

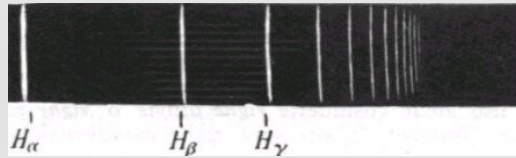
# L'esperimento di Franck-Hertz

Incontri di Fisica  
(10 – 12 Ottobre 2012)  
LNF

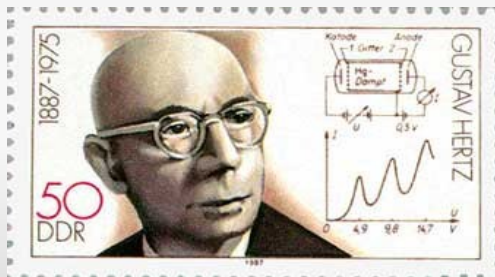
**MATTEO MASCOLO**  
Università di Roma Tor Vergata

# (Breve) riepilogo delle puntate precedenti...

- **1884** - Johann Balmer studia le righe di assorbimento dell'atomo di idrogeno, notandone una disposizione discreta e ben precisa...



- **1890** - Legge di Rydberg-Ritz: 
$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)$$
- **1905** - Max Planck e Albert Einstein elaborano teorie che prevedono la quantizzazione degli orbitali elettronici, gettando le basi della meccanica quantistica
- **1911** - Esperimento Hans Geiger e Ernest Marsden (alias esperimento di Rutherford)
- **1914** - Modello atomico di Bohr



- **1914** - Franck e Hertz forniscono la definitiva dimostrazione sperimentale dell'esistenza dei livelli discreti di energia negli atomi, vincendo per questo il **Premio Nobel per la Fisica** nell'anno 1925

# Le basi dell'esperimento

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



# Le basi dell'esperimento

- Eccitazione "Atomica" → gli  $e^-$  di atomi del gas vengono trasferiti su orbitali di energia maggiore
- Eccitazione dei Nuclei → protoni e neutroni dei nuclei vengono indotti in stati di energia maggiore
- Eccitazione Molecolare → oltre alle variazioni di  $e^-$  p ed n può variare l'energia dell'intera molecola (variano i modi di vibrazione e rotazione)

→ Se le teorie di Planck, Einstein e Bohr sono corrette...

**N.B. = In tutti i casi agli atomi/molecole del gas dovrebbero assorbire solo quantità discrete energia (indipendentemente dal modo di trasferimento!!)**

# Scopo dell'esperimento

- ✓ Vedere se l'eccitazione di atomi può avvenire tramite bombardamento di elettroni
- ✓ Dimostrare la discretizzazione dei livelli energetici degli atomi/molecole
- ✓ Verificare se i livelli osservati coincidono con quelli ricavati dalla spettroscopia

Si fa incidere un fascio di  $e^-$  di energia regolabile (vedremo come) su un vapore di Neon (Ne)

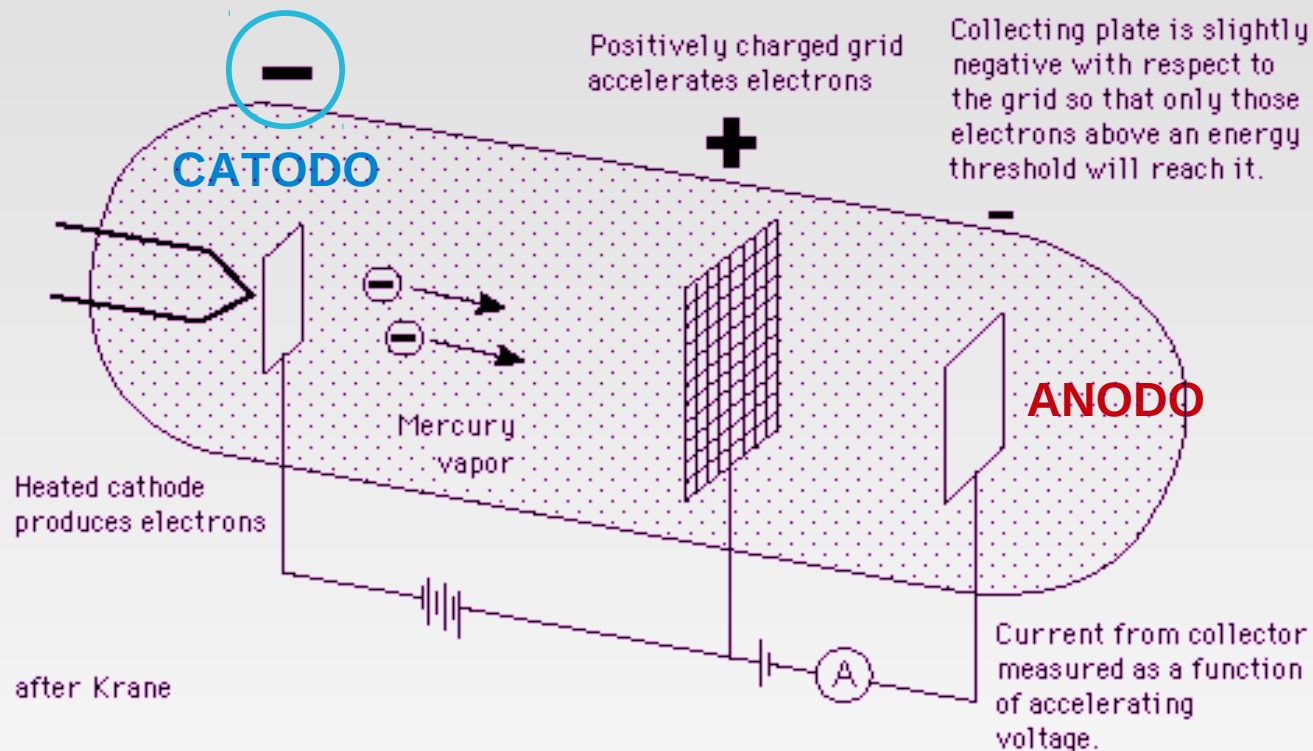


Si "contano" quindi gli  $e^-$  che hanno subito scattering anelastici al variare dell'energia iniziale ovvero quelli che hanno interagito eccitando le molecole del gas !!

## COSA CI ASPETTIAMO ?

# L'apparato sperimentale (1/3)

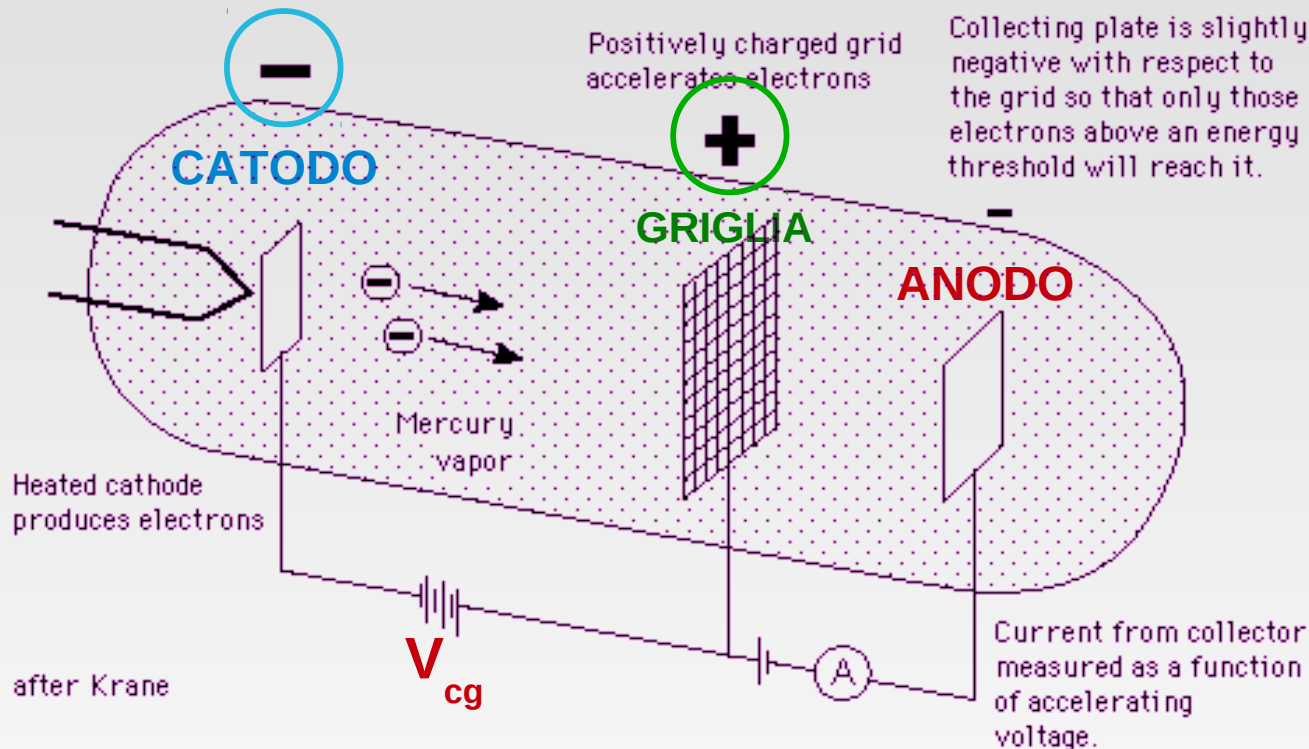
Gli e- da accelerare vengono emessi da un filo riscaldato. Lo stesso filamento è anche portato ad una tensione negativa (e per questo chiamato **CATODO**)



Gli elettroni emessi vengono accelerati verso una griglia positiva. Al di là della griglia c'è un piatto collettore (l'**ANODO**, ad una tensione leggermente < di quella di griglia) che consente di raccogliere gli e- che la attraversano .

# L'apparato sperimentale (2/3)

Al variare della tensione tra catodo e griglia ( $V_{cg}$ ), si varia il campo tra i due terminali, ovvero l'accelerazione imprimibile agli e- (e quindi la massima energia trasportata)

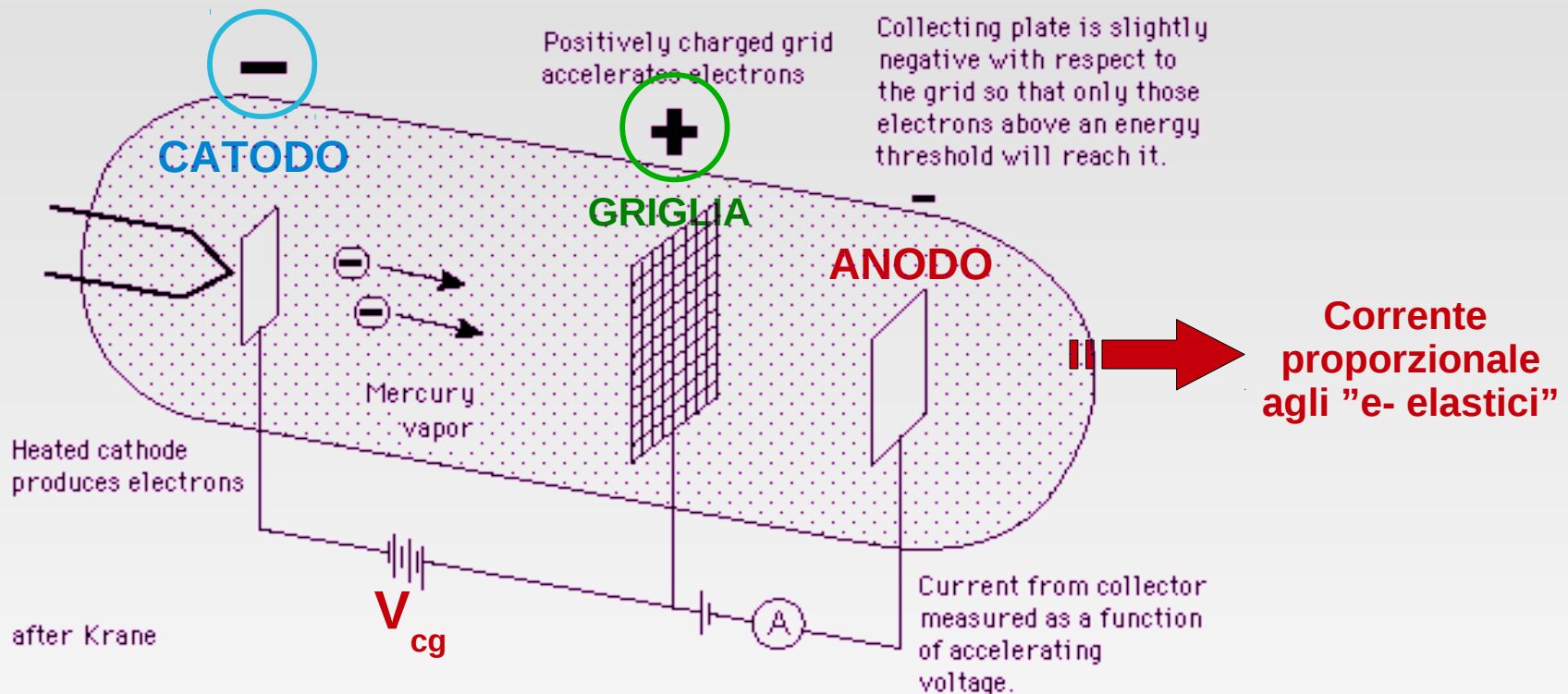


Il "contropotenziale" tra griglia a anodo (dove vengono raccolti gli elettroni accelerati) fa sì che **NON** tutti gli elettroni emessi raggiungano il collettore

**Con l'anodo a tensione negativa siamo sicuri che anche gli e- che hanno perso parte della loro energia vengano fermati dalla griglia!**

# L'apparato sperimentale (3/3)

Vengono "contati" gli e- che subiscono scattering anelastico sugli atomi di Ne: leggendo la corrente anodica (proporzionale agli elettroni che scatteranno solo elasticamente)



Gli "e- inelastici" hanno eccitato atomi di Ne quindi hanno perso energia e vengono catturati dalla griglia.

## COSA SUCCEDERA' DUNQUE?



# Procedura sperimentale

Gli elettroni che subiscono solo collisioni elastiche, hanno un'energia sufficiente per arrivare sull'anodo

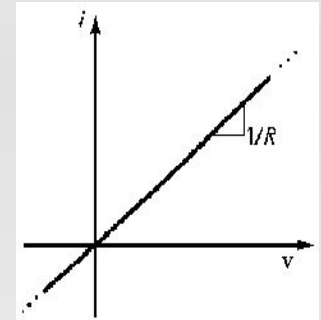
$$V = RI$$



$$I = \frac{dQ}{dt}$$

**LEGGE DI OHM**  
(Aumenta V, aumenta I)

**Numero di cariche  
al secondo**



All'aumentare della tensione aumenta l'energia degli elettroni, secondo la semplice legge:

$$E_e = e V_{cg}$$

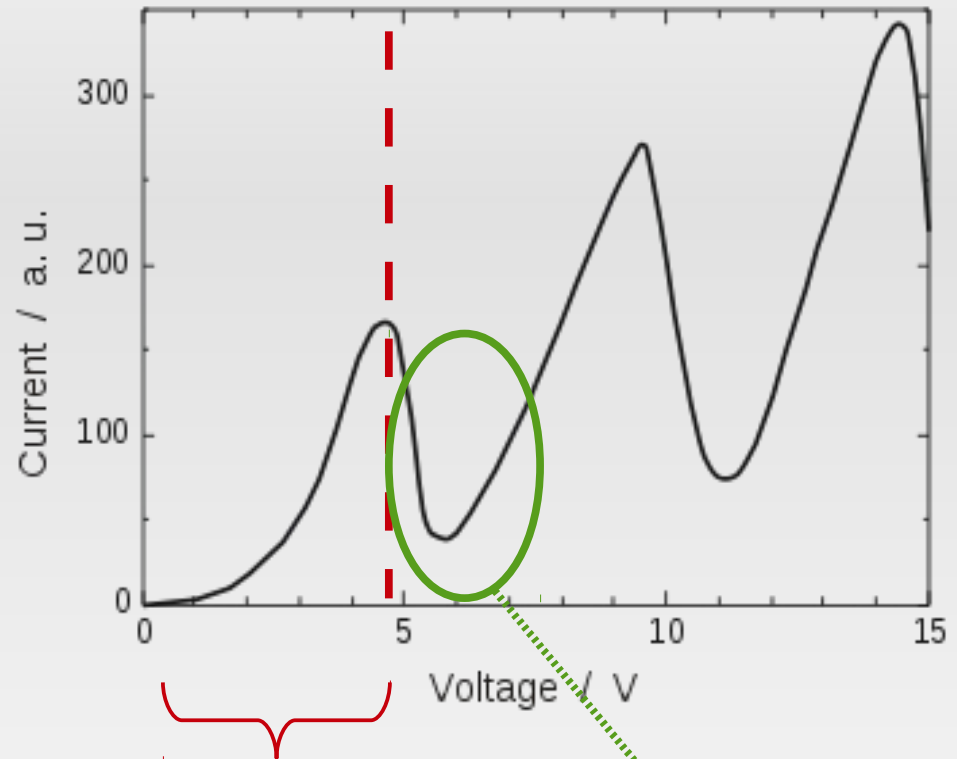
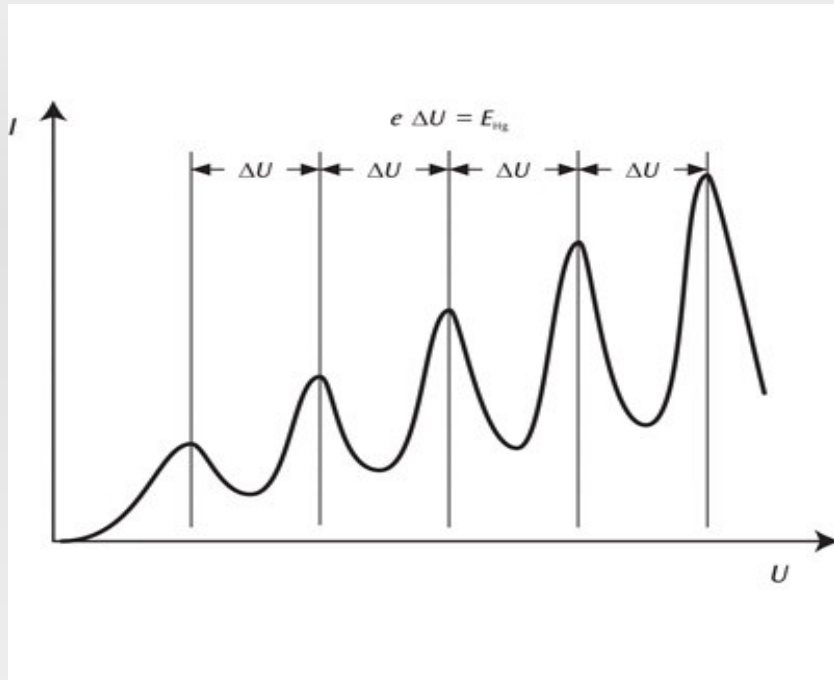
quindi aumenta I, ovvero il numero di elettroni elastici che raggiungono l'anodo...

Quando l'energia è tale da implicare collisioni inelastiche, gli elettroni cedono energia al gas e vengono bloccati sulla griglia → **LA CORRENTE DIMINUISCE !!!**

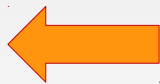


**Se la corrente diminuisce per multipli di questa tensione particolare:  
abbiamo dimostrato sperimentalmente la quantizzazione dei livelli!!**

# Risultati sperimentali (1/3)



La corrente  
anodica  
aumenta



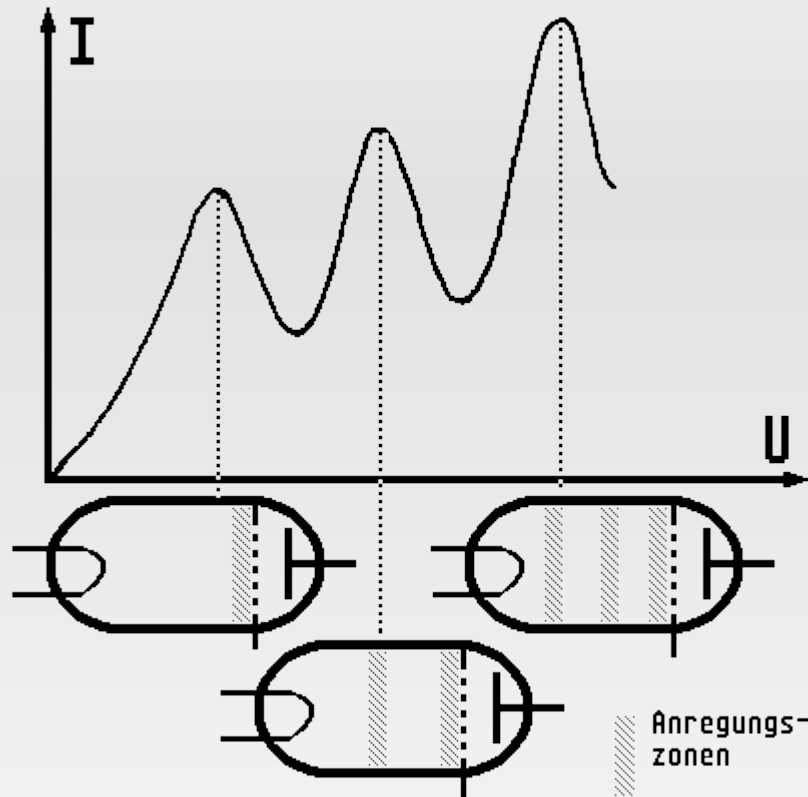
Energia cinetica degli elettroni non  
sufficiente ad eccitare atomi di Ne

A ridosso della griglia gli e- raggiungono una  
energia cinetica sufficiente ad eccitare il 1° livello  
degli atomi del gas



Solo la "componente  
elastica"  
degli e- arriva sull'anodo!!!

# Risultati sperimentali (2/3)



Il primo minimo di corrente è legato agli elettroni che acquistano l'energia sufficiente all'eccitazione a ridosso della griglia anodica

Aumentando la tensione ulteriormente, gli e- raggiungono molto prima l'energia di eccitazione del gas quindi hanno spazio a disposizione per essere nuovamente accelerati dal campo, riuscendo nuovamente ad oltrepassare la griglia



**La corrente aumenta nuovamente!!!**

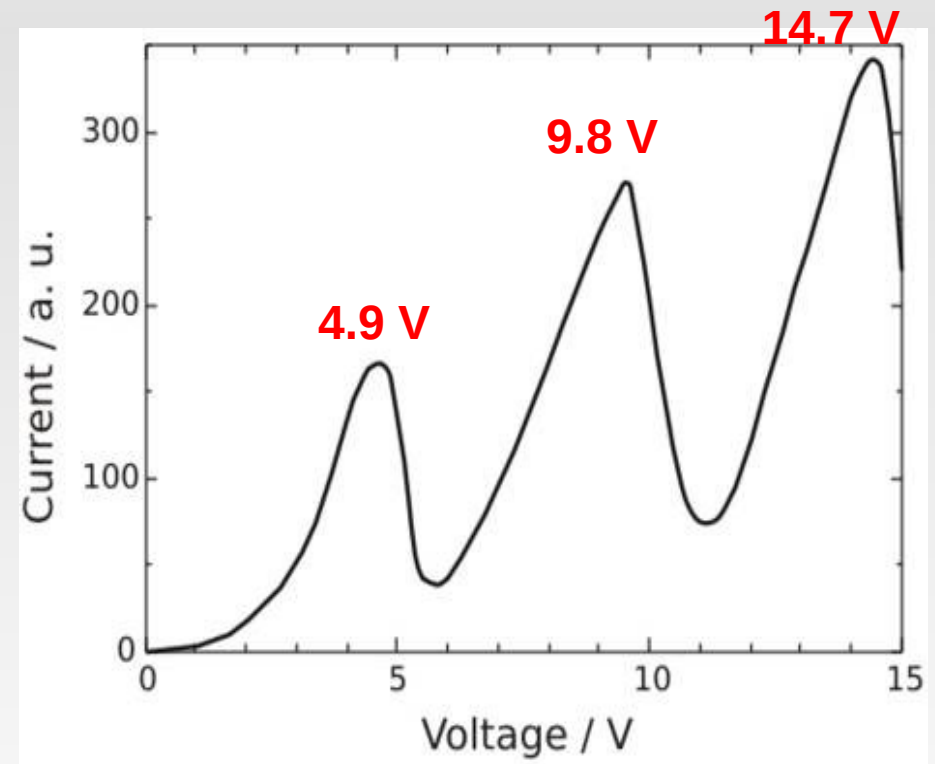
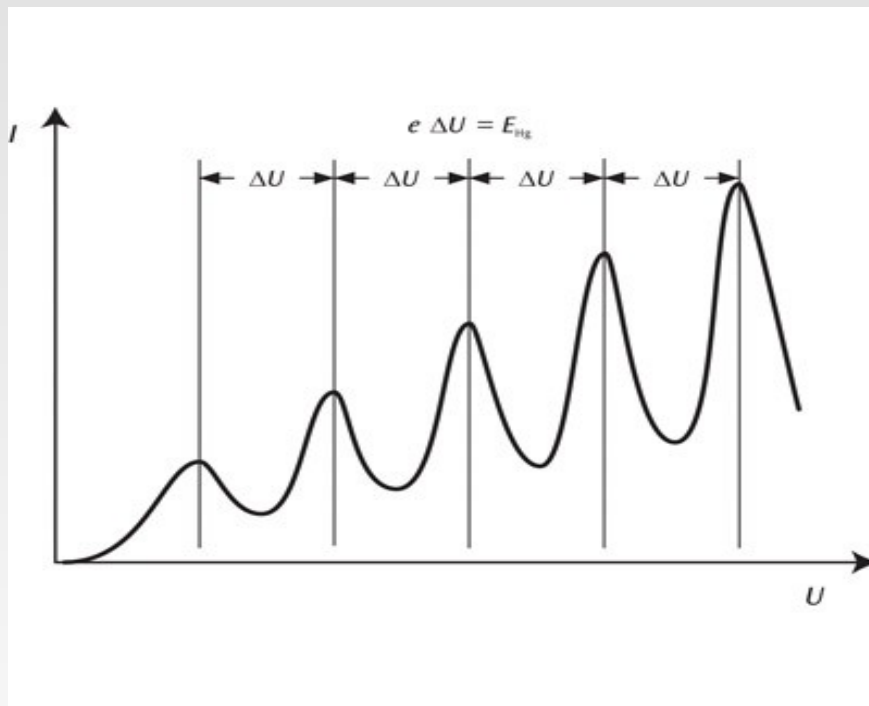
Continuando ad aumentare la tensione applicata si arriva al punto che gli e- subiscono 2 urti anelastici nel gas, uno a metà del cammino nel gas, l'altro alla fine.



**nuovo DUMPING della corrente !**

# Risultati sperimentali (3/3)

I valori di tensione che corrispondono all'inizio dei DUMPING della corrente anodica sono tutti multipli del primo !!



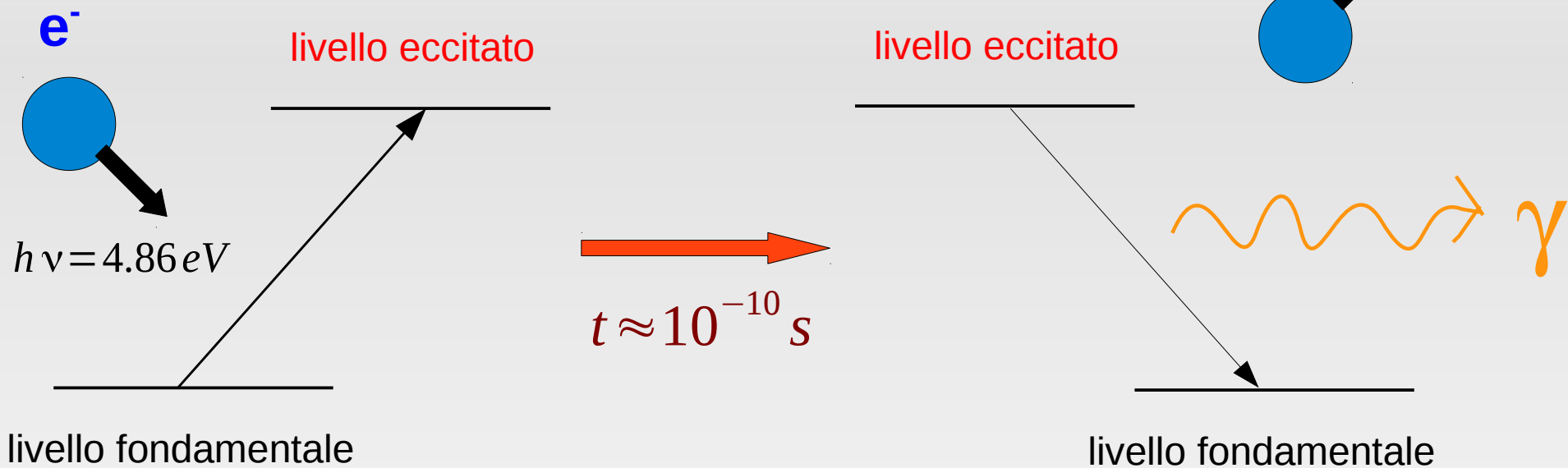
La realtà è un pò piu complessa di cosi...gli e- accelerati potrebbero avere un'energia sufficiente a eccitare direttamente il **II° livello** degli atomi di Ne.

Questo dipende da molti fattori tra cui: tipologia di gas usato, T e P del gas etc..

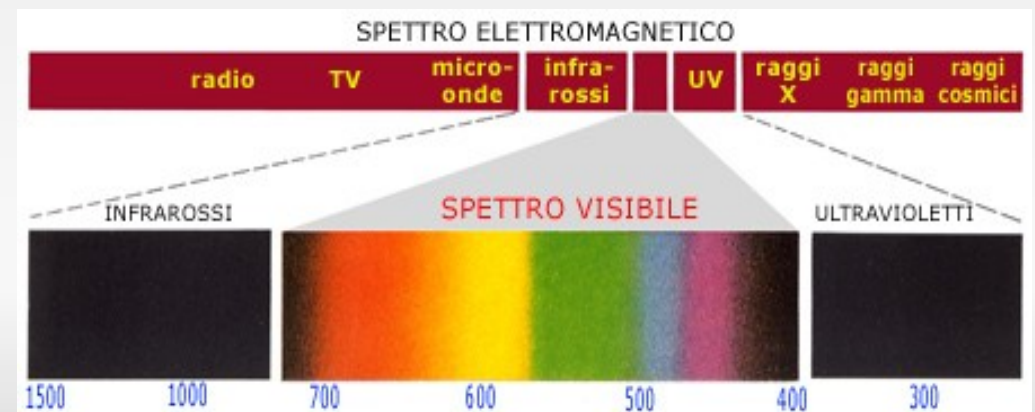
→ **Eventi molto poco probabili !!**

# Osservazioni (1/2)

- ✓ Il gas emette radiazione:

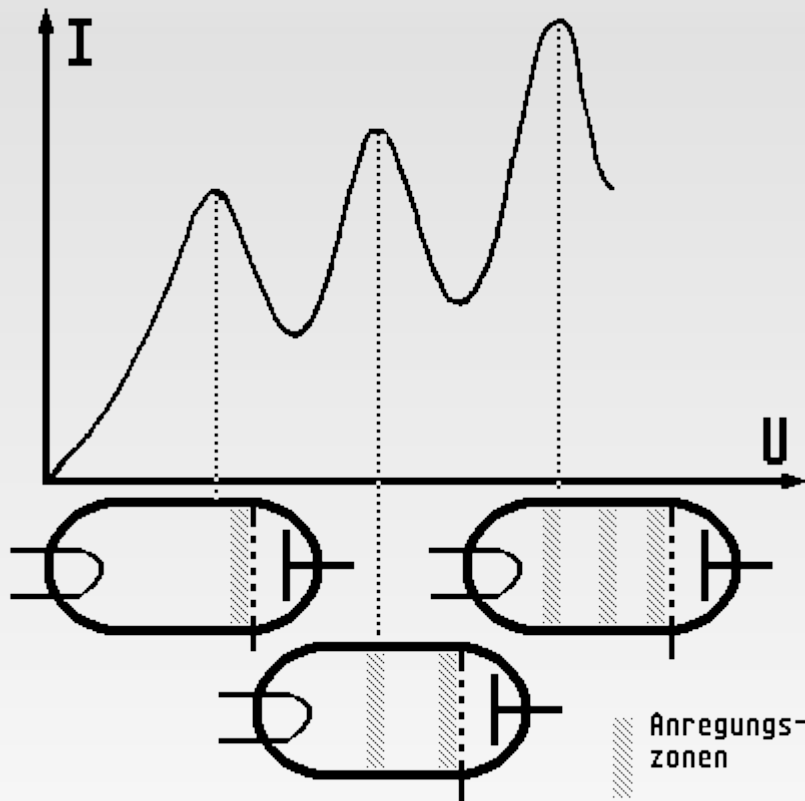


- ✓ Nel caso di gas Neon i fotoni emessi hanno lunghezze d'onda nel **visibile** (arancione, giallo) ovvero  $\lambda = 600\text{ nm}$ .



# Osservazioni (2/2)

- ✓ Il tempo di rilassamento degli atomi è molto piccolo, quindi essi emettono fotoni praticamente lì dove vengono eccitati



**SI VEDONO I PIANI DI ECCITAZIONE DEL GAS!**

# Conclusioni

- L'eccitazione di atomi/molecole può avvenire tramite il bombardamento con un fascio di e-
- Gli e- cedono agli atomi/molecole solo "quanti" discreti di fissata energia: i livelli energetici degli atomi sono quindi quantizzati (conferma della teoria di Bohr e Planck)
- I livelli energetici degli atomi sono in perfetto accordo con i corrispondenti valori previsti dalle teorie spettroscopiche