

STUDIUL LEGILOR EFECTULUI FOTOELECTRIC. DETERMINAREA CONSTANTEI LUI PLANCK

1. Scopul lucrării

În această lucrare se studiază efectul fotoelectric extern cu ajutorul unei celule fotoelectrice și se determină dependența potențialului de stopare (V_0) de frecvența luminii (ν), din care se calculează constanta lui Planck - o constantă esențială a fizicii cuantice.

2. Teoria lucrării

Sub numele de efect fotoelectric distingem mai multe fenomene:

a) Efectul fotoelectric extern - constă în emisia de electroni de către un metal sau un semiconductor (în exteriorul lor) sub acțiunea radiațiilor din domeniul vizibil și ultraviolet. În acest efect sunt implicații electronii “liberi” (de conducție).

b) fotoionizarea (efectul fotoelectric pe atomi izolați) - constă în extragerea electronilor din atomii unui gaz la interacțiunea acestora cu radiații din domeniul ultraviolet.

c) Efectul fotoelectric al radiațiilor X - constă în scoaterea în afara metalului a electronilor interiori ai atomilor sub acțiunea radiațiilor X (care au energii de ordinul miilor de electronvolți).

d) Efectul fotoelectric intern - constă în mărirea numărului de purtători “liberi” de sarcină electrică în interiorul unui metal sau al unui semiconductor, fără ca aceștia să părăsească sistemul, în urma interacțiunii sistemului cu radiațiile luminoase. Se obține o micșorare rapidă a rezistenței electrice a materialului iradiat.

e) Efectul fotovoltaic - constă în apariția unei tensiuni electromotoare la contactul dintre un semiconductor și un metal sau la contactul dintre doi semiconductori dacă regiunea de contact este iradiată cu un fascicul de lumină.

În lucrarea de față se studiază efectul fotoelectric extern pentru un metal (catodul unui celule fotoelectrice).

Legile efectului fotoelectric extern au fost obținute de (Lenard 1905), și unificate de Millikan 1916.

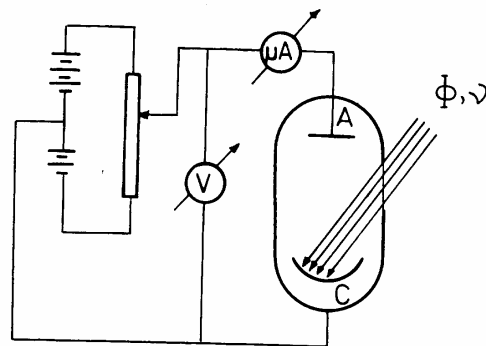


Fig.1.

Se folosește un montaj simplu (fig. 1.) alcătuit din: o celulă fotoelectrică al cărei catod C este iradiat cu un fascicul luminos caracterizat de frecvența ν și fluxul ϕ ; un potențiometrul care permite aplicarea pe anodul A al celulei a unui potențial V (pozitiv sau negativ față de catod); un voltmetru pentru măsurarea acestui potențial; un microampermetru pentru măsurarea curentului fotoelectric I . Caracteristicile curent - tensiune pentru frecvență constantă și flux variabil ($\phi_1 < \phi_2 < \phi_3$) sunt prezentate în fig. 2.

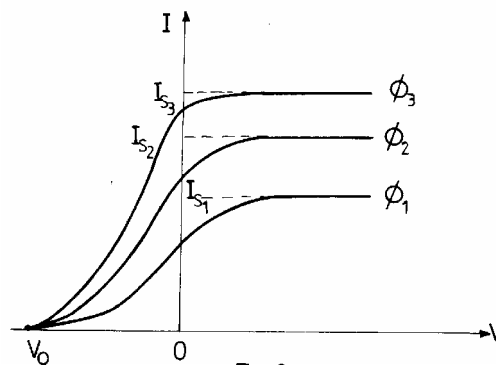


Fig. 2.

Din aceste caracteristici se poate determina intensitatea curentului de saturație, I_s , și potențialul de frânare, V_0 . Acesta din urmă corespunde anulării intensității curentului fotoelectric și este o măsură a energiei maxime a fotoelectronilor.

Menținând fluxul ϕ constant și variind frecvența luminii incidente pe catod se constată că:

- efectul fotovoltaic nu se produce la o frecvență mai mică decât o frecvență de prag (ν_p) care depinde de materialul catodului

- modulul potențialului de stopare crește liniar cu frecvența (fig. 3).

Experimental s-a constatat și că atunci când a crescut fluxul ϕ , a crescut și intensitatea curentului. Mai mult, s-au înregistrat fotoelectronii odată cu iluminarea catodului.

Astfel au fost obținute legile efectului fotoelectric extern:

1. Intensitatea curentului fotoelectric de saturație este direct proporțională cu fluxul radiațiilor incidente la frecvență constantă $I_s \sim \phi$.

2. Energia cinetică maximă a fotoelectronilor crește liniar cu frecvența radiațiilor și nu depinde de fluxul acestora ($E_{c_{max.}} = a\nu + b$).

Panta acestei drepte nu depinde de condițiile experimentale ($a =$ constantă universală).

3. Efectul fotoelectric extern se produce numai dacă frecvența radiațiilor incidente este mai mare sau egală cu o valoare minimă numită frecvență de prag (ν_p) specifică fiecărui material.

4. Efectul fotoelectric extern se produce practic instantaneu

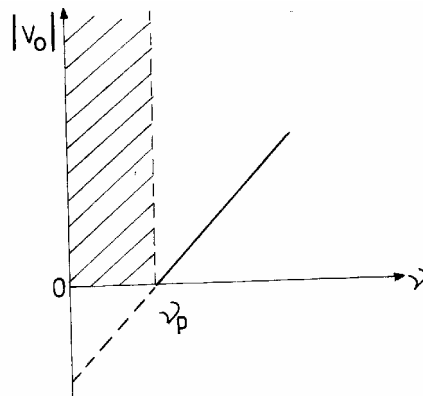


Fig. 3

Explicarea acestor legi pe baza teoriei electromagnetice a luminii întâmpină dificultăți majore, dar devine foarte simplă în cadrul teoriei corpusculare (fotonice) asupra naturii luminii (Planck, 1900; Einstein, 1905).

În această teorie lumina este considerată ca un flux de fotoni (sau cuante de energie) având energia $h\nu$ și impulsul h/λ . (h este constanta lui Planck, ν este frecvența, λ este lungimea de undă). Folosind acest fapt Albert Einstein a arătat că efectul fotoelectric corespunde tranferului de energie de la un foton la un singur electron adică este o ciocnire foton - electron cu absorbția fotonului. Dacă energia fotonului $h\nu$ este mai mare decât energia de prag, electronul emis părăsește metalul având o energie cinetică E_c .

Teorema conservării energiei aplicată acestui efect conduce la relația:

$$h\nu = L_e + E_c \quad (1)$$

unde L_e este lucrul de extracție, adică energia necesară electronului pentru a părăsi suprafața metalului. Relația (1) se numește ecuația lui Einstein. În cazul frecvenței de prag energia cinetică a electronului este nulă și se obține formula:

$$h\nu_p = L_e \quad (2)$$

Determinarea energia cinetice E_c a electronilor emiși se face prin metoda câmpului electric de frânare: se aplică pe anodul celulei fotoelectrice un potențial negativ față de catod ceea ce duce la frânarea electronilor și deci la micșorarea intensității curentului fotoelectric (I).

Valoarea maximă a modulului acestui potențial se numește potențial de frânare și se notează $|V_0|$. El corespunde situației în care nici un electron nu mai ajunge la anod și deci I devine zero.

$$E_c = \frac{mv^2}{2} = e|V_0| \quad (3)$$

unde e este sarcina electronului.

Din relațiile (1), (2) și (3) obținem:

$$h\nu = h\nu_p + e|V_0| \quad (4)$$

din care:

$$|V_0| = \frac{h}{e} \cdot \nu - \frac{h}{e} \cdot \nu_p \quad (5)$$

Relația (5) explică legile 2 și 3 ale efectului fotoelectric extern și rezultatele experimentale prezentate în figura 3.

Se determină experimental potențialul de stopare $|V_0|$ pentru diferite frecvențe, se trasează dreapta $|V_0| = f(\nu)$ și din panta acesteia se calculează constanta lui Planck.

Metoda experimentală a fost descrisă de Millikan în 1916.

3. Descrierea instalației experimentale și a aparaturii utilizate

Dispozitivul experimental a cărui schemă este prezentată în fig. 4 cuprinde:

- o lampă (L) cu descărcare în vapori de mercur folosită drept sursă de radiații

- o celulă fotoelectrică ($C.F.$) cu vid plasată într-o cutie obscură (pentru a nu fi influențată de alte radiații decât cele dorite)

- mai multe filtre “monocromatice” notate A, B, C , etc. care selectează din lumina emisă de lampa L radiații cu anumite lungimi de undă (λ), respectiv frecvențe (ν) - indicate în tabelul pentru date experimentale.

- un preamplificator (PA) prevăzut cu un potențiomtru compensator (PC)

- o sursă de tensiune stabilizată (S_1) care alimentează preamplificatorul;

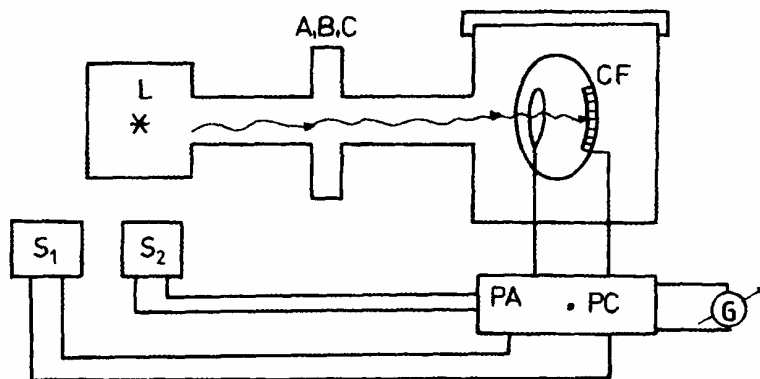


Fig.4.

- o sursă de tensiune variabilă (S_2) pentru aplicarea potențialului de frânare (V_f) pe anod
- un galvanometru pentru măsurarea tensiunii U_g proporțională cu intensitatea curentului fotovoltaic I .

4. Modul de lucru

4.1. Se alimentează lampa L și sursele S_1, S_2 la rețeaua de 220V c.a.

4.2. Se stabilește la sursa S_1 o tensiune cuprinsă între 10 V și 15 V.

4.3. Deși celula fotoelectrică este acoperită cu hârtie neagră în galvanometru apare un curent electric (curent de întuneric) și deci o tensiune U_g . Aceasta trebuie compensată folosind potențiometrul PC de pe preamplificator. Reglând alternativ potențiometrul PC și potențiometrul sursei S_1 se obține $U_{g,0} = 0$ (se reglează zero-ul galvanometrului).

4.4. Se ridică capacul cutiei care conține celula fotoelectrică și se potrivește filtrul A în calea fascicolului emis de L . Se îndepărtează hârtia neagră de pe fotocelulă și se așează capacul la loc.

ATENȚIE! Lumina emisă de lampa cu mercur nu trebuie să cadă direct pe celula fotoelectrică, ci numai prin intermediul unui filtru.

4.5. Folosind sursa S_2 se aplică un potențial de frânare V_f variabil (din 0,25 V în 0,25V) pe celula fotoelectrică și se notează la fiecare valoare indicația galvanometrului, U_g , care este proporțională cu intensitatea curentului fotoelectric, până la anularea ei.

4.6. Se repetă măsurătorile pentru celelalte două filtre începând cu reglarea zero-ului galvanometrului (operația 4.3.).

4.7. Rezultatele se trec într-un tabel de forma: U_g (div)

\ $ V_f $ (V)	0	0,25	0,50	0,75	...
Filtrul					
A					
B					
C					

5. Indicații pentru prelucrarea datelor experimentale

5.1. Se prezintă pe hârtie milimetrică tensiunea U_g în funcție de modulul potențialului de frânare $|V_f|$ pentru filtrele A, B, C, etc.

5.2. Se extrapolează curbele obținute stabilindu-se intersecțiile cu axa $|V_f|$ adică valorile potențialelor de frânare $|V_0|$ pentru cele trei filtre. Aceste valori se corectează cu un coeficient $k = 1/4$.

5.3. Datele se trec într-un tabel de forma:

Filtrul	λ (Å)	$\nu \cdot 10^{14}$	$ V_0 $ (V)	$ V_0 _c$ (V)
A ALBASTRU	4360	6,88		
B VERDE	5460	5,49		
C GALBEN	5770	5,20		
.....				

5.4. Se reprezintă pe hârtie milimetrică modulul potențialului de stopare corectat, $|V_0|_c$, în funcție de frecvența ν a radiației. Se obține o dreaptă.

5.5. Se calculează panta dreptei și se egalează cu h/e conform relației (5) obținându-se constanta lui Planck.

6. Importanța lucrării și aplicații

Se descriu aplicațiile cele mai importante ale efectului fotoelectric (celulele fotoelectrice, relele fotoelectrice, fotomultiplicatoarele, tuburile cu memorie) în domeniul de specializare al studentului.