

12. FOTOELEKTRIČNI EFEKT

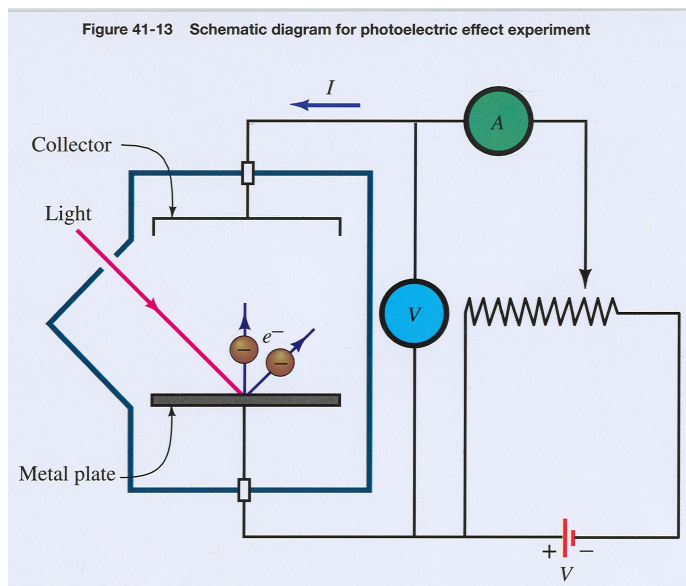
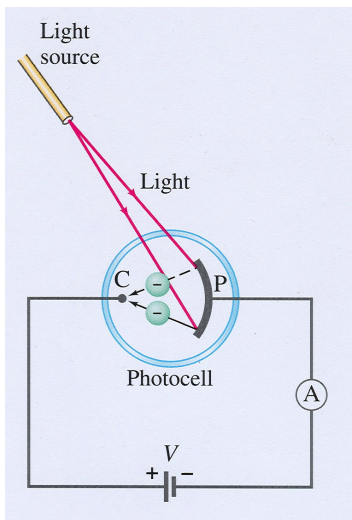
12.1. KLASIČNO OBJAŠNJENJE FOTOELEKTRIČNOG EFEKTA

1888. godine Wilhelm Halwachs je primjetio da iz metala obasjanih svjetlošću (EM zračenjem) određene valne duljine izlaze elektroni. Ta pojava se zove FOTOELEKTRIČNI EFEKT.

Za kvantitativno ispitivanje fotoelektričnog efekta načinjen je sljedeći uređaj:

SLIKA: UREĐAJ ZA IZUČAVANJE FOTOEFEKTA – HORVAT – SL. 10.3. STR. 10-6

Svjetlost pada na fotokatodu –fotoosjetljivu katodu – načinjenu od materijala koji ima svojstvo da iz njega izlaze elektroni kad na njega padne svjetlost, odn. od materijala koji se ispituje. U evakuiranoj staklenoj cijevi se nalaze fotokatoda i anoda. Svjetlost ulazi kroz kvarcni prozor (koji propušta i UV svjetlost). Cijev je preko ampermetra spojena s izvorom električne struje čiji se polaritet može mijenjati. Napon se mjeri voltmetrom.



Rezultati eksperimenta:

1) Ako se frekvencija upadne svjetlosti ne mijenja i ako je stalan napon izvora ($U = \text{konst.}$), onda je struja proporcionalna intenzitetu upadne svjetlosti. Veći intenzitet svjetlosti oslobađa više elektrona koji prelaze s fotokatode na anodu.

SLIKA: OVISNOST STRUJE O INTENZITETU – HORVAT – SL. 10.3a. STR. 10-7

2) Za određeni materijal fotoelektroni su izbačeni samo za ν koja je veća od neke minimalne frekvencije ν_g , tzv. GRANIČNE FREKVENCije: $\nu > \nu_g$. Za $\nu < \nu_g$ nema fotoel. efekta bez obzira na intenzitet svjetlosti. ν_g je različita za različite materijale: cesij $4,6 \cdot 10^{14}$ Hz, natrij $9,9 \cdot 10^{14}$ Hz, zlato $11,6 \cdot 10^{14}$ Hz...

SLIKA: OVISNOST STRUJE O FREKVENCIJAMA – HORVAT – SL. 10.3b. STR. 10-7

3) Maksimalna kinetička energija fotoelektrona se određuje postupnim smanjivanjem pozitivnog naboja na anodi. Kad je $U = 0$, struja i dalje teče krugom jer postoje elektroni koji, nakon što su izbačeni s katode, spontano dolaze do anode, tj. dolaze oni koji imaju dovoljnu kinetičku energiju. Najmanja razlika potencijala između katode i anode, koja uspijeva spriječiti elektrone s najvećom kinetičkom energijom da dođu do anode, se zove ZAUSTAVNI NAPON U_z :

$$(E_k)_{\max} = \frac{mv_{\max}^2}{2} = eU_z = \text{maksimalna kinetička energija}$$

Zaustavni napon ne ovisi o intenzitetu svjetlosti već o frekvenciji.

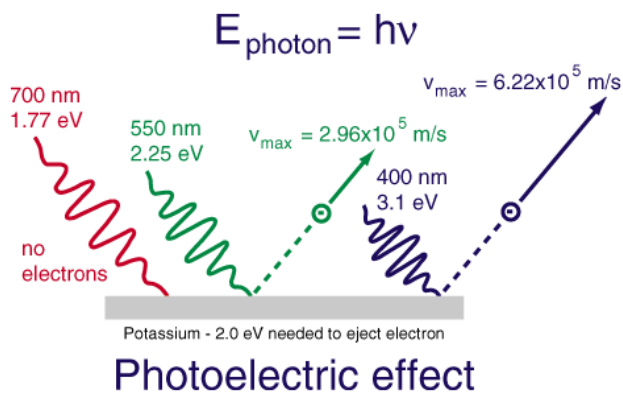
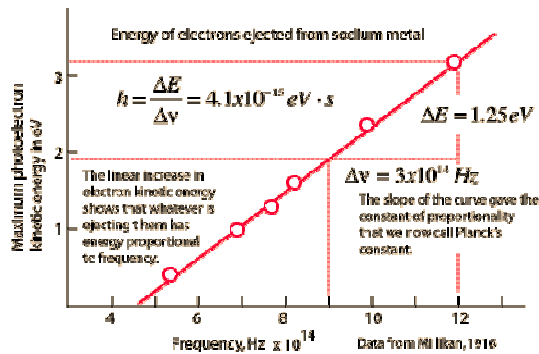
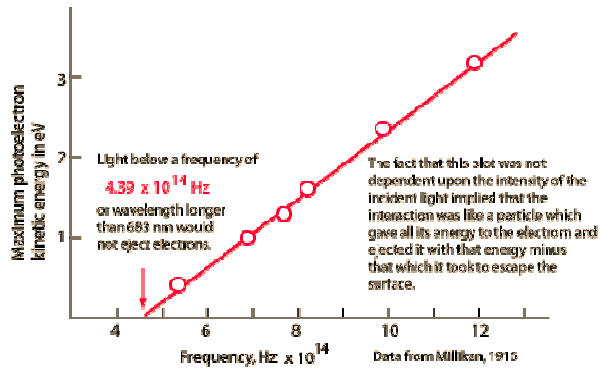
SLIKA: OVISNOST STRUJE O NAPONU ZA DVA RAZLIČITA INTENZITETA – HORVAT – SL. 10.3c. STR. 10-8

I_{\max_1} i I_{\max_2} su struje zasićenja – povećanjem napona na anodi povećava se struja do zasićenja. Struja zasićenja osim o karakteristikama cijevi ovisi i o intenzitetu upadne svjetlosti.

4) Smanjivanjem intenziteta svjetlosti na male vrijednosti dobijamo vrlo mali broj fotoelektrona, koje je teško detektirati, no elektroni su izbačeni trenutačno s maksimalnom kinetičkom energijom (istom kao i kad koristimo veliki intenzitet svjetlosti).

SLIKA: OVISNOST ZAUSTAVNOG NAPONA O FREKVENCiji ZA DVA RAZLIČITA MATERIJALA – HORVAT – SL. 10.3d. STR. 10-8

1916. god. Millikan je pokazao da maksimalna kinetička energija fotoelektrona ovisi linearno o frekvenciji. Za većinu metala su granične frekvencije u ultraljubičastom području, a za neke kao što su cezij i kalij, su u vidljivom dijelu spektra.



12.2. EINSTEINOVO OBJAŠNJENJE FOTOEL. EFEKTA

Prema klasičnoj valnoj teoriji energija koju bi EM val predao elektronu u metalu morala bi ovisiti o intenzitetu svjetlosti. Eksperiment je pokazao da energija ovisi o frekvenciji, a o intenzitetu svjetlosti oisi samo broj fotoelektrona. Također bi se prema valnoj teoriji fotoel. efekt morao dogoditi za bilo koju frekvenciju ako je intenzitet EM vala dovoljno velik. 1905. god. Einstein je objasnio fotoel. efekt korpuskularnom teorijom svjetlosti.

Ako je ν frekvencija svjetlosti, onda svjetlost prenosi energiju u kvantima. Kvant energije svjetlosti (ili energija kvanta svjetlosti) E_γ dan je Planckovom relacijom: $E_\gamma = h\nu$. Elektron u metalu apsorbira taj kvant energije i ako je on dovoljno velik, dio se potroši na izlazni rad W_i , a dio preda elektronu kao kinetička energija E_k .

Oslobađanje elektrona iz metala, tj. izlazni rad W_i je savladavanje potencijalne energije kojom je elektron vezan u metalu.

$$E_\gamma = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = W_i + E_k \quad (*) \text{ Einsteinova jednađžba za fotoelektrični efekt}$$

U slučaju granične frekvencije svjetlosti ν_g elektron će biti oslobođen iz metala, ali bez energije potrebne za napuštanje površine metala:

$$h\nu_g = W_i$$

W_i ovisi o metalu i varira od 2-6 eV, što odgovara ν_g od $4,8 \cdot 10^{14}$ Hz (crvena svjetlost) do $14 \cdot 10^{14}$ Hz (ultraljubičasta svjetlost).

Element	Work Function (eV)	Element	Work Function (eV)
Aluminum	4.08	Magnesium	3.68
Beryllium	5.0	Mercury	4.5
Cadmium	4.07	Nickel	5.01
Calcium	2.9	Niobium	4.3
Carbon	4.81	Potassium	2.3
Cesium	2.1	Platinum	6.35
Cobalt	5.0	Selenium	5.11
Copper	4.7	Silver	4.73
Gold	5.1	Sodium	2.28
Iron	4.5	Uranium	3.6
Lead	4.14	Zinc	4.3

Some data from Handbook of Chemistry and Physics

Za elektrone s maksimalnom kinetičkom energijom vrijedi:

$$(E_k)_{\max} = eU_z$$

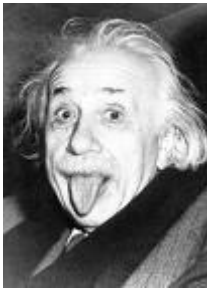
U (*) E_k je zapravo $(E_k)_{\max}$ jer je broj elektrona koji gubi energiju u sudarima u materijalu gotovo zanemariv.

$$h\nu - h\nu_g = (E_k)_{\max}$$

$$h(\nu - \nu_g) = (E_k)_{\max} = \frac{m_e v_{\max}^2}{2}$$

Einsteinovo objašnjenje fotoelektričnog efekta uključuje novu predodžbu svjetlosti – svjetlost je čestica zvana FOTON, koja nosi energiju $h\nu$ i koja gibajući se brzinom c (brzinom svjetlosti) ima količinu gibanja: $p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$

Korpuskularna teorija objašnjava eksperimentalno pokazanu ovisnost broja fotona o intenzitetu svjetlosti. Veći intenzitet znači veći broj fotona, a time i veći broj izbačenih fotoelektrona.



1921. godine Albert Einstein je dobio Nobelovu nagradu za fiziku, za doprinose u teorijskoj fizici, osobito za otkriće zakonitosti fotoelektričnog efekta.