

**UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" BUCUREȘTI
DEPARTAMENTUL DE FIZICĂ**

**LABORATORUL DE FIZICĂ ATOMICĂ ȘI FIZICĂ NUCLEARĂ
BN-031A**

**DETERMINAREA CONSTANTEI PLANCK
DIN STUDIUL EFECTULUI
FOTOELECTRIC EXTERN**

DETERMINAREA CONSTANTEI PLANCK DIN STUDIUL EFECTULUI FOTOELECTRIC EXTERN

1. Scopul lucrării

În această lucrare se face un studiu al efectului fotoelectric extern, determinându-se, din datele experimentale obținute, valoarea constantei lui Planck.

2. Teoria lucrării

Efectul fotoelectric extern constă în scoaterea (extragerea) de electroni dintr-un corp (metalic sau semiconductor), prin acțiunea unui flux de lumină trimis pe suprafața lui. Electronii emiși se numesc fotoelectroni.

Efectul fotoelectric este un fenomen foarte ușor de pus în evidență. Este suficient să iluminăm cu o lampă de mercur (sursa de radiații ultraviolete) o placă de zinc legată la un electroscop încărcat. Dacă electroscopul este încărcat pozitiv nu se întâmplă nimic, dar dacă este încărcat negativ, el se descarcă lent; iradierea cu lumină permite sarcinilor negative în exces să parasească placa metalică (Halbwachs, 1888). Plecând de la această observație, efectul fotoelectric poate fi privit ca fenomenul de emisie de electroni de către o suprafață metalică, datorită iluminării sale cu un fascicul luminos.

În realitate, însă, se întâlnesc patru tipuri de efecte fotoelectrice:

a) **Efectul fotoelectric extern**, în care absorbția luminii conduce la emisia de electroni în afara metalului iradiat, datorită interacției dintre radiațiile luminoase și electronii liberi din rețeaua cristalină a metalului.

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

c) **Efectul fotoelectric intern**, în care absorbția luminii duce numai la mărirea numărului electronilor de conducție din interiorul metalului iradiat, fără ca ei să parasească 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 semiconductor și un metal, sau dintre doi semiconductori, dacă asupra regiunii de contact se trimite un fascicul luminos.

a) Efectul fotoelectric extern

Folosindu-se diferite surse de lumină monocromatică, având diferite frecvențe, se poate pune în evidență faptul că efectul apare doar pentru undele electromagnetice cu lungimea de undă suficient de mică, respectiv cu frecvența suficient de mare. Un studiu mai sistematic permite să se determine o frecvență de prag ν_p , sub care nu mai apare efectul fotoelectric. Această frecvență de prag este caracteristică pentru materialul din care este confecționată placa.

Pentru un studiu mai aprofundat al acestui efect, placa metalică trebuie așezată în vid, acest lucru permițând culegerea sarcinilor negative eliberate. Tehnicile spectrografiei de masă astfel aplicate au permis măsurarea sarcinii electrice specifice a particulelor eliberate prin efect fotoelectric, ceea ce a dus la identificarea acestora cu electronii.

S-a construit o celula fotoelectrică închizând într-un tub vidat o placă metalică sensibilă la lumină, numită fotocatod, precum și un electrod filiform, anodul, destinat colectării fotoelectronilor.

Explicarea efectului pe baza teoriei ondulatorii a luminii întâmpină dificultăți de netrecut. Einstein a arătat că toate aceste dificultăți dispar dacă considerăm lumina drept un flux de particule, numite fotoni, de energie $h\nu$ (h este constanta lui Planck, iar ν frecvența luminii), deci dacă ne vom situa pe poziții pur corpusculare.

Din acest punct de vedere, **mecanismul efectului fotoelectric** este următorul:

Un foton absorbit cedează energia sa unui electron. Dacă această energie este suficientă pentru a elibera electronul de forțele care îl leagă, el poate părăsi suprafața materialului.

Deoarece probabilitatea ca un electron să absoarbă simultan doi fotoni este foarte mică, înseamnă că fiecare electron smuls își dobândește energia de la un singur foton.

Energia $h\nu$ a unui foton, care produce efectul fotoelectric, este primită integral de electron, astfel: o parte W' pentru a scoate electronul din atom, o altă parte W (numită "**lucrul de extracție**") pentru a desprinde electronul de pe suprafața corpului, iar restul pentru imprimarea unei energii cinetice E_c electronului extras.

Expresia conservării energiei va avea deci următoarea formă:

$$h\nu = W' + W + E_c. \quad (1)$$

În metale există un număr mare de electroni care pot fi considerați aproximativ liberi (nelegați de atomi). De aceea W' poate fi neglijat:

$$W' = 0. \quad (2)$$

Pe măsură ce scade energia $h\nu$ a fotonilor incidenti, va scădea și viteza electronilor emisi. Pentru o anumită frecvență (numită frecvență de prag), respectiv pentru o lungime de undă de prag $\lambda_p = \frac{c}{\nu_p}$ (unde c este viteza luminii în vid), viteza electronilor emisi se anulează, iar pentru $\nu < \nu_p$, electronii nu mai pot părăsi corpul.

Pentru frecvența de prag avem relația:

$$h\nu_p = h \frac{c}{\lambda_p} = W. \quad (3)$$

Determinarea energiei cinetice E_c a electronilor emisi se poate face prin metoda câmpului întârziator, care constă în a obliga electronii emisi să traverseze un câmp electric al cărui sens este dirijat astfel încât să îi frâneze. Pentru o anumită valoare U_f a diferenței de potențial corespunzătoare câmpului întârziator, intensitatea curentului electric format din electronii emisi prin efect fotoelectric, se anulează. Deci:

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

unde e reprezintă sarcina electronului ($e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$).

Introducând relațiile (4), (3) și (2) în (1), obținem:

$$h\nu = h\nu_p + eU_f$$

sau
$$U_f = \frac{h}{e}\nu - \frac{h}{e}\nu_p. \quad (5)$$

Ecuatia (5) este ecuația unei drepte într-o reprezentare $U_f = f(\nu)$, ordonată la origine fiind frecvența de prag $-\frac{h}{e}\nu_p$ iar panta dreptei este $\frac{h}{e}$.

Definind potentialul de extractie V_p prin relatia:

$$eV_p = W = h\nu_p \quad (6)$$

se poate determina aceasta marime caracteristica fiecarui metal, rezultatele fiind prezentate mai jos in Tabelul 1:

Tabelul 1

Metalul	Cs	Pb	K	Na	Ca	Mg	Zn	Ni	Fe
Potentialul de extractie V_p [V]	2,1	2,2	2,4	2,5	2,3	2,4	3,4	5,0	4,8

Trebuie facuta observatia ca determinarea tensiunii U_f este in practica deranjata de un **efect fotoelectric parazit** de pe anodul colector. In urma unor masuratori de mare finete s-a ajuns la concluzia ca anodul colector trebuie sa fie constituit dintr-un alt material decât catodul, asa încât frecventa de prag a lui sa fie cu mult mai mare ca a fotocatodului. In acest fel, fotocelula lucreaza normal cu radiatii luminoase a caror frecventa este cuprinsa intre cele doua frecvente de prag.

3. Descrierea dispozitivului experimental

Dispozitivul experimental se refera exclusiv la studiul efectului fotoelectric extern realizat cu ajutorul unei celule fotoelectrice de uz curent, iluminarea facându-se cu lumina din domeniul vizibil si ultraviolet, cuprinzând urmatoarele:

- lampa de decarcare cu vapori de mercur B, alimentata la o sursa de curent alternativ de 220V, ce creaza fluxul de lumina;
- filtrul F care face ca lumina ce cade pe celula fotoelectrica C sa aiba o anumita frecventa (vezi Tabelul 2);
- celula fotoelectrica C pe catodul careia este depus materialul fotosensibil studiat;
- potentiometrul P ce realizeaza câmpul întârziator variabil intre catodul celulei fotoelectrice si anodul sau;
- un galvanometru G cu spot luminos, pentru masurarea intensitatii fotocurentului;
- un voltmetru V pentru masurarea tensiunii întârziatoare.

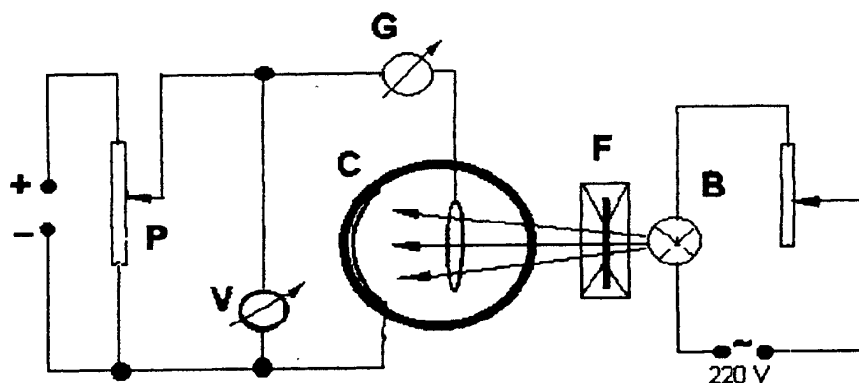


Fig. 1

Tabelul 2

FILTRUL	ν [Hz]	λ [Å]	U_f [V]
A	$5190 \cdot 10^{11}$	5780	
B	$5494 \cdot 10^{11}$	5460	
C	$6883 \cdot 10^{11}$	4358	
D	$7412 \cdot 10^{11}$	4046	
E	$8120 \cdot 10^{11}$	3658	

În cadrul lucrării prezentate se va trasa pe baza de măsurători dreapta $U_f = f(\nu)$ și se va determina constanta lui Planck, h , din panta dreptei respective.

4. Modul de lucru

Pentru fiecare filtru se măsoară variația intensității fotocurentului indicat de galvanometrul G în funcție de tensiunea inversă U ; valoarea tensiunii este modificată cu potențiometrul P și măsurată cu voltmetrul V. Curentul respectiv tinde spre zero pentru valoarea U_f a tensiunii întârziătoare.

5. Indicații pentru prelucrarea datelor experimentale

5.1. Se trasează pe hârtie milimetrică, pentru fiecare filtru, graficele $I = f(U)$.

5.2. Extrapolând curbele $I = f(U)$ se găsește tensiunea întârziătoare U_f pentru care intensitatea curentului se anulează, la fiecare din cele cinci filtre.

5.3. Se completează tabelul 2 cu datele privind tensiunea de frânare.

5.4. Se trasează graficul $U_f = f(\nu)$, care conform relației (5), trebuie să fie o dreaptă.

5.5. Se determină panta dreptei, care conform relației (5), trebuie să fie egală cu raportul $m = \frac{h}{e}$ calculându-se apoi constanta lui Planck $h = me$ (e sarcina electronului $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$).

5.6. Prin prelungirea dreptei până la intersecția cu axa absciselor, se determină frecvența de prag ν_p și se calculează $\lambda_p = \frac{c}{\nu_p}$.

6. Întrebări

1. În ce constă efectul fotoelectric extern ?
2. Cum poate fi folosit efectul fotoelectric pentru determinarea constantei lui Planck ?
3. Ce este pragul efectului fotoelectric ?
4. De ce este necesară trasarea dreptei $\nu = f(U_f)$?