



### Mjerenje Planckove konstante pomoću fotoefekta

Marko Obradović<sup>1</sup>, Tomislav Dumančić<sup>2</sup>

Krajem 19. stoljeća otkrivena je pojava emisije elektrona na površini metala uzrokovana vidljivom svjetlošću. Tu pojavu nazivamo *fotoefekt*. No, klasična fizika tumačila je *zračenje crnog tijela* pomoću zakona termodinamike, što nije odgovaralo opažanjima u visokofrekventnom dijelu spektra. Iskorak je napravio Max Planck<sup>3</sup> pretpostavivši da tijelo ne zrači kontinuirano već *diskretno* u malim “paketićima”, kvantima energije. Kako time objašnjavamo fotoefekt?

Kada *katodu* fotočelije obasjamo svjetlošću, iz nje izlete elektroni. Izbijeni elektroni dolaze na *anodu*, te vanjskim krugom teče fotostruja. Energija *kvanta* svjetlosti (fotona) je  $E = h\nu$ , pri čemu je  $h = 6.625 \cdot 10^{-34}$  Js faktor proporcionalnosti (Planckova konstanta), a  $\nu$  frekvencija svjetlosti.

Energija *monokromatskog zračenja* ponaša se kao energija struje istovrsnih čestica. Otuda je

$$E = \frac{mv^2}{2} = h\nu - W.$$

To je Einsteinova<sup>4</sup> formula u kojoj je  $m$  – masa elektrona,  $v$  – maksimalna brzina elektrona,  $\nu$  – frekvencija upadne svjetlosti i  $W$  ulazni rad elektrona.

Minimalna energija fotona koja u nekom materijalu može izazvati fotoefekt odgovara izlaznom radu, tj.

$$h\nu_0 = W.$$

Kinetička energija elektrona je tada  $E_k = 0$  J, a  $W$  je energija *praga* fotoefekta. No i za energiju fotona veću od energije praga, ako je anoda negativna (prema katodi), električno polje između anode i katode  *koči*  prolaz elektrona prema anodi. Ako je rad *kočenja* električnog polja jednak kinetičkoj energiji najbržih elektrona koji izlaze iz katode  $eU = \frac{mv_{\max}^2}{2}$ , jakost struje bit će jednaka *nuli*. Zna li zašto?

Odavde dobivamo

$$eU = h\nu - W,$$

odnosno:

$$eU_1 = h\nu_1 - W, \quad eU_2 = h\nu_2 - W, \quad (1)$$

gdje su  $\nu_1, \nu_2$  frekvencije upadne svjetlosti.

<sup>1</sup> Profesor je na Srednjoj školi Marka Marulića, Slatina.

<sup>2</sup> Nastavnik je na Osnovnoj školi Frana Krste Frankopana, Zagreb.

<sup>3</sup> Max Karl Ernst Ludwig Planck (Kiel, Njemačka 1858. – Göttingen, Njemačka 1947.).

<sup>4</sup> Albert Einstein (Ulm, Njemačka 1879. – New Jersey, SAD, 1955.).

Iz sustava (1) dobijemo

$$h = \frac{e(U_2 - U_1)}{v_2 - v_1}, \quad (2)$$

gdje je  $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$  C, dok su  $U_1$  i  $U_2$  naponi kočenja za koje struja iščezava. Zračenje koje ima manju frekvenciju od  $v_0$  ili veću valnu duljinu ne može izazvati fotoefekt. Također znamo da svaki kvant ima energiju

$$E = h\nu = h\frac{c}{\lambda},$$

gdje je  $c$  brzina svjetlosti, a  $\lambda$  njena valna duljina.

Dakle foton ima to veću energiju što svjetlost ima veću frekvenciju (odnosno manju valnu duljinu), a intenzitet je jednak energiji svih fotona ( $nh\nu$ ) gdje je  $n = 1, 2, 3, \dots$  broj fotona koji u jedinici vremena padaju na jedinicu površine.

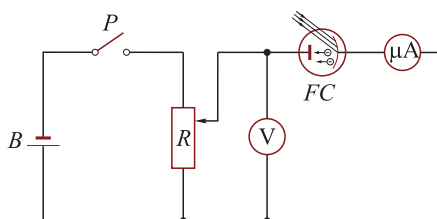
**Napomena 1.** Fotoefekt se danas široko primjenjuje u tehnici. Naime, postoje uređaji koji mogu brojati fotone.

**Pribor:** vakuumska fotoćelija, optička klupa (projekcijska) sa žaruljom od 300 W, kondenzor svjetlosti, mikroampermetar (galvanoskop) do  $60 \mu\text{A}$ , voltmetar do 24 V, 4 suhe baterije od 4.5 V, klizni otpornik (potencijometar) od  $600 \Omega$ , zeleni i narančasti filter (za frekvencije  $v_1$  i  $v_2$ ) i spojne žice, 8 komada.

#### Zadatci:

- Odredite vrijednost Planckove konstante.
  - Ispitajte ovisnost jakosti fotostruje o intenzitetu i frekvenciji upadne svjetlosti
- Uputa.*

- Sastavite laboratorijski postav prema shemi prikazanoj na slici 1.



Slika 1.

- Pozitivni pol izvora struje spojite s katodom fotoćelije.
- Snop svjetlosti iz žarulje usmjerite na fotoćeliju pomoću kondenzatora.
- Fotoćeliju najprije obasjajte svjetlošću frekvencije  $v_1$ , a zatim svjetlošću frekvencije  $v_2$  pomoću žarulje.
- Napon iznosi 0 V. Zašto?
- Ispred fotoćelije stavite narančasti filter i zatvorite prekidač.
- Pomoću potencijometra povećavamo otpor. Što opažate? Napon se povećava, a jakost fotostruje se smanjuje.
- Kad jakost padne na nulu, očitajte napon kočenja  $U_1$ .
- Ponovite mjerenje sa zelenim filtrom i očitajte napon  $U_2$ .
- Dobivene podatke unesite u tablicu.
- Vrijednost Planckove konstante  $h$  izračunajte formulom (2).

Frekvencija narančaste svjetlosti:  $\nu_1 = 5.37 \cdot 10^{14}$  Hz, a zelene:  $5.77 \cdot 10^{14}$  Hz.

mjerenje	$U_1$ (V)	$U_2$ (V)	$\nu_1$	$\nu_2$	$I_1$ (A)	$I_2$ (A)	$h$ (Js)
1.	4.5	2.9	$5.37 \cdot 10^{14}$	$5.77 \cdot 10^{14}$	$0.019 \mu\text{A}$	$0.019 \mu\text{A}$	$6.625 \cdot 10^{-34}$
2.	17.1	0.5	$5.37 \cdot 10^{14}$	$5.77 \cdot 10^{14}$	$0.25 \mu\text{A}$	$0.78 \mu\text{A}$	$6.625 \cdot 10^{-34}$

12. Odredite odstupanje vrijednosti konstante od podataka dobivenih u pokusu.

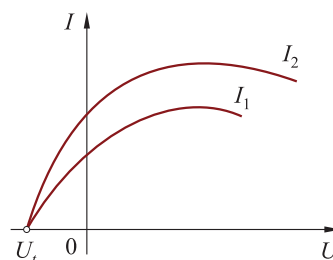
**Napomena 2.** Da bismo ispitali ovisnost struje kroz fotočeliju o intenzitetu upadne svjetlosti, nužno je maknuti kondenzor ispred fotočelije!

Mijenjajte udaljenost od izvora do fotočelije.

Što opažate? Što zaključujete?

Ovisi li kinetička energija emitiranih elektrona o intenzitetu svjetlosti?

Ilustracije je izradio prof. Slavko Marenčić, Zagreb.



Slika 2.

## Literatura

- [1] T. ANDREIS, M. PLAVČIĆ, N. SIMIĆ, *Fizika 4, za četvrti razred gimnazije*, Profil d.o.o. Zagreb, 2015.
- [2] R. FEYNMAN, *Physics V*, New York, 2001.
- [3] B. MIKULIČIĆ, *Određivanje Planckove konstante*, Matematičko-fizički list, 1/120 (1979./80.), Zagreb.
- [4] [https://en.wikipedia.org/wiki/Max\\_Planck](https://en.wikipedia.org/wiki/Max_Planck)