

DETERMINAREA CONSTANTEI LUI PLANCK DIN STUDIUL EFECTULUI FOTOELECTRIC

1. Scopul lucrării

Determinarea constantei lui Planck din studiul efectului fotoelectric extern.

2. Teoria lucrării

Sub numele de efect fotoelectric distingem mai multe fenomene:

a) **Efectul fotoelectric extern**, în care absorbția radiațiilor electromagnetice incidente conduce la emisia de electroni în afara metalului iradiat, datorită interacției dintre radiația incidentă și electronii liberi din rețeaua cristalină a metalului.

b) **Efectul fotoelectric al radiațiilor X**, care constă în scoaterea în afara metalului a electronilor din păturile interioare ale atomului, ca urmare a acțiunii fascicolului de radiații X.

c) **Efectul fotoelectric intern**, în care absorbția radiației electromagnetice incidente duce numai la mărirea numărului electronilor de conducție din interiorul metalului iradiat, fără ca ei să părăsească metalul. Acest fenomen duce la o micșorare rapidă a rezistenței electrice a materialului iradiat.

d) **Efectul fotogalvanic**, care constă în fenomenul de apariție a unei tensiuni electromotoare la contactul dintre un semiconductor și un metal, sau dintre doi semiconductori, dacă asupra regiunii de contact se trimite o radiație electromagnetică.

Legile efectului fotoelectric extern:

1. Intensitatea curentului fotoelectric de saturație este direct proporțională cu fluxul radiațiilor incidente la frecvență constantă;

2. Energia cinetică maximă a fotoelectronilor crește liniar cu frecvența radiațiilor și nu depinde de fluxul acestora. Panta acestei drepte nu depinde de condițiile experimentale.

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

4. Efectul fotoelectric extern se produce practic instantaneu.

În această lucrare, studiem **efectul fotoelectric extern**, în care electronii sunt emiși de la suprafața unui metal care reprezintă catodul unei celule fotoelectrice.

Energia electronilor emiși depinde de frecvența ν_0 a radiației electromagnetice incidente, nu și de intensitatea acesteia. Intensitatea fascicolului incident determină doar numărul de electroni liberi emiși.

Rezultatele experimentale legate de efectul fotoelectric contrazic principiile fizicii clasice și au fost interpretate pentru prima dată de către Albert Einstein în 1905. Acesta a postulat faptul că radiația electromagnetică constă dintr-un flux de particule, numite fotoni, iar efectul fotoelectric constă dintr-o ciocnire între un foton și un electron aflat în metal.

$$E = h\nu \quad (1)$$

unde, factorul de proporționalitate (h), cunoscut sub numele de **constanta lui Planck**, este o constantă universală a naturii.

Ecuția de conservare a energiei în procesul de ciocnire foton-electron și emisie al fotoelectronilor este:

$$h\nu = E_c + L_{extr} \Rightarrow E_c = h\nu - L_{extr} \quad (2)$$

(unde E_c este energia cinetică a electronului emis, iar L_{extr} este **lucrul mecanic de extracție** al electronului din metal).

Putem determina constanta lui Planck din punct de vedere experimental prin expunerea unei celule fotoelectrice la radiație electromagnetică monocromatică (are o singură lungime de undă - spre deosebire de fasciculele luminoase obișnuite, nefiltrate, care prezintă un amestec de lungimi de undă) și măsurarea energiei cinetice a fotoelectronilor emiși.

Dacă o radiație electromagnetică este incidentă pe catodul dispozitivului atunci, prin efect fotoelectric extern, fotoelectronii ies din catod. Dacă între catod și anod este aplicată o tensiune directă (anodul mai pozitiv decât catodul), electronii emiși sunt atrași de anod, formând astfel un curent denumit fotocurent printr-un circuit închis. În cazul în care se aplică o tensiune inversă (anodul mai puțin pozitiv decât catodul), care este crescută treptat, din ce în ce mai puțini fotoelectroni emiși de către catod vor ajunge la anod. Va rezulta o descreștere a fotocurentului până la anularea sa. Tensiunea aplicată, la care fotocurentul se anulează, poartă numele de tensiune de stopare (U_0). Atunci când tensiunea inversă aplicată între catod și anod atinge valoarea corespunzătoare tensiunii de stopare, chiar și electronii cu cea mai mare energie cinetică și cel mai mic lucru mecanic de extracție din catod, nu mai pot ajunge la anod. Putem spune că întreaga energie cinetică a fotoelectronilor emiși este "consumată" prin câmpul invers aplicat între anod și catod:

$$E_c = eU_0 \quad (3)$$

Putem calcula astfel energia cinetică a electronilor cu ajutorul ecuației de conservare a energiei aplicată ciocnirii foton-electron, în cazul în care măsurăm tensiunea U_0 . În acest caz, din ecuațiile (2) și (3) rezultă:

$$eU_0 = h\nu - L_{extr} \quad (4)$$

Observăm că reprezentând tensiunea de stopare U_0 ca o funcție de frecvență, ecuația anterioară reprezintă ecuația unei drepte:

$$U_0(\nu) = \frac{h\nu}{e} - \frac{L_{extr}}{e} \quad (5)$$

cu panta:

$$m = \frac{h}{e} \quad (6)$$

Atunci când cunoaștem sarcina elementară a electronului e , ecuația anterioară poate fi folosită pentru a afla constanta lui Planck, determinând panta din rezultatele experimentale.

Pentru aceasta, este necesar, ca experimental să se realizeze măsurători pentru mai multe valori ale frecvenței radiației incidente.

Se observă că, la limită, la valori mici ale frecvenței, pentru o anumită frecvență, numită **frecvență de prag** (ν_p), respectiv pentru o **lungime de undă de prag** (λ_p), energia cedată de fotonul incident în timpul ciocnirii, este folosită de fotoelectron doar pentru a ieși din metal, dar fără energie cinetică. În acest caz, viteza electronilor emiși se anulează, iar ecuația (2) devine:

$$h\nu_p = h \frac{c}{\lambda_p} = L_{extr} \quad (7)$$

(unde c este viteza luminii în vid, $c = 3 \cdot 10^8$ m/s)

3. Descrierea instalației experimentale

Instalația experimentală este reprezentată în figura 1. Aceasta este compusă din:

A - sursă de alimentare;

B - sursă de radiație electromagnetică (bec halogen);

C - filtre de interferență cu lungimile de undă: 578 nm, 546 nm, 436 nm, 405 nm, 366 nm;

D – fotocelulă, a cărei catod este iradiat de radiația electromagnetică caracterizată de o frecvență ν (prin introducerea filtrelor între sursă și fotocelulă);

E – amplificator universal;

F1, F2 - multimetre digitale;

G - reostat.

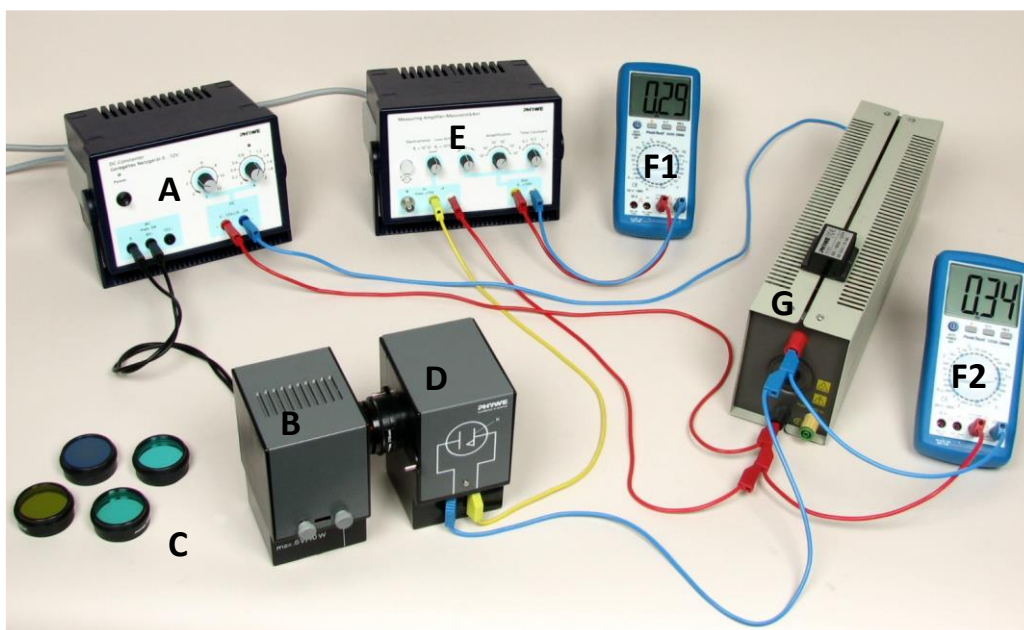


Figura 1. Instalația experimentală

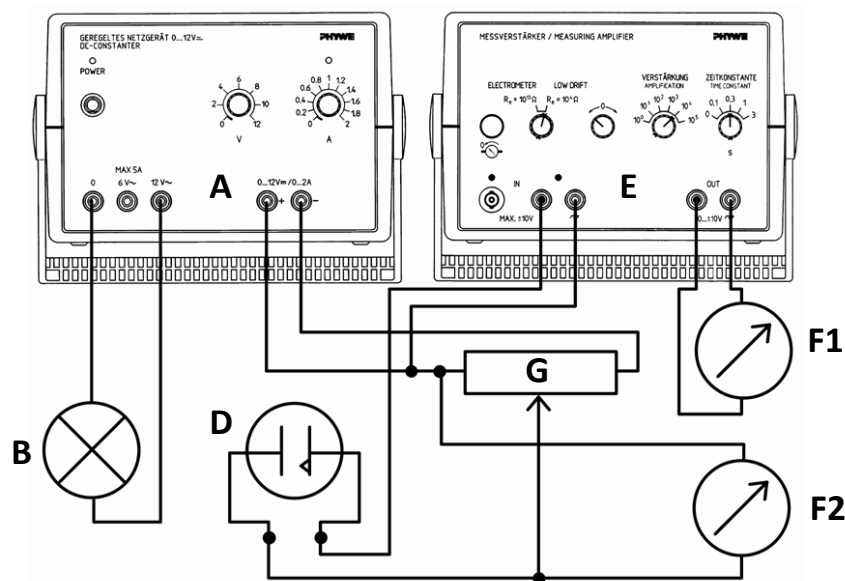


Figura 2. Conexiuni electrice pentru experiment

4. Modul de lucru

- 1 - Verificați conexiunile electrice (Figura 2).
 - 2 - Setați amplificatorul universal pe *Low drift mode*, amplificare 10^4 , constantă de timp 0.3 s .
 - 3 - Verificați zero-ul amplificatorului universal (fără a avea conexiune la intrare – deschiderea fotocelulei să fie ecranată, setați tensiunea de ieșire a amplificatorului la zero, cu ajutorul controlului de zero).
 - 4 - Setați tensiunea sursei de alimentare la 3 V , intensitatea curentului electric la 1 A .
 - 5 - Puneți fotocelula direct în fața sursei de radiații, utilizând deschiderea rotundă a glisorului.
 - 6 - Montați filtrul de interferență de 578 nm între sursa de radiații și fotocelulă (montat la fotocelulă).
 - 7 - Observați semnalul de ieșire al amplificatorului (pe ecranul multimetrului F1), care este proporțional cu intensitatea fotocurentului dependent de tensiunea de stopare a fotocelulei.
 - 8 - Mutați cursorul reostatului până când intensitatea fotocurentului afișat pe multimetrul F1 devine zero.
 - 9 - Notați tensiunea de stopare (afișată pe ecranul multimetrului F2) pentru intensitatea fotocurentului egală cu zero.
 - 10 - Repetați măsurătoarea pentru acest filtru de 10 ori, notând de fiecare dată valoarea tensiunii de stopare într-un tabel ca cel de mai jos.
 - 11- Repetați pașii 7, 8, 9 și 10 pentru filtrele: 546 nm , 436 nm , 405 nm , 366 nm .
- Atenție!! Filtrele de interferență se schimbă de către cadrele didactice prezente în laborator!!*

Valorile obținute se trec în următorul tabel:

Filtru	λ (nm)	U_0 (V)										$\overline{U_0}$ (V)	$\nu \cdot 10^{12}$ (Hz)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
galben	578												
verde	546												
albastru	436												
violet	405												
ultraviolet	366												

5. Prelucrarea datelor experimentale

1. Calculați frecvențele corespunzătoare lungimilor de undă, pentru fiecare dintre filtrele de interferență utilizate ($\nu = \frac{c}{\lambda}$).

2. Se reprezintă grafic, cu ajutorul hârtiei milimetrice, tensiunea $\overline{U_0}$ de stopare, în funcție de frecvența ν a luminii incidente.

3. Dependența lui $\overline{U_0}$ de ν fiind liniară (conform ecuației 5), se va trasa o dreaptă printre punctele experimentale.

4. Se determină panta dreptei din grafic, valoare care se egalează cu raportul $\frac{h}{e}$, pentru a determina valoarea constantei lui Planck ($e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$).

5. Prin prelungirea dreptei până la intersecția cu axa absciselor, se determină frecvența de prag (ν_p) și se calculează lungimea de undă de prag (λ_p).

6. Se calculează lucrul mecanic de extracție (L_{extr}).

6. Întrebări

1. În ce constă efectul fotoelectric?
2. Scrieți ecuația de conservare a energiei în procesul de ciocnire foton-electron.
3. Ce se înțelege prin frecvența de prag?
3. Ce este constanta lui Planck? Stabiliți unitatea de măsură a acesteia.
4. Enumerați posibilele surse de erori din cadrul experimentului și sugerați metode de reducere a erorilor.