

Efectul fotoelectric

Efectul fotoelectric, în termeni uzuali, constă în emisia de electroni dintr-un corp sub acțiunea luminii. În principiu, electronii pot fi extrași din orice substanță, dar în general se folosesc materiale bune conductoare de electricitate pentru că acestea au electroni liberi distribuiți la suprafață, și astfel se obține mai ușor efectul fotoelectric.

Energia electronilor emiși depinde de frecvența ν a luminii incidente și nu și de intensitatea acesteia; intensitatea luminii determină doar numărul electronilor eliberați. Acest fapt contrazice principiile fizicii clasice și a fost pentru prima dată interpretat în 1905 de către Albert Einstein (care a obținut Premiul Nobel în 1921 pentru explicarea efectului fotoelectric). Iată cuvintele lui Einstein:

În conformitate cu conceptul conform căruia lumina incidentă constă în cuante de energie de valoare $h\nu$, ne putem gândi la emisia de electroni sub acțiunea luminii în felul următor: cuanta de energie penetrează stratul superficial al corpului, transformându-se energia, cel puțin parțial, în energie cinetică a electronilor. Cel mai simplu mod de a ne imagina aceasta este că respectiva cuanta de lumină furnizează întreaga sa energie unui singur electron: vom presupune ca se întâmplă chiar în acest fel. Posibilitatea, care nu este totuși exclusă, este ca electronii să-și primească energia doar în parte de la cuanta de lumină. Un electron care a primit energia cinetică în interiorul materialului trebuie să fi pierdut din ea până ce a atins suprafața. De altfel, vom presupune că, pentru a părăsi corpul fiecare electron trebuie să consume un lucru mecanic L_{ext} caracteristic substanței. Electronii emiși, care părăsesc corpul cu cea mai mare viteză normală sunt aceia aflați chiar la suprafața corpului. Energia cinetică a acestor electroni este dată de:

$$E_{\text{cin max}} = h\nu - L_{\text{extr}} \quad (1)$$

Expresia (1) descrie cel mai simplu proces fotoelectric: un foton de energie $h\nu$, unde h este constanta fundamentală a lumii microscopice – constanta Planck, ce are valoarea $6.62607 \cdot 10^{-34}$ Js-, iar ν este frecvența fotonului incident, extrage un electron din material, consumând energia L_{extr} și imprimând electronului energia cinetică E_{cin} . În fapt, în expresia (1) energia cinetică trebuie văzută drept energia cinetică maximă primită de electron pentru că în interiorul corpului există o serie de procese (cum ar fi energia de agitație termică a electronilor, ciocnirile electronilor cu alte particule în drumul lor, interacțiuni coulombiene cu alte sarcini electrice) care sunt suficient de mici pentru a fi neglijate, dar care afectează întreaga balanță energetică. De asemenea, dacă energia fotonului incident este suficient de mare pentru ca viteza fotoelectronului extras să necesite corecții relativiste, trebuie ca în locul formulei clasice a energiei cinetice să se folosească cea din teoria relativității.

Așadar, efectul fotoelectric pune în evidență caracterul corpuscular al luminii..

Principiul de lucru

Se poate determina constanta lui Planck h iluminând o fotocelulă cu lumină monocromatică (cu o anumită lungime de undă), și măsurând energia cinetică E_{cin} a electronilor emiși. Reprezentarea schematică a unui astfel de experiment este dată în Fig. 1.

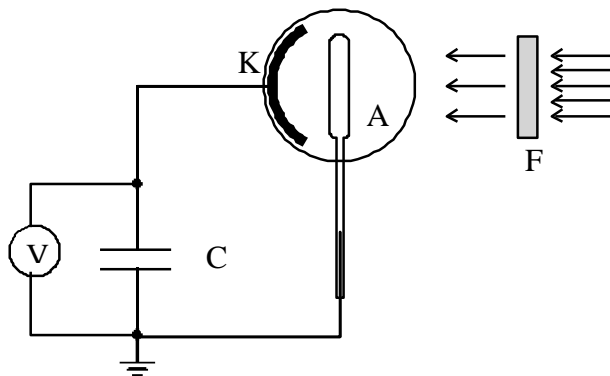


Fig. 1 Lumină monocromatică (separată de filtrul F) cade pe catodul K al unei fotocelule. Fotoelectronii emiși se deplasează către anodul A și încarcă condensatorul C până la tensiunea de stopare U_0 .

Lumina cade pe suprafața de potasiu K. Datorită lucrului de extracție mic –electronii de valență ai metalelor alcaline sunt slab legați- potasiul este un material extrem de potrivit pentru producerea efectului fotoelectric. Fotoelectronii emiși se deplasează spre anod, producând curentul fotoelectric I. Dacă fotoelectronii sunt emiși împotriva unui potențial negativ, care crește treptat, curentul fotoelectric descreește, continuu. Tensiunea la care curentul fotoelectric atinge valoarea zero este numită tensiune de stopare U_0 . La această valoare a tensiunii, chiar și electronii cu cea mai mare energie cinetică nu mai ajung la anod. În acest experiment un condensator (100pF) este încărcat de fotoelectronii emiși până la tensiunea de stopare U_0 (vezi Fig. 1). Cu ajutorul acestei tensiuni U_0 și a sarcinii electrice elementare $e=1,6 \cdot 10^{-19}C$ se poate calcula energia cinetică maximă a electronilor emiși:

$$E_{\text{cin max}} = e \cdot U_0 \quad (2)$$

Măsurătorile se efectuează pentru lumină incidentă de diferite lungimi de undă, sau frecvențe

$$\nu = \frac{c}{\lambda}, c \cong 3 \cdot 10^8 m/s \text{ fiind viteza luminii în vid.}$$

Reprezentând tensiunea U_0 ca funcție de ν , conform ecuației (1) se obține o dreaptă cu panta:

$$\frac{\Delta U_0}{\Delta \nu} = \frac{h}{e} \quad (3)$$

Cunoscând valoarea sarcinii elementare e , se determină constanta lui Planck, h .

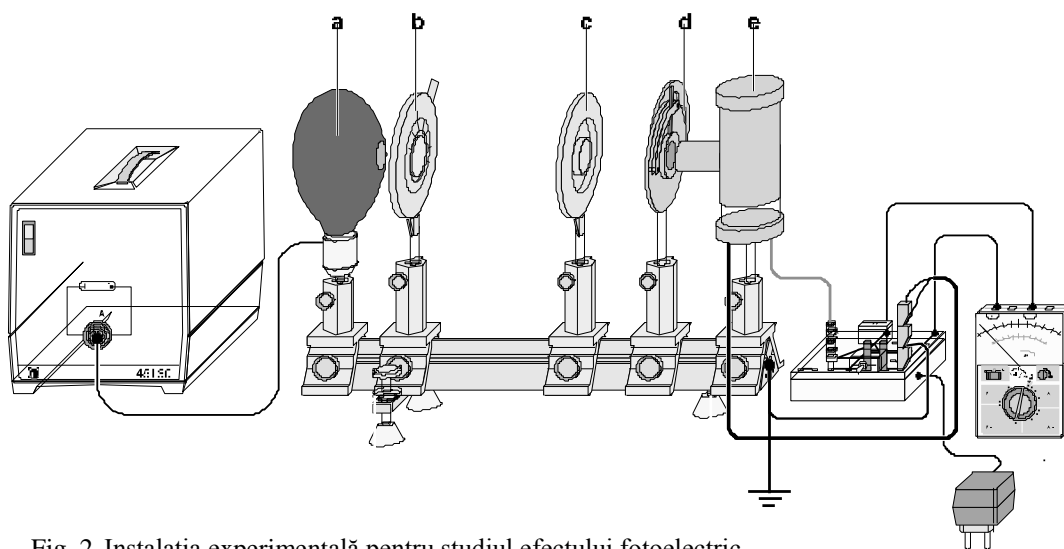


Fig. 2 Instalația experimentală pentru studiul efectului fotoelectric.

a sursă cu vapori de mercur b diafragmă c lentilă, $f = 100 \text{ mm}$
d tambur cu filtre de interferență e fotocelulă

Efectuarea lucrării

Notă: Sursa cu vapori de mercur atinge intensitatea maximă după circa 10 minute de la alimentare.

În acest experiment, se folosesc filtre de interferență cu bandă îngustă pentru selectarea lungimilor de undă. Fiecare filtru selectează o linie spectrală din spectrul sursei cu vapori de mercur, iar lungimea de undă specificată pe filtru reprezintă culoarea transmisă de acesta.

- Porniți multimetrul și fixați-l pe domeniul DC.
- Poziționați filtrul pentru lumină galbenă ($\lambda = 578 \text{ nm}$) pe direcția fascicolului incident.
- Descărcați condensatorul ținând apăsat butonul până ce multimetrul arată 0 V.
- Porniți măsurătoarea lăsând butonul liber; așteptați circa 30s până la 1min, până condensatorul se încarcă la tensiunea de stopare U_0 . Notați valoarea U_0 măsurată în tabelul 1.
- Poziționați filtrul pentru lumină verde ($\lambda = 546 \text{ nm}$) pe direcția fascicolului incident și repetați măsurătorile. Continuați cu filtrul pentru lumină albastră ($\lambda = 436 \text{ nm}$) respectiv violet ($\lambda = 405 \text{ nm}$).

– Variați intensitatea luminii incidente pe fotocelulă folosind diafragma, și măsurați tensiunea de stopare U_0 pentru fiecare caz în parte.

Notă: Dacă diafragma este prea închisă poate fi afectată iluminarea uniformă a catodului.

Ridicând graficul, $U_0(\nu)$, conform punctelor experimentale, acestea se așează aproximativ pe o dreaptă (fig.3) (în limita erorilor experimentale). Alegând două puncte pe această dreaptă se calculează panta dreptei din care se determină constanta Planck h (rel. (3)).

Deasemenea, din grafic, se obține frecvența de prag ν_0 (lungimea de undă de prag λ_0) pentru catodul de potasiu, iar cu ajutorul constantei Planck rezultă lucrul mecanic de extracție L pentru acest material:

$$L_{\text{extr}} = h\nu_0, (E_{\text{cin}} = 0)$$

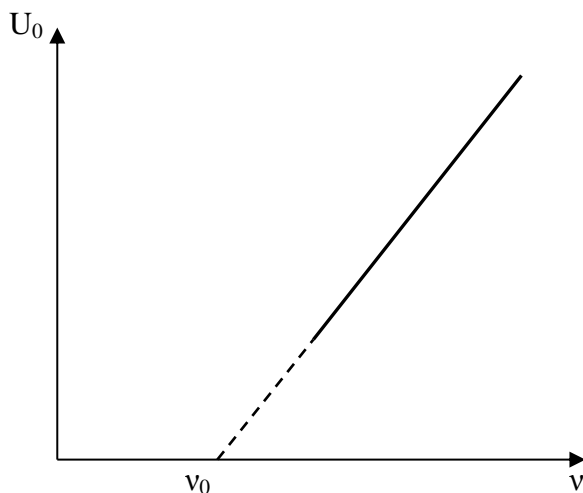


Fig. 3

Pentru a calcula numărul electronilor emiși se folosește definiția capacității condensatorului

($C=100\text{pF}$): $C = \frac{q}{U_0}$ unde $q = n \cdot e$, e =sarcina elementară.

Tabelul 1

Culoare	$\lambda(\text{nm})$	ν (THz)	$U_0(\text{V})$	$h(\text{J}\cdot\text{s})$	λ_0 (nm)	$L(\text{J})$	n	$E_{\text{cin max}}(\text{J})$
Galben	578							
Verde	546							
albastru	436							
violet	405							

Anexă

Un filtru de interferență este alcătuit din straturi subțiri de materiale dielectrice cu indici de refracție diferiți. Filtrele de interferență selectează lungimile de undă bazându-se pe interferențele distructive ce au loc între unda incidentă și undele, cu lungimi diferite de cea dorită, reflectate pe straturile subțiri.

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/intfilt.html>

Bibliografie

Simulări: <http://www.lon-capa.org/~mmp/kap28/PhotoEffect/photo.htm>

<http://www.walter-fendt.de/ph14e/photoeffect.htm>

hyperphysics, C.R.Nave Georgia State University <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>

http://www.leybold-didactic.com/literatur/hb/p_index_e.html# P6.1.4.3 Determining Planck's constant;

V.Dorobanțu, *Quantum Computability, Vol.1, Quantum Mechanics, 2005, Ed. Politehnica Timișoara*;

A. Einstein, Concerning an Heuristic Point of View Toward the Emission and Transformation of Light, Ann. Phys.17, 132, 1905, Translation into English, American Journal of Physics, v. 33, n. 5, May 1965.