

Formule utili

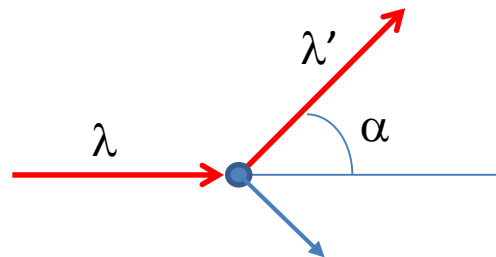
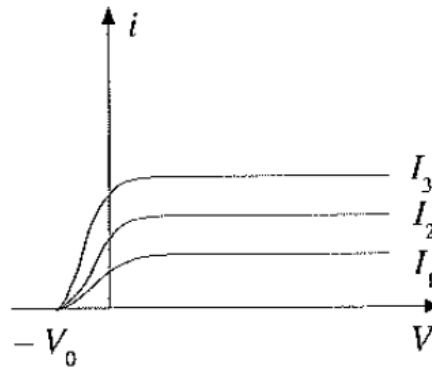
$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}, \quad p = \frac{h}{\lambda}, \quad h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$f > f_{\min} = \frac{W_e}{h}$$

$$E_{\text{kin,max}} = hf - W_e \\ = h(f - f_{\min}) \equiv eV_0$$

$$\lambda' = \lambda + \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \alpha)$$

$$1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$



Quanti di luce o fotoni
(ipotesi di Einstein)

Effetto fotoelettrico:
Frequenza di soglia,
lavoro di estrazione

Energia cinetica massima
e potenziale di arresto

Effetto Compton

Definizione
dell'elettronvolt

MNV esempio 18.4

La lunghezza d'onda massima per l'estrazione di fotoelettroni da una data superficie metallica è $\lambda_{\max}=480$ nm. (a) Determinare il lavoro di estrazione del metallo. (b) Se viene utilizzata una radiazione con $\lambda=300$ nm, qual è il potenziale di arresto V_0 ?

Soluzione: (a) Il lavoro di estrazione del metallo è

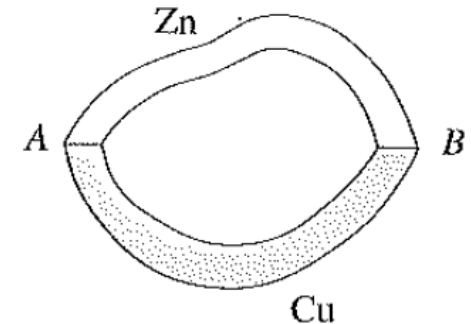
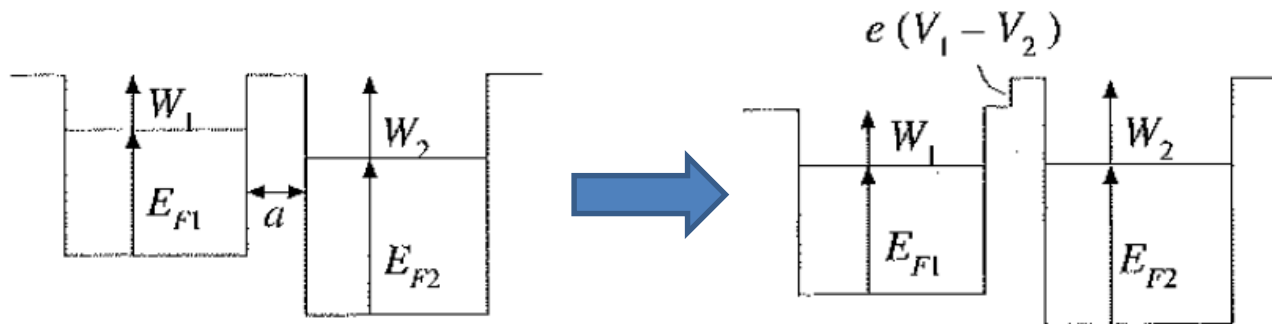
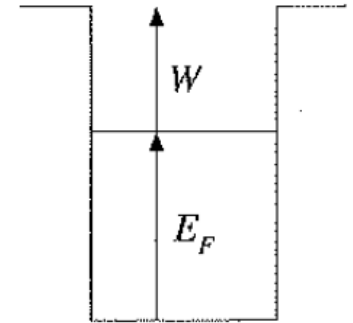
$$W = \frac{hc}{\lambda_{\max}} = 4.14 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2.59 \text{ eV}.$$

(b) Usando radiazione con $\lambda=300$ nm l'energia dei fotoni $E=hc/\lambda=6.6 \cdot 10^{-19}$ J=4.14 eV. Pertanto la massima energia dei fotoelettroni estratti è pari a $E-W=1.55$ eV e il potenziale di arresto è $V_0=1.55$ V.

Materiale	W_e (eV)
Argento	4.8
Cesio	1.8
Cromo	4.6
Litio	2.1
Nickel	4.6
Platino	5.3
Potassio	2.2
Sodio	1.8
Tantalio	4.2
Tungsteno	4.5

Lavoro di estrazione e effetto Volta

Il lavoro di estrazione W dell'effetto fotoelettrico è una proprietà del metallo, detta funzione lavoro (*work function*). Esso rappresenta l'energia necessaria per estrarre un elettrone dal massimo livello occupato, detto *livello di Fermi*. Gli elettroni nel metallo si trovano in una *buca di potenziale*.



Fra due metalli diversi posti a contatto si stabilisce una differenza di potenziale ΔV , tale che $e\Delta V = W_1 - W_2$ è pari alla differenza fra le due funzioni lavoro. Questo è l'*effetto Volta*, scoperto da Alessandro Volta a Pavia nel 1796.

Se i due metalli vengono posti in una soluzione elettrolitica si ottiene la *pila di Volta* e la produzione di una corrente elettrica.



MNV esempio 18.5

Un fascio luminoso con $\lambda=500$ nm ha intensità $I=10^{-6}$ W/cm²: esso incide su una superficie di cesio avente un'area $\Sigma=20$ cm². (a) Sapendo che il lavoro di estrazione del cesio è $W_e=1.8$ eV, calcolare l'energia cinetica massima degli elettroni emessi. (b) Supponendo che l'efficienza del processo di emissione sia 0.12 (efficienza quantica) calcolare la massima corrente ottenibile.

Soluzione: (a) Poiché ogni fotone ha un'energia $E=hc/\lambda=4\cdot10^{-19}$ J=2.5 eV, l'energia cinetica massima è data da

$$E_{\max} = \frac{hc}{\lambda} - W_e = (2.5 - 1.8) \text{ eV} = 0.7 \text{ eV}.$$

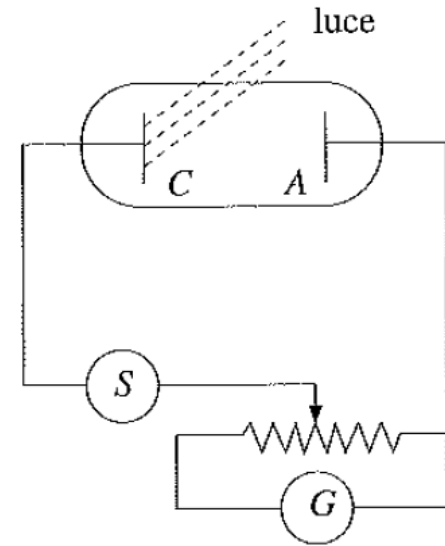
(b) Il numero ϕ di fotoni che incidono sul metallo per unità di tempo è dato da

$$\phi = \frac{I\Sigma}{E} = \frac{2\cdot10^{-5} \text{ W}}{4\cdot10^{-19} \text{ J}} = 5\cdot10^{13} \text{ s}^{-1}.$$

Quindi la corrente massima è $I_{\max}=0.12\cdot e\cdot\phi=9.6\cdot10^{-7}$ A=0.96 μ A.

MNV esempio 18.6

Inviando un fascio di luce di intensità $I=0.1 \text{ W/m}^2$ e lunghezza d'onda $0.396 \mu\text{m}$ su un catodo di potassio ($W_e=2.2 \text{ eV}$), si osserva che l'anodo inizia a raccogliere elettroni dopo un tempo $\Delta t=175 \text{ ns}$; la distanza fra catodo e anodo è $d=10 \text{ cm}$. (a) Verificare che il risultato per l'intervallo temporale è in accordo con la teoria di Einstein. (b) Assumendo che il raggio di un atomo di potassio sia $r=2 \cdot 10^{-10} \text{ m}=2\text{\AA}$, stimare il tempo di estrazione di un elettrone nella teoria classica (ossia il tempo in cui incide sull'atomo una energia pari al lavoro di estrazione).



Soluzione: (a) Poiché ogni fotone ha un'energia $E=hc/\lambda=5.02 \cdot 10^{-19} \text{ J}=3.14 \text{ eV}$, l'energia cinetica massima è data da $E_{\text{kin}}=(3.14-2.2) \text{ eV}=0.96 \text{ eV}$, da cui la velocità massima dei fotoelettroni è $v=(2E_{\text{kin}}/m_e)^{1/2}=5.8 \cdot 10^5 \text{ m/s}$. La velocità risulta $\ll c$, quindi non sono necessarie correzioni relativistiche. Il tempo di transito è $\Delta t=d/v=172 \text{ ns}$ ed è in accordo con il valore sperimentale.

(b) Modellizzando un atomo come un disco di area $\Sigma=\pi r^2$, il tempo classico di estrazione è dato dalla condizione $I\Sigma\tau=W_e$, da cui $\tau=W_e/(I \cdot \pi r^2)=28 \text{ s}$. Si tratta di un tempo lunghissimo! La teoria classica è in completo disaccordo con l'esperimento.