

STUDIUL EFECTULUI FOTOELECTRIC ȘI DETERMINAREA CONSTANTEI LUI PLANCK

Obiectul lucrării

În această lucrare se studiază unul din fenomenele fizice pentru explicarea căruia trebuie să admitem că lumina este formată din cuante de lumină – fotoni. Acest fenomen constă în emisia de electroni dintr-un corp sub acțiunea luminii – efectul fotoelectric. Acești electroni poartă numele de fotoelectroni. Relația de conservare a energiei pentru efectul fotoelectric - ecuația lui Einstein – stă la baza unei metode de determinare a constantei lui Planck.

Bazele teoretice

Observat pentru prima oară de H. Hertz (1887), studiat experimental de Philip Lenard (1902), efectul fotoelectric nu a putut fi explicat în cadrul teoriei clasice a luminii. Energia cinetică cu care electronul părăsește metalul sub acțiunea radiației luminoase ar trebui, conform teoriei clasice, să fie direct proporțională cu intensitatea undei incidente. O serie de experimente au arătat însă că energia cinetică a fotoelectronilor nu depinde de intensitatea luminii; creșterea intensității radiației incidente duce doar la creșterea numărului de fotoelectroni. În schimb variația frecvenței radiației incidente modifică energia cinetică a fotoelectronilor.

Einstein arată că toate dificultățile în explicarea efectului fotoelectric considerând lumina ca o undă dispar dacă considerăm lumina ca un flux de particule (de fotoni) de energie $h\nu$. Dacă radiația incidentă este de natură ondulatorie, atunci ea va interacționa cu substanța astfel încât frontul de undă va produce nenumărate interacțiuni cu emisie de electroni. Dacă admitem că radiația este formată din particule (fotoni) atunci trebuie să acceptăm că fiecare foton va interacționa doar o singură dată. În acest caz fotonul absorbit în corp cedează întreaga sa energie unui electron și, dacă această energie este suficientă pentru a elibera electronul de sub acțiunea forțelor ce-l țin legat în substanța iradiată, electronul poate părăsi substanța și devine liber. Probabilitatea de interacție simultană a doi fotoni cu un electron este mult mai mică decât a interacției cu un foton, astfel că energia cinetică a electronului eliberat va fi aproximativ egală cu cea a fotonului incident. În general, însă, nu orice foton ce a interacționat cu substanța va elibera un electron. Frațiunea de fotoni de o anumită energie care va produce un fotoelectron la interacția cu o substanță dată este constantă (în medie) și poartă numele de randament cuantic (<1). Rezultă că numărul de fotoelectroni este proporțional cu numărul de fotoni ce au interacționat. În schimb energia cinetică a fotoelectronului depinde de energia fotonului absorbit, $h\nu$, și este dată de ecuația lui Einstein ce descrie conservarea energiei în acest proces:

$$h\nu = P_1 + P_2 + \frac{mv^2}{2} \quad (1)$$

în care:

P_1 este energia de extracție a electronului din atom (energia de ionizare; pentru metale, în care există un număr mare de electroni liberi, se poate considera:

$$P_1 = 0 \quad (2)$$

P_2 este lucrul de extracție a electronului din metal; evident, dacă $h\nu < P_2$ electronul nu poate ieși din metal. Există, deci, o frecvență limită ν_0 , sub care nu mai apar fotoelectroni, dată de relația:

$$h\nu_0 = P_2 \quad (3)$$

unde $\lambda_0 = \frac{c}{\nu_0}$ este pragul ("roșu" al) efectului fotoelectric și depinde esențial de metal și de starea

suprafeței metalului supusă iradierii (tabelul 1), iar $\frac{mv^2}{2}$ este energia cinetică a fotoelectronului eliberat din metal. Energia electronului se determină prin metoda potențialului întârziator. Electronul produs se va mișca într-un câmp electric care-l va frâna, astfel încât el va fi frânat. Dacă diferența de potențial (V_0) pe care trebuie să o strabată electronul îndeplinește condiția:

$$\frac{mv^2}{2} = eV_0 \quad (4)$$

atunci electronul se va opri ($v=0$), întreaga energie cinetică a lui s-a consumat pe lucrul mecanic în câmp. Introducând în relația (1) rezultatele din (2), (3) și (4) ea devine:

$$h\nu = h\nu_0 + eV_0 \quad (5)$$

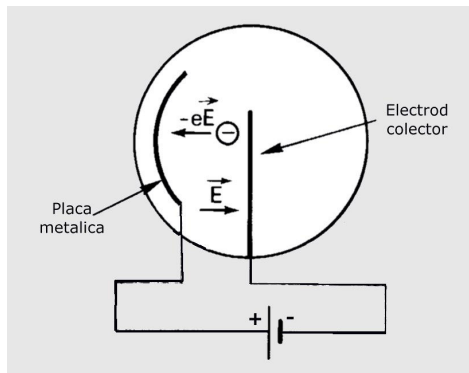


Figura 1

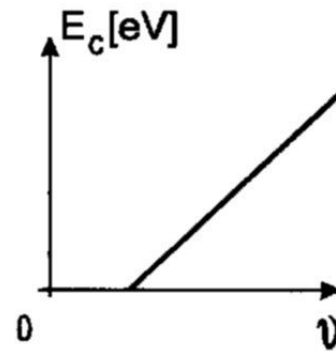


Figura 2

Schema electrică pentru metoda câmpului întârziator este prezentată în figura 5.

Dispozitivul care permite studiul efectului fotoelectric și care este întrebuințat și astăzi în diferite aplicații industriale se numește celula fotoelectrică. Folosind radiații de frecvențe diferite, ν_i , incidente pe aceeași celulă fotoelectrică putem măsura V_0 (figura 1). Într-o reprezentare $\nu_i = f(V_{0i})$, punctele experimentale se așază în apropierea drepte (figura 2) de ecuație:

$$\nu = \nu_0 + \frac{e}{h} V_0 \quad (6)$$

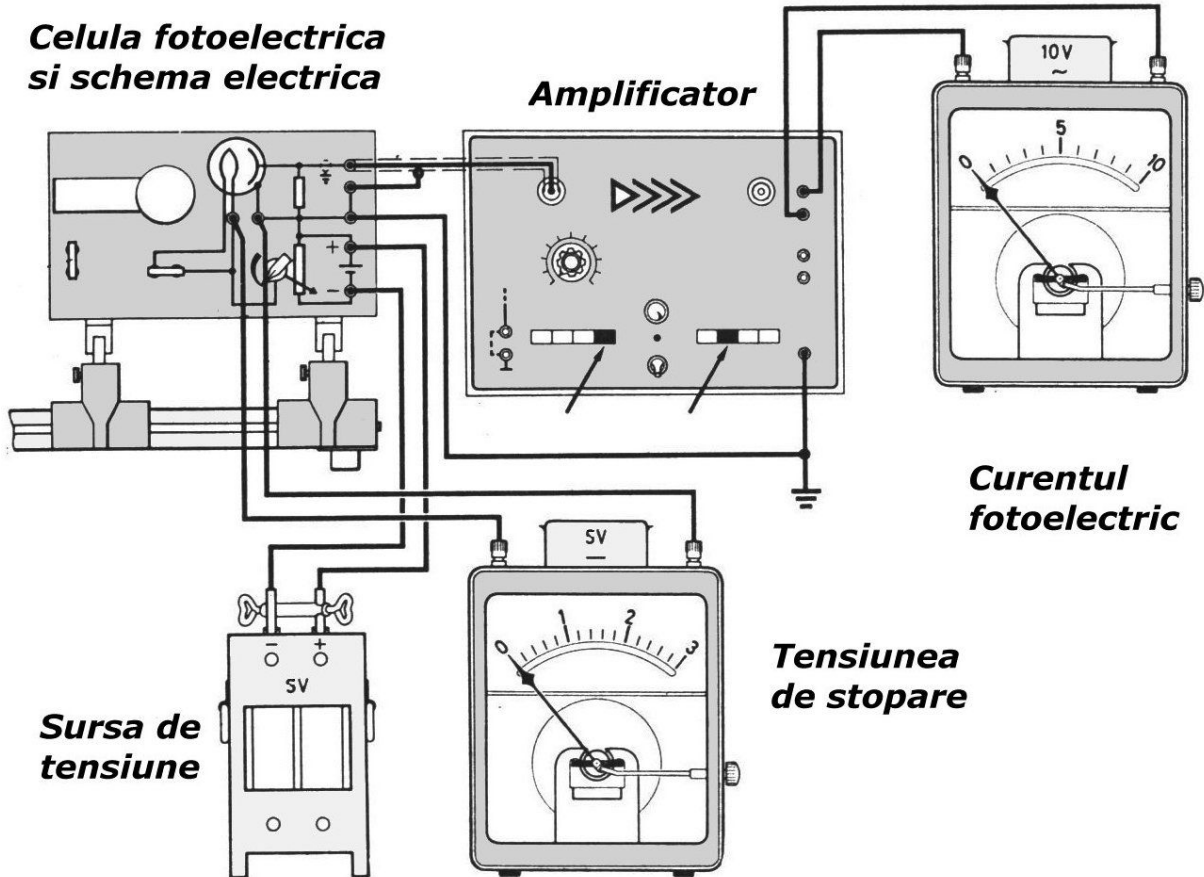
Din panta acestei drepte se poate determina constanta lui Planck, h , (știind că $e=1,610^{-19}$ C) iar ordonata la origine ne permite să calculăm pragul roșu al efectului fotoelectric pentru celula fotoelectrică folosită, $\lambda_0 = \frac{c}{\nu_0}$.

Pentru determinarea parametrilor dreptei (6) se recomandă folosirea metodei celor mai mici pătrate (Anexa 1) din cauza erorilor inerente în determinarea potențialului de întârziere V_{0i} pentru frecvența ν_i .

Dispozitivul experimental

În figurile 3a , 3b , 4a și 4b sunt prezentate componentele montajului experimental ce conține:

- o sursă de lumină; se folosește o lampă intensă (alimentată de la transformatorul T).
- un suport S pe care se montează filtre de frecvență dată.
- un suport S1 cu o fantă F.
- o celulă fotoelectrică cu schema legăturilor electrice reprezentată pe panou.
- o sursă de curent continuu (tensiuni 0-5 volti), ST (Multistab - 235).
- un aparat de măsură a potențialului de întârziere V.
- un amplificator de curent, A.
- un aparat de măsură a curentului fotoelectric, I.



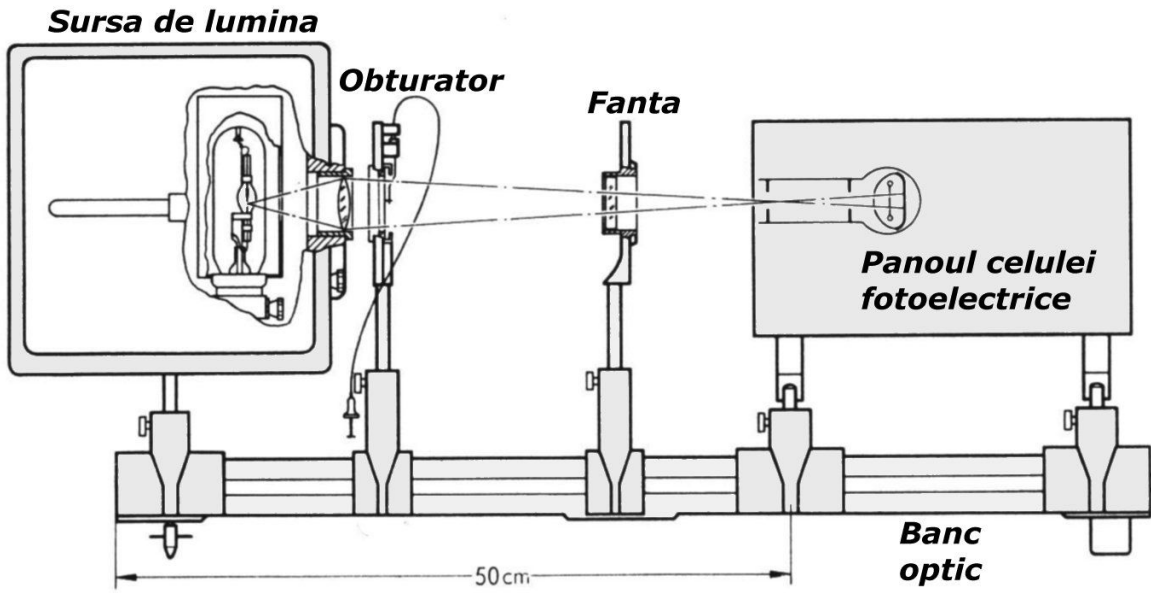


Figura 3a si 3b. Montajul experimental și dispozitivul de iluminare

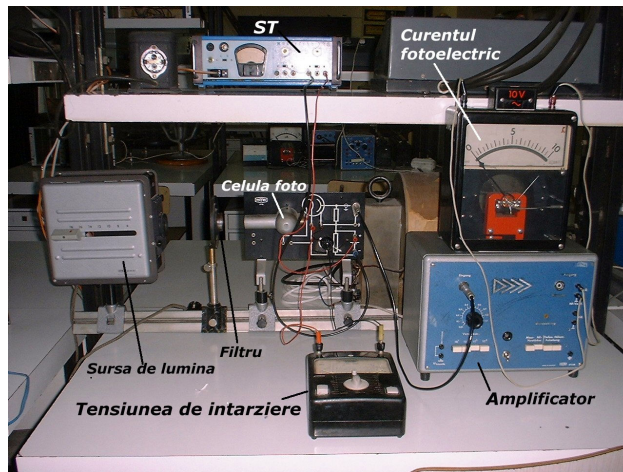


Figura 4a Imaginea de ansamblu

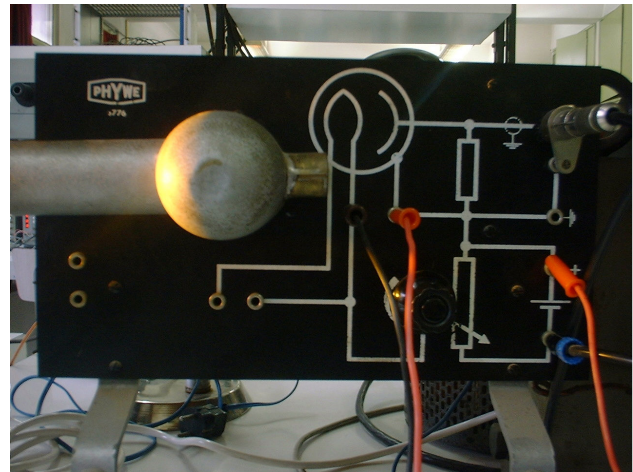


Figura 4b Schema electrică

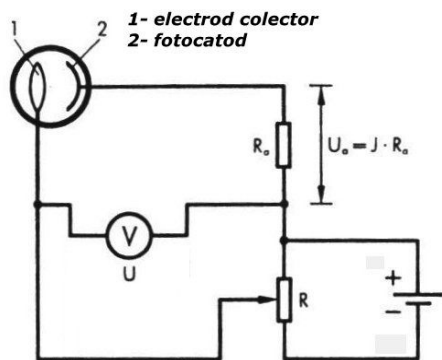


Figura 5

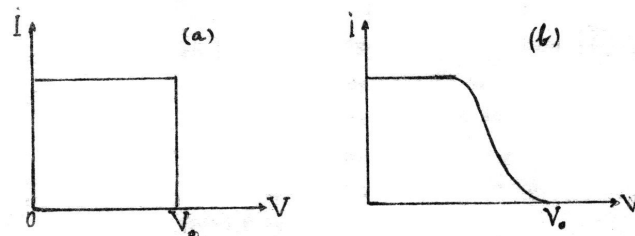


Figura 6

Modul de lucru

1. Se conectează la rețeaua de curent alternativ, 220V, alimentatorul lămpii, sursa de tensiune, ST și amplificatorul, A.

Atentie! Fanta F trebuie să fie închisă!

2. Se montează un filtru pe suport și se deschide fanta F.
3. Cu potențialul de întârziere $V=0$ se variază amplificarea până se obține un curent maxim I.
4. Cu amplificarea stabilită la punctul 3, se variază potențialul de întârziere în pași de 0,05 V, notând V și curentul I.
5. Se reprezintă grafic $I = f(V)$. Deoarece filtrele nu sunt riguros monocromatice și fotoelectronii nu sunt emiși doar de la suprafața iradiată a metalului, nu se va observa un potențial întârziator corespunzător unei singure frecvențe (fig 6a), ci un domeniu de tensiune corespunzând benzii de frecvență de transparență a filtrului și a distribuției energetice a electronilor (fig. 6b). Se va alege ca tensiune de întârziere, V_{0i} , corespunzătoare fiecărui filtru, acea tensiune pentru care curba $I = f(V)$ începe să devieze de la dreapta corespunzătoare potențialelor V mari.
6. Se repetă punctele 2 – 5 pentru alt filtru, având grijă ca în timpul schimbării filtrului fanta F să fie închisă.
7. Să se reprezinte grafic $\nu_j = f(V_{0j})$; se determină prin metoda celor mai mici pătrate, panta drepte și, din valoarea pantei cu $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$, se determină constanta lui Planck și eroarea determinării acestei valori.

Întrebări și probleme

1. Datorită diferenței de potențial de contact dintre anod și catod, voltmetrul nu dă diferența de potențial de pe celulă, ci o valoare translatată cu o mărime constantă.
 - a) cum se poate determina aceasta?
 - b) care este influența ei asupra mărimii și preciziei lui h?
2. Care este lucrul de extracție în cazul acestei lucrări?
3. Cum s-ar putea pune în evidență fiecare act de producere a fotoelectronului?
4. Care sunt valorile maxime ale vitezelor fotoelectronilor obținute la iluminarea unei suprafețe de platină și a unei suprafețe de cesiu cu radiația de rezonanță a mercurului ($\lambda = 4227\text{Å}$). Se dă: $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$, $c = 310^8 \text{ m/s}$.

Tabelul 1. Lucrul de extracție pentru diferite metale cu suprafețe curate (degresate)

Metal	Li	Na	K	Cs	W	Pa	Pt
Lucrul de extracție	2,4	2,1	2,0	0,7	4,5	5,0	6,3
Pragul roșu	5170 vizibil	5900 vizibil	6200 vizibil	17700 infra roșu	2755 UV	2480 UV	1970 UV

Bibliografie

1. E.H.Wichmann, “Fizică cuantică”, Cursul de fizică Berkley, vol IV, Ed. Didactică și Pedagogică, 1983, pp. 34-48;