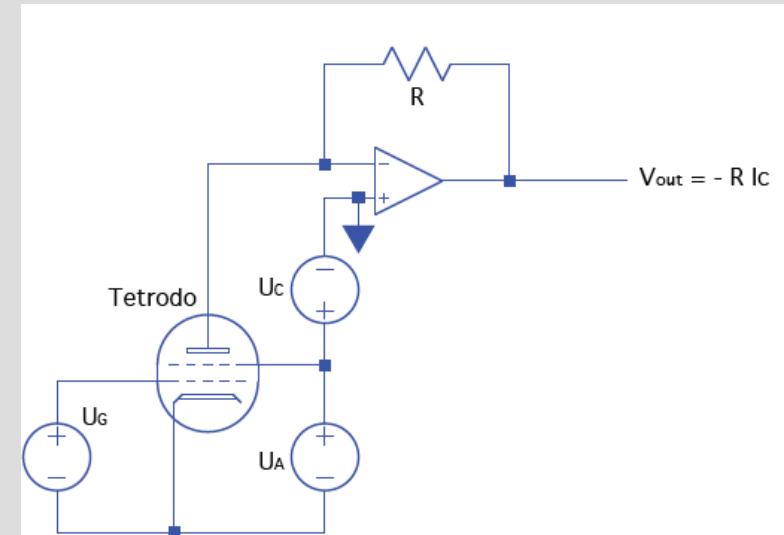
Materiale:

Tetrodo a Neon o Hg

Alimentatori e convertitore corrente-tensione

(fornetto per tetrodo a Hg)

Oscilloscopio



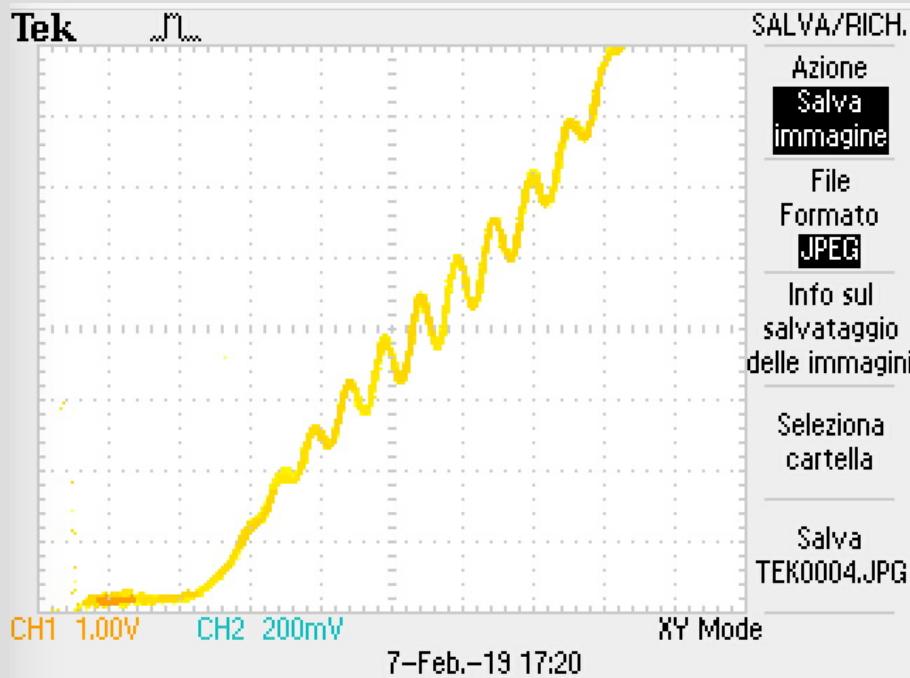
Confronto Neon - Hg

- svantaggi (rispetto al Hg)
 - livelli di eccitazione più elevati ($E_{A1} = 16.7 \text{ eV}$, $E_{A2} = 18.6 \text{ eV}$)
 - a parità di tensione di accelerazione minor numero di eccitazioni osservabili
- vantaggi
 - gas a temperatura ambiente
→ riscaldamento non necessario
 - minore dipendenza dalla temperatura dei parametri del gas (tipo λ)
 - possibile osservazione della fluorescenza nelle zone di eccitazione da 540 a 744 nm (color arancio) dovuta alla transizione spontanea dai livelli E_{A2} ad E_{A1}



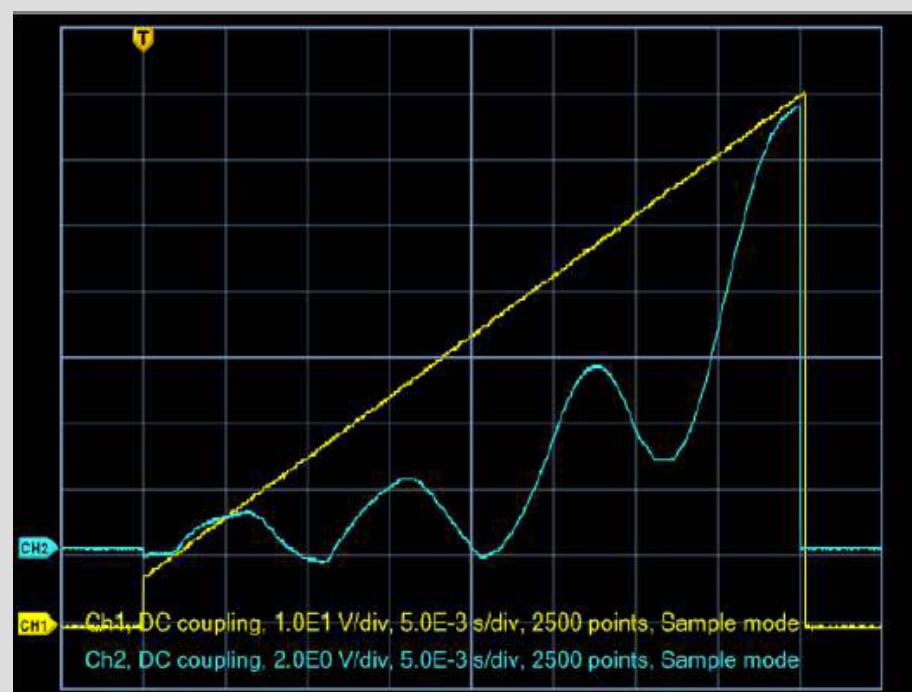
Acquisizioni dai nostri apparato

Hg – Visualizzazione Modalita` x-y



X - tensione accelerazione
Y – tensione misurata

Neon – Visualizzazione due traccie



Giallo tensione accelerazione
Blu tensione misurato, prop. corrente

Materiale

Frank-Hertz in generale:

<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1e39IB5rK4-ZZ9JPNvaCXGkIM137DqEIG>

Film esplicativi da guardare prima dell'esperienza:

Neon:

<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1e39IB5rK4-ZZ9JPNvaCXGkIM137DqEIG>

Hg: prossimamente ...