

STUDIUL EFECTULUI FOTOELECTRIC ȘI DETERMINAREA CONSTANTEI LUI PLANCK

1. Scopul lucrării

Studiul emisie de electroni de către o suprafață metalică sub acțiunea luminii. Determinarea constantei lui Planck, h , din caracteristica curent-tensiune a unei celule fotoelectrice. Calcularea sensibilității, S , a acestei celule pentru radiații luminoase de diferite lungimi de undă.

2. Considerații teoretice

Efectul fotoelectric constă în emisia de electroni de către un corp (metalic sau oxidic) sub acțiunea luminii. Descoperit de Hertz (1887), efectul fotoelectric a fost explicat de Einstein (1905), atestând caracterul corpuscular al luminii. Efectul fotoelectric poate fi studiat cu următoarea experiență ușor realizabilă prezentată în Figura 1.

În balonul de sticlă vidat sunt dispuși doi electrozi; catodul K format dintr-un strat de metal fotosensibil (Cesiu, Rubidiu) și un anod A format dintr-un inel sau sferă metalică, dispus la o anumită distanță de catod. Iradiind catodul K cu un fascicul de lumină monocromatică, în anumite condiții de frecvență și intensitate, galvanometrul (nano-ampermetrul) indică un curent fotoelectric în circuitul exterior. Intensitatea acestui curent este influențată de diferența de potențial dintre cei doi electrozi. Acest dispozitiv care realizează transformarea energiei radiante în energie electrică se numește celulă fotoelectrică. Variind condițiile în care are loc experiența (diferența de potențial, iluminare) s-au stabilit următoarele legi ale efectului fotoelectric exterior:

1. Efectul fotoelectric apare numai dacă frecvența luminii incidente este mai mare decât o valoare limită ν_0 (caracteristică metalului fotosensibil) numită frecvență de prag al efectului.
2. Energia cinetică a fotoelectronilor emiși variază liniar cu frecvența radiației incidente și nu depinde de intensitatea acesteia.

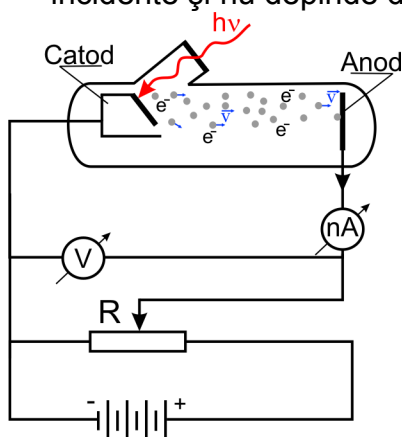


Figura1.

3. Numărul fotoelectronilor emiși în unitatea de timp depinde numai de intensitatea radiației incidente și nu depinde de frecvența ei.

Explicația acestor legi experimentale a fost dată de A. Einstein folosind o ipoteză îndrăznească la vremea aceea prin care admite că lumina este emisă în mod discontinuu și se propagă sub forma concentrată de cuante de energie numite fotoni. Energia unui foton este:

$$\varepsilon = h\nu, \quad (1)$$

unde h este constanta lui Planck. Deci, față de ipoteza lui Planck care admite că lumina emisă de sursă în mod discontinuu se propagă prin spațiu sub formă de unde electromagnetice, Einstein consideră că la propagarea în spațiu lumina se comportă mai degrabă ca o particulă decât ca o undă. Einstein arată legătura cantitativă dintre energia cinetică a unui fotoelectron și frecvența luminii incidente, prin relația,

$$h\nu = L_e + \frac{mv^2}{2}, \quad (2)$$

cunoscută ca ecuația lui Einstein, unde: L_e este lucrul mecanic de ieșire (extracție) al electronului prin bariera de potențial de la suprafața metalului, iar $mv^2/2$ este energia cinetică a fotoelectronilor emiși.

Dacă $h\nu < L_e$ electronul nu poate părăsi suprafața corpului solid. Dacă toată energia fotonului se cheltuiește în lucrul de extracție L_e , viteza de ieșire a fotoelectronilor va fi nulă, în acest caz avem,

$$h\nu = L_e \text{ sau } h\nu = eU_0, \quad (3)$$

unde ν_0 este frecvența de prag, iar eU_0 este bariera de potențial.

Fotoelectronii emiși sub acțiunea luminii monocromatice incidente cu $\nu > \nu_0$ închid circuitul prin dispozitivele fotoelectronice. Intensitatea curentului fotoelectric crește odată cu creșterea tensiunii aplicată electrozilor până la o valoare limită numită curent de saturație, când toți electronii emiși de catod sunt captați de anod. Caracteristica curent-tensiune este redată în figura 2. Din figură rezultă existența unui fotocurent la tensiune nulă I_0 , curent care se mai menține chiar și la o tensiune negativă (+ la catod, - la anod). Aceasta se explică prin faptul că fotoelectronii emiși au inițial o energie cinetică proprie care le permite să învingă o anumită tensiune de negativare a anodului și reușesc să închidă circuitul. Valoarea diferenței de potențial $U = U_f$ pentru care curentul fotoelectronilor se anulează se numește potențial de frânare. În acest caz,

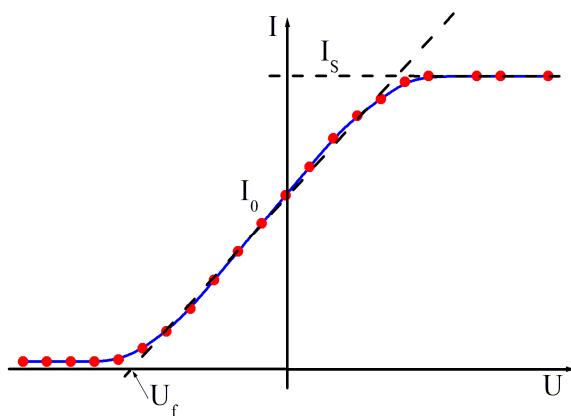


Figura 2.

$$\frac{mv^2}{2} = eU_f. \quad (4)$$

Înlocuind relația (4) în ecuația lui Einstein (1) și particularizând pentru două frecvențe diferite ν_1 și ν_2 cu două potențiale de frânare U_{f1} și U_{f2} obținem,

$$\begin{aligned} h\nu_1 &= L_e + eU_{f1} \\ h\nu_2 &= L_e + eU_{f2} \end{aligned} \quad (5)$$

Prin scăderea acestor relații putem calcula valoarea constantei lui Planck,

$$h = e \frac{U_{f1} - U_{f2}}{v_1 - v_2} = \frac{e}{c} \frac{U_{f1} - U_{f2}}{\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}} = \frac{e}{c} \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} (U_{f1} - U_{f2}) \quad (6)$$

3. Aplicații

Efectul fotoelectric, pe lângă faptul că a jucat un rol important în confirmarea teoriei corpusculare a luminii, are și numeroase aplicații practice. Alarmerile antifurt și sistemele automate de deschidere a ușilor utilizează adesea circuite cu celule fotoelectrice. Când o persoană întrerupe fasciculul luminos, anularea bruscă a curentului activează un comutator care activează o sonerie sau o ușă. Uneori sunt folosite radiații UV sau IR la alarme, pentru că sunt invizibile. Se mai folosește și ca barieră optică cu fascicule multiple la sistemele de protecție și alarmare sau declanșarea automată a închiderii sau deschiderii ușilor halelor, garajelor etc. Multe detectoare de fum folosesc celule fotoelectrice pentru a detecta cantități infime de fum, care întrerup fluxul luminos și astfel produc scăderea curentului electric. De asemenea, pot fi amintite și fotoamplificatoarele utilizate în aparatura de detectare a diverselor tipuri de radiații (α , β , γ sau radiații X). Celulele fotoelectrice, fotorezistențele, diferiți fotosenzori, reprezintă aplicații ale efectului fotoelectric extern. Panourile fotovoltaice, utilizate din ce în ce mai mult în ultimii ani, implică tot un efect fotoelectric, dar de astă dată un efect fotoelectric intern.

4. Metodica experimentală

4.1 Montajul experimental

Celula fotoelectrică cu catod de Cesium este alimentată potențiomtric de la o sursă de curent continuu. Diferența de potențial între electrozi se măsoară cu un voltmetru V. O diafragmă reglabilă poate stabili fluxul luminos care cade pe catodul fotocelulei. Pentru a avea un fascicul incident monocromatic, lumina provenită de la o lampă de cuarț trece printr-un filtru de lumină. Pentru măsurarea curentului fotoelectric se folosește un galvanometru cu spot luminos de mare sensibilitate (1 diviziune = $9 \cdot 10^{-9}$ A).

4.2 Modul de lucru

1. Se realizează montajul cu filtrul F_1 , în prima etapă.
2. Pentru a obține imaginea spotului luminos al galvanometrului se conectează dispozitivul de iluminare al acestuia la $U \cong 6.3$ V.
3. Se conectează lampa de cuarț și se așteaptă amorsarea ei timp de 3 minute; fasciculul obținut se dirijează prin filtrul F_1 spre catodul fotocelulei care este conectat la borna negativă a bateriei exterioare.
4. Se mărește tensiunea aplicată anodului prin intermediul potențiometrului P, iar curentul anodic va prezenta o creștere similară

cu cea redată în Figura 2 (pentru $U > 0$). Notând valorile fotocurenților obținuți pentru diferite valori ale tensiunii anodice ($0 \div 2.4$) se poate trasa caracteristica $I = f(U)$ pentru $U > 0$.

5. Se schimbă polaritatea electrozilor, anodul devine negativ, iar catodul devine pozitiv. Drept rezultat acesta va respinge fotoelectronii emiși de catod. Intensitatea curentului anodic, indicată de galvanometru, se va micșora treptat pe măsura creșterii tensiunii în valoare absolută. Pentru o anumită valoare a tensiunii U_{f1} (tensiune de frânare) curentul anodic va fi egal cu zero (Fig. 2 pentru valorile $U < 0$). Se vor nota valorile curentului pentru diferite valori ale tensiunii anodice de negativare.
6. În a doua etapă se repetă aceleași măsurători cu filtrul F_2 , găsindu-se o altă valoare U_{f2} a tensiunii, pentru care se anulează curentul anodic.

4.3 Prelucrarea datelor experimentale

1. Valorile obținute pentru curentul fotoelectric I la diferite valori ale tensiunii se trec în tabelul 1.
2. Se reprezintă grafic $I = f(U)$ pentru cele două filtre F_1 și F_2 așa cum se dă exemplu în Fig. 3.
3. Din graficele obținute se determină sensibilitatea celulei fotoelectrice folosind relația,

$$S = \frac{\Delta I}{\Delta U} \left[\frac{\text{A}}{\text{V}} \right] \quad (7)$$

4. Din extrapolarea porțiunii liniare a caracteristicii curent-tensiune se determină valoarea tensiunii de frânare U_{f1} și U_{f2} .
5. Cunoscând valorile U_{f1} și U_{f2} cu ajutorul relației (6) se determină

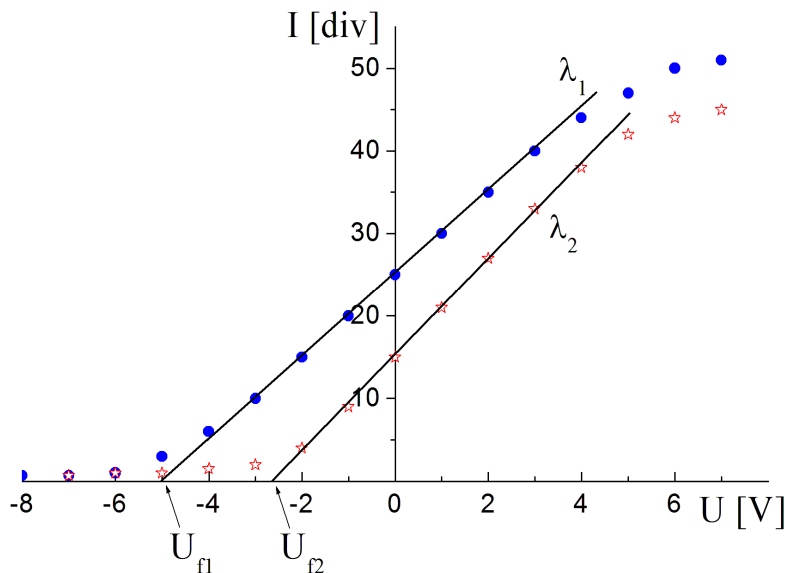


Figura 3.

Studiul efectului fotoelectric și determinarea constantei lui Planck

constanta lui Planck, unde: $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; filtru galben $\lambda_1 = 6250 \times 10^{-10} \text{ (m)}$; filtru roșu $\lambda_2 = 6896 \times 10^{-10} \text{ (m)}$.

6. Valorile calculate pentru sensibilitatea celulei și constanta lui Planck se trec în tabelul 2.

4.4 Calculul erorilor

Calculul erorilor se face după formula:

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{\Delta(U_{f2} - U_{f1})}{U_{f2} - U_{f1}} = \gamma \frac{U_{\max}}{U_{f2} - U_{f1}} \quad (8)$$

unde γ reprezintă clasa de precizie a aparatului de măsură, iar U_{\max} este valoarea maximă a tensiunii care poate fi măsurată (capătul de scală).

Tabel 1

λ_1	U(V)	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
	I(div.)								25					
λ_2	U(V)	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
	I(div.)								15					

Tabel 2

S_1 (A/V)	S_2 (A/V)	U_{f1} (V)	U_{f2} (V)	h (J·s)	$\Delta h/h$ (%)