

---

# Effetto Fotoelettrico

---

Studio dell'effetto  
fotoelettrico

---

Lodovico Lappetito

---

## Sommario

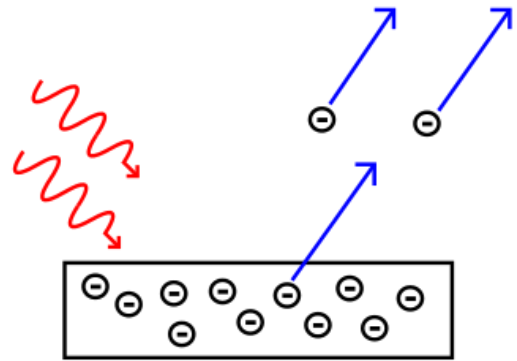
L'effetto fotoelettrico .....	3
Il fototubo 1P39.....	5
Setup Sperimentale .....	6
Spettri dei LED utilizzati.....	7
Misure.....	8

## L'effetto fotoelettrico

In fisica dello stato solido l'**effetto fotoelettrico** è il fenomeno fisico caratterizzato dall'emissione di elettroni da una superficie, solitamente metallica, quando questa viene colpita da una radiazione elettromagnetica, ossia da fotoni aventi una certa lunghezza d'onda.

Come comprese Einstein, riprendendo la teoria di Planck, l'effetto fotoelettrico evidenzia la natura quantistica della luce.

Nella radiazione elettromagnetica, l'energia non è distribuita in modo uniforme sull'intero fronte dell'onda ma è concentrata in singoli **quanti** (pacchetti discreti) di energia, i fotoni, e ogni fotone interagisce singolarmente con un elettrone, al quale cede la sua energia. **Affinché ciò si verifichi è necessario che il fotone abbia un'energia sufficiente a rompere il legame elettrico che tiene legato l'elettrone all'atomo.** Questa "soglia minima" di energia del fotone si determina in base alla relazione di Einstein:



Nella radiazione elettromagnetica, l'energia non è distribuita in modo uniforme sull'intero fronte dell'onda ma è concentrata in singoli **quanti** (pacchetti discreti) di energia, i fotoni, e ogni fotone interagisce singolarmente con un elettrone, al quale cede la sua energia. **Affinché ciò si verifichi è necessario che il fotone abbia un'energia sufficiente a rompere il legame elettrico che tiene legato l'elettrone all'atomo.** Questa "soglia minima" di energia del fotone si determina in base alla relazione di Einstein:

$$E = hf = h(c/\lambda)$$

**h** è la costante di Planck

**f** è la frequenza

**$\lambda$**  è la lunghezza d'onda

**c** è la velocità della luce

In altri termini, l'elettrone può uscire dal metallo solo se l'energia del fotone è almeno uguale al "lavoro di estrazione" ( $hf \geq W_e$ ). Esiste, pertanto, una "soglia minima" di estrazione per ogni metallo, che fa riferimento o alla lunghezza d'onda o alla frequenza del fotone incidente e, quindi, alla sua energia "hf", la quale coincide con il "lavoro di estrazione" ( $W_e$ ).

Il valore di soglia varia in base al tipo di materiale considerato (in genere metalli) e dipende, pertanto, dalle sue caratteristiche atomiche; anche il grado di purezza del metallo influisce sul valore di soglia.

Va in proposito sottolineato che aumentando l'intensità della radiazione elettromagnetica (ossia il numero di fotoni al secondo, di pari energia, che colpiscono l'unità di superficie) aumenta il numero degli elettroni estratti ma non la loro energia cinetica, la quale dipende esclusivamente dall'energia dei fotoni incidenti. Questa è una conseguenza della teoria quantistica di Einstein, in base alla quale ogni fotone incidente interagisce soltanto con un singolo elettrone. Infatti secondo la teoria ondulatoria classica di Maxwell l'estrazione di elettroni dal metallo dipende dall'intensità dell'irradiazione per unità di superficie (che deve raggiungere un valore sufficiente) e prescinde, quindi, dalla frequenza della radiazione incidente (ipotesi, questa, smentita dalle evidenze sperimentali).

**Le caratteristiche dell'effetto fotoelettrico sono quindi le seguenti :**

- esiste una frequenza di soglia  **$f_0$**  (detta soglia fotoelettrica), dipendente dal tipo di metallo, al di sotto della quale non si osserva emissione
- l'energia cinetica degli elettroni emessi è indipendente dall'intensità della radiazione incidente
- Il numero di elettroni emessi (la corrente fotoelettrica) aumenta con l'intensità della radiazione
- L'energia del singolo fotoelettrone aumenta al crescere della frequenza della radiazione incidente
- l'emissione dei fotoelettroni è istantanea per ogni valore dell'intensità della radiazione purché  **$f > f_0$**

- definendo un potenziale d'arresto  $V_0$  (stopping potential) per cui  $E_{cinmax} = eV_0$ ,  $V_0$  è indipendente dall'intensità  $I$  e cresce linearmente con la frequenza della radiazione incidente

**L'interpretazione quantistica del fenomeno fotoelettrico è quindi la seguente :**

- Una radiazione elettromagnetica di frequenza  $f$  trasporta pacchetti di energia  $E = hf$  detti fotoni
- L'intensità della radiazione è data dal numero  $n$  di pacchetti trasportati
- Nell'effetto fotoelettrico un fotone è completamente assorbito da un elettrone, che aumenta la propria energia di  $hf$
- L'energia cinetica degli elettroni emessi è  $E_{cin} = hf - W_e$ 
  - $W_e$  = energia necessaria per estrarre un elettrone dal materiale
  - $hf$  = energia fornita al materiale dalla radiazione
- Se  $hf < W_e \rightarrow$  non si ha energia sufficiente per estrarre gli elettroni dal materiale  $\rightarrow$  **soglia fotoelettrica**
- Un elettrone può ricevere energia solo da un quanto  $\rightarrow$  l'energia cinetica degli elettroni emessi non dipende dall'intensità della radiazione incidente
- Aumentando l'intensità della radiazione aumenta il numero di pacchetti di energia  $\rightarrow$  il numero di elettroni emessi aumenta con l'intensità
- $E_{cin} = hf - W_e \rightarrow$  l'energia del singolo elettrone aumenta al crescere della frequenza della radiazione incidente

L'effetto fotoelettrico fornisce una prova, indipendente dalla radiazione di corpo nero, che la radiazione elettromagnetica è costituita da quanti di energia  $hf$ .

**NOTA:** Un fotone può essere assorbito solo se il suo quadrimpulso è conservato - un elettrone libero non può assorbire un fotone conservando simultaneamente energia ad impulso  $\rightarrow$  è indispensabile quindi che gli elettroni siano parte di atomi.

Queste fatti sperimentali possono essere facilmente verificati misurando il potenziale di stopping  $V_0$ , che è la tensione elettrica necessaria per fermare il flusso di elettroni generati dall'effetto fotoelettrico :

$$E_{cin} = hf - W_e$$

$$E_{cinmax} = eV_0$$

$$V_0 = (hf - W_e)/e$$

La misura va fatta a differenti lunghezze d'onda.  
Valori delle costanti da utilizzare sono i seguenti :

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$h/e = 4.136 \times 10^{-15} \text{ Js/C}$$

## Il fototubo 1P39



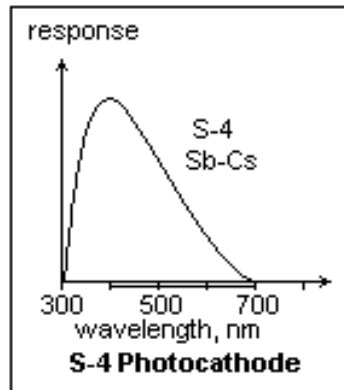
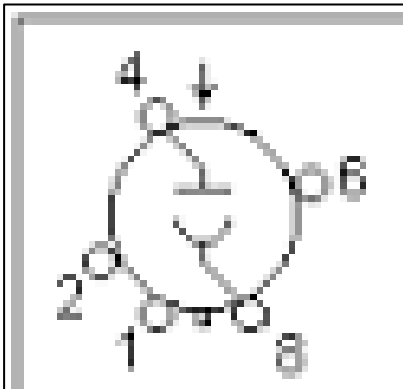
Il fototubo 1P39 è un tubo a vuoto con risposta spettrale di tipo S-4.

### Caratteristiche:

Risposta Spettrale . . . . . S-4  
 Lunghezza d'onda di massima risposta . . . . . 4000 – 5000°A

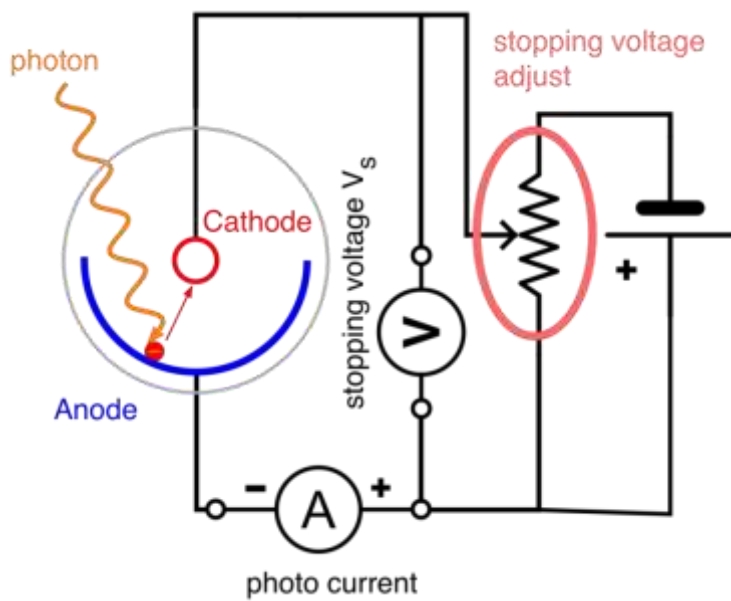
### Catodo:

Forma . . . . . Semicilindrica  
 Bulb . . . . . T9  
 Socket . . . . . PentaPSK8CCM  
 Base . . . . . Octal



Pin out del fototubo 1P39 e risposta spettrale del fotocathodo di tipo S-4

## Setup Sperimentale



Schema di principio del setup sperimentale utilizzato per la misura dello stopping voltage.

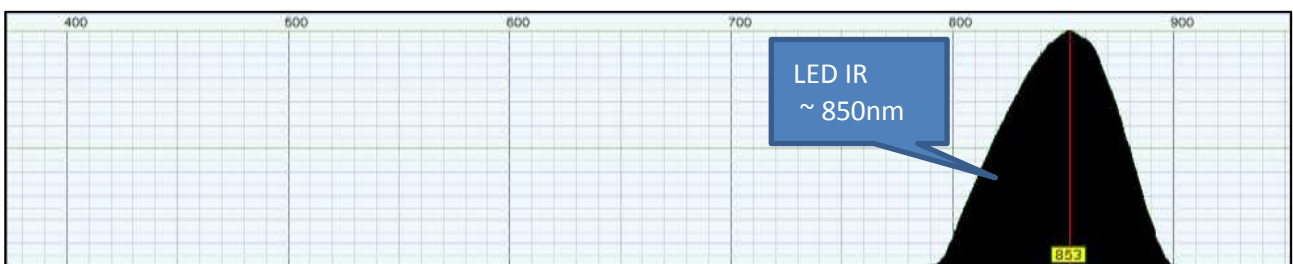
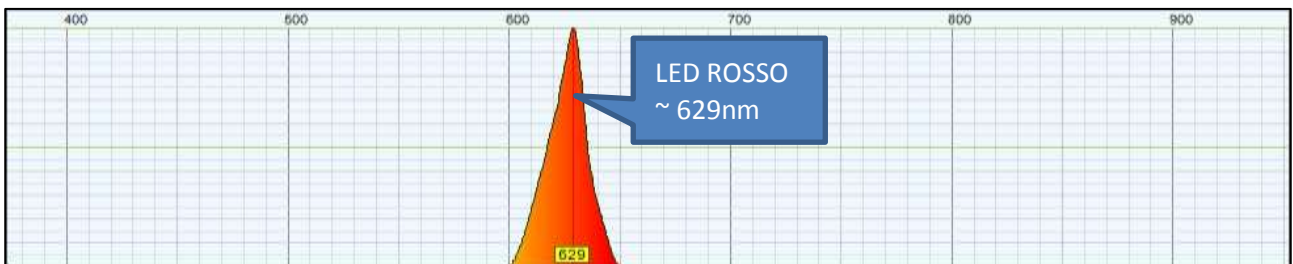
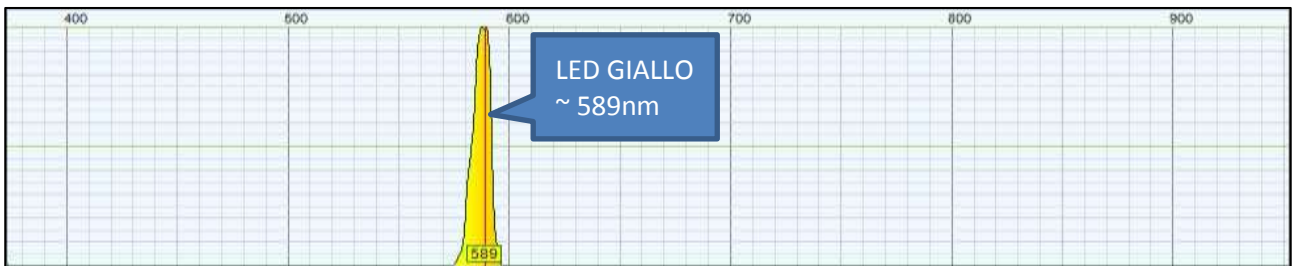
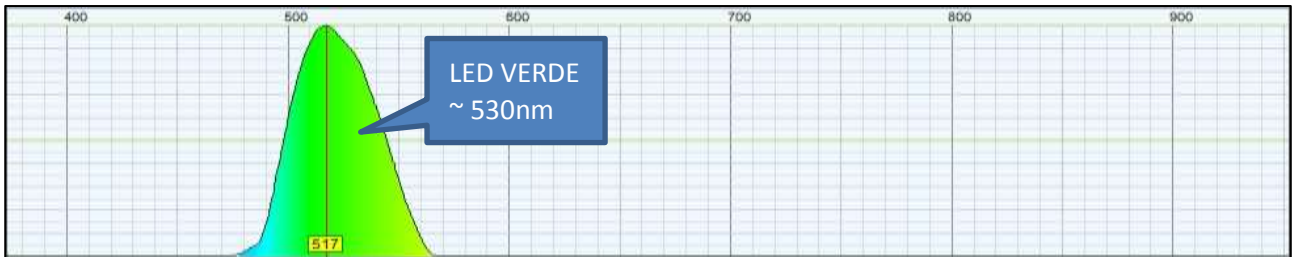
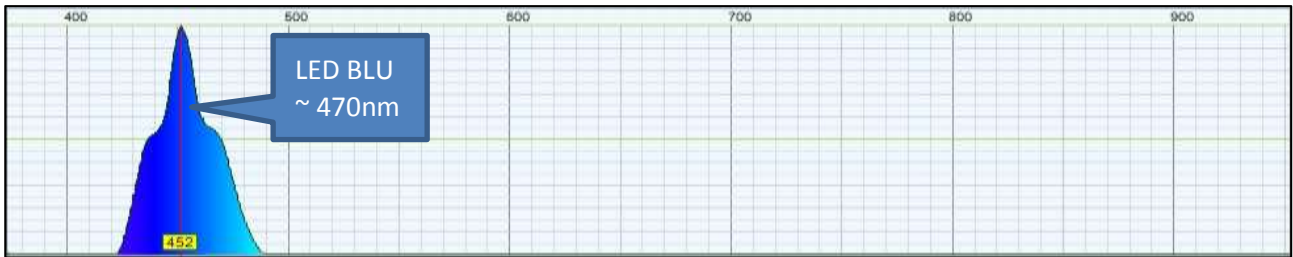
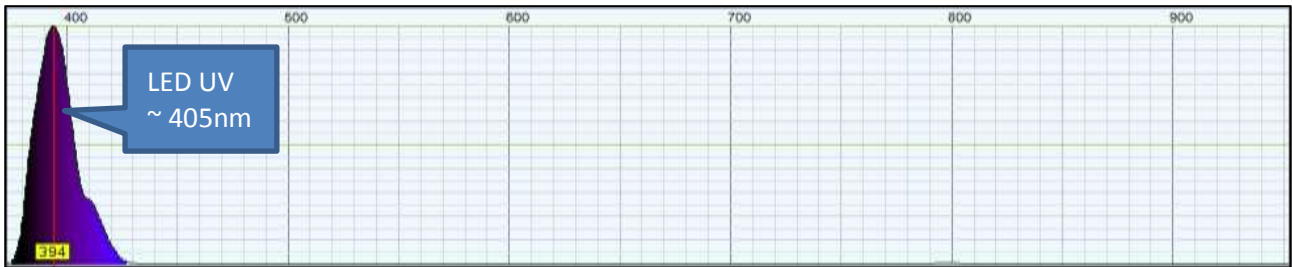


Fototubo, potenziometro e spinotti per il collegamento dei misuratori dello stopping voltage e della fotocorrente.

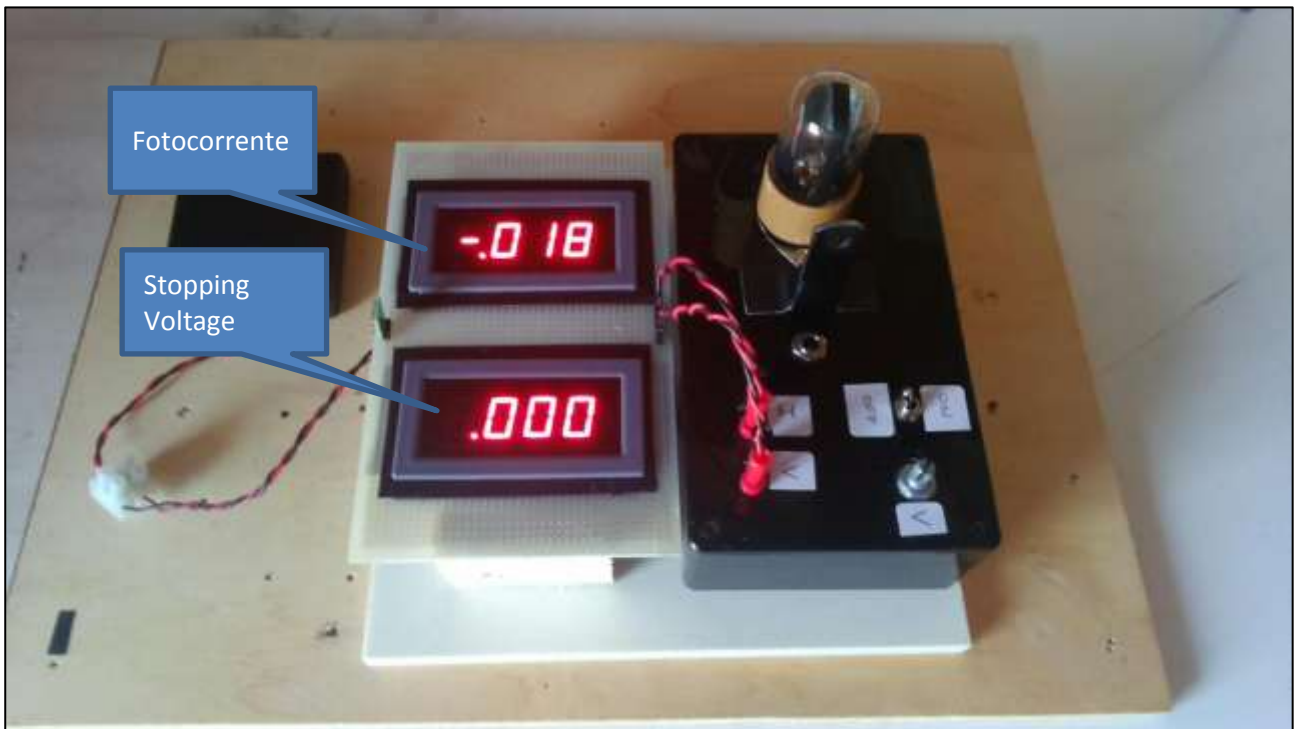


Coperchio del fototubo e LED per l'illuminazione del fototubo

## Spettri dei LED utilizzati



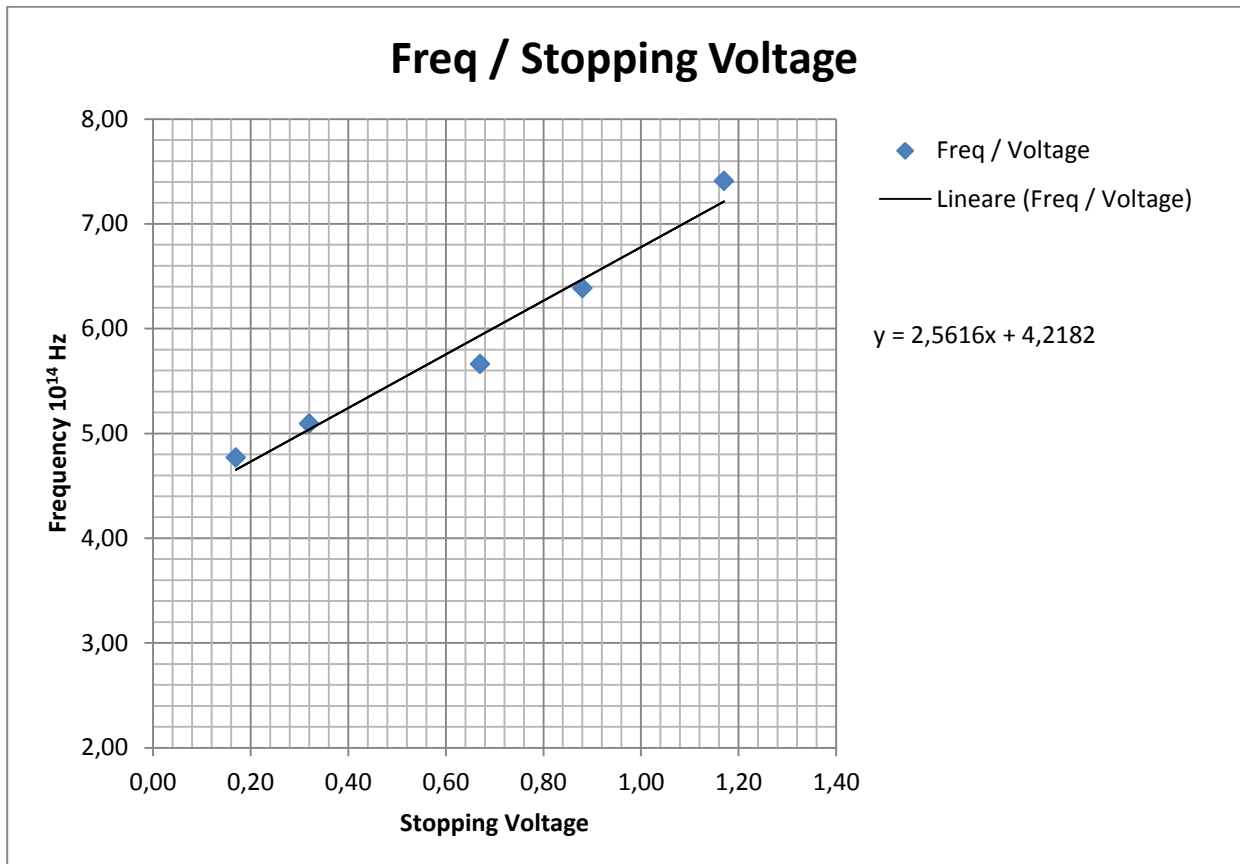
## Misure



La tensione tra anodo e catodo del fototubo viene regolata con il potenziometro fino a che la fotocorrente non viene azzerata. Il valore di tensione a quel punto corrisponde allo "stopping voltage". La misura viene ripetuta per tutte le tipologie di LED. Il LED infrarosso a 850nm non produce fotocorrente.



Tipo LED	Lunghezza d'onda (nm)	Frequenza $10^{14}$ Hz	Stopping Voltage (V)
Infrarosso	850,00	3,57143	NA
Rosso	629,00	4,76948	0,17
Giallo	589,00	5,09338	0,32
Verde	530,00	5,66038	0,67
Blu	470,00	6,38298	0,88
Viola	405,00	7,40741	1,17



Dalla retta di regressione lineare del grafico sopra riportato si ricava :

**$h/e = 3.9 \times 10^{-15}$  Js/C contro il valore corretto di  $4.136 \times 10^{-15}$  Js/C**

**$W_e = 4.218 \times h \times 10^{14} = 1,74 \text{ eV}$**