

EFFECTUL FOTOELECTRIC, INCERCARE DE EXPLICARE A FENOMENULUI

In cazul efectului fotoelectric extern, se considera ca un foton incident la suprafata metalului ciocneste un electron liber din metal si il accelereaza sa iasa in afara metalului. Dupa Einstein avem ecuatiea:

$$W_{fi} = h \cdot f_{fi} = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v_{fe}^2 + W_{ex}$$

O prima intrebare care se pune este, daca fotonul vine cu frecventa f_{fi} , cum se naste viteza electronului din aceasta frecventa?. Apoi daca se considera interactiunea fotonului incident cu electronul liber din metal, ciocnire elastica, unde dispare masa fotonului incident? Ecuatia in forma asta se spune ca satisface (respecta) simultan (concomitent) si conservarea energiei si conservarea impulsului. Ce nu se spune, este ca energia sau lucrul mecanic consumat pentru extractia electronului W_{ex} este ulterior interactiunii fotonului cu electronul. Si atunci interactiunea fotonului incident cu electronul liber din metal trebuie sa se scrie:

1) Energia cinetica a fotoelectronului.

$$W_{fi} = h \cdot f_{fi} = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v_{fe}^2$$

In aceasta forma, daca se fac socotelile, se vede ca nu se conserva simultan si energia si impulsul si pentru fotonii de energie mare ar aparea viteze ale fotoelectronilor superluminice. Ceeace nu este posibil. Deci tensiunea care accelereaza fotoelectronul trebuie sa fie mai mica decat ce rezulta din aceasta egalitate. Atunci facem ipoteza ca unda stationara de mare amplitudine a fotonului insinuat in stratul superficial al metalului, rezultata din interferenta constructiva a tuturor semiundelor componente ale trenului de unde fonic, se comporta ca o spira parcursa de curentul produs de un electron in rotatie pe cercul pe care e propaga unda stationara. La interactiunea undei stationare cu ionii retelei cristaline a metalului, unda stationara se sparge, adica curentul din spira se intrerupe brusc si prin inductie electromagnetica apare un impuls electric, o tensiune care accelereaza un electron din imediata vecinatate.

2) Este egala cu energia consumata la accelerarea fotoelectronului in campul electric.

$$\frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v_{fe}^2 = U_{fae} \cdot q_e$$

3) Potentialul de translatie al fotoelectronului este:

$$v_{fe}^2 = \frac{2 \cdot h \cdot f_{fi}}{m_e}; \text{ punem } h = \frac{k \cdot q_e \cdot m_e}{d_e \cdot f_{fae}}$$

$$\Rightarrow v_{fe}^2 = \frac{2 \cdot k \cdot q_e \cdot m_e \cdot f_{fi}}{d_e \cdot f_{fae} \cdot m_e} = \frac{2 \cdot k \cdot q_e \cdot f_{fi}}{d_e \cdot f_{fae}}$$

punem $q_e = \frac{c^2 \cdot d_e}{k}$; si avem: $v_{fe}^2 = 2 \cdot c^2 \cdot \frac{f_{fi}}{f_{fae}}$

4) Iar viteza de translatie a fotoelectronului este:

$$v_{fe} = c \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{f_{fi}}{f_{fae}}}$$

5) Tensiunea care accelereaza fotoelectronul este:

$$U_{afe} = \frac{m_e \cdot v_{fe}^2}{2 \cdot q_e} = \frac{m_e \cdot 2 \cdot c^2 \cdot f_{fi}}{q_e \cdot 2 \cdot f_{fae}} = \frac{m_e \cdot c^2 \cdot f_{fi}}{q_e \cdot f_{fae}}$$

punem $\frac{m_e}{q_e} = \frac{d_e}{r_e} \approx \frac{r_e}{2 \cdot \pi^2 \cdot k \cdot r_e} = \frac{1}{2 \cdot \pi^2 \cdot k}$ si rezulta:

$$U_{afe} = \frac{c^2 \cdot f_{fi}}{2 \cdot \pi^2 \cdot k \cdot f_{fae}} = \frac{2 \cdot c^2 \cdot f_{fi}}{(4 \cdot \pi \cdot k) \cdot \pi \cdot f_{fae}}$$

6) Viteza fotonului incident refractat in structura metalica a metalului este:

$$v_{fim} = \frac{c}{n_{fim}}$$

7) Lungimea de unda a unei stationare a fotonului refractat in structura cristalina a metalului este:

$$\lambda_{fim} = v_{fim} \cdot t_{fin} = \frac{c \cdot t_{fim}}{n_{fim}} = \frac{c}{n_{fim} \cdot f_{fi}}$$

8) Raza fotonului incident refractat in metal este:

$$\lambda_{fim} = 2 \cdot \pi \cdot r_{fim}; \Rightarrow r_{fim} = \frac{\lambda_{fim}}{2 \cdot \pi} = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_e \cdot n_\alpha \cdot f_{fae}}{2 \cdot \pi \cdot n_{fim} \cdot f_{fi}}$$

$$\Rightarrow r_{fim} = \frac{c}{2 \cdot \pi \cdot n_{fim} \cdot f_{fi}} = r_e \cdot \frac{n_\alpha \cdot f_{fae}}{n_{fim} \cdot f_{fi}}$$

9) Tensiunea de semiunda a unei stationare a fotonului refractat in metal este:

$$U_{(\frac{\lambda}{2})fim} = n_{\lambda fv} \cdot U_{fv}; n_{\lambda fv} = k \cdot \frac{f_{fi}}{f_{fae}};$$

$$U_{fv} = \frac{q_e}{r_e} = \frac{c^2 \cdot d_e}{k \cdot r_e} \approx \frac{c^2 \cdot r_e}{k \cdot 2 \cdot \pi^2 \cdot k \cdot r_e} = \frac{8 \cdot c^2}{(4 \cdot \pi \cdot k)^2}$$

$$\Rightarrow U_{(\lambda/2)fim} = \frac{k \cdot f_{fi}}{f_{fae}} \cdot \frac{8 \cdot c^2}{(4 \cdot \pi \cdot k)^2} = \frac{8 \cdot c^2 \cdot k \cdot f_{fi}}{16 \cdot \pi^2 \cdot k^2 \cdot f_{fae}} = \frac{2 \cdot c^2 \cdot f_i}{(4 \cdot \pi \cdot k) \cdot \pi \cdot f_{fae}} = U_{afe}$$

Deci tensiunea electrica, care accelereaza fotoelectronul, este egala cu tensiunea de semiunda a unei stationare a fotonului incident si refractat in metal. Aceasta tensiune de accelerare a fotoelectronului, ar aparea prin fenomenul inducției electromagnetice, in urma amortizarii bruste a fotonului incident, in interactiune cu ionii rețelei cristaline a metalului, precum si cu electronii liberi din metal.

10) Avem ca:

$$U_{afe} = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}; \text{pentru } \Delta t = t_{fi} \text{ rezulta}$$

$$\begin{aligned} \Delta\phi = U_{afe} \cdot t_{fi} &= \frac{U_{afe}}{f_{fi}} = \frac{c^2 \cdot f_{fi}}{2 \cdot \pi^2 \cdot k \cdot f_{fae} \cdot f_{fi}} = \\ &= \frac{2 \cdot c^2}{(4 \cdot \pi \cdot k) \cdot f_{fae}} \end{aligned}$$

11) Structura unei stationare a fotonului incident in metal este asimilata unei spire parcurse de un curent produs de o sarcina electrica elementara. Dar pentru fluxul magnetic al unei spire este:

$$\Delta\phi_{fim} = B_{fim} \cdot S_{\perp fim}; B_{fim} = \mu_m \cdot \frac{I_{fi}}{2 \cdot r_{fim}}$$

Permeabilitatea magnetica a metalului este:

$$\mu_m = \frac{4 \cdot \pi \cdot k \cdot n_{fim}^2}{c^2};$$

Curentul fotonului incident este:

$$\begin{aligned} I_{fi} &= \frac{q_e}{t_{fi}} = \frac{c^2 \cdot d_e}{k \cdot t_{fi}} = \frac{c^2 \cdot r_e}{k \cdot 2 \cdot \pi^2 \cdot k \cdot t_{fi}} = \\ &= \frac{8 \cdot c^2 \cdot r_e}{(4 \cdot \pi \cdot k)^2 \cdot t_{fi}} = \frac{8 \cdot c^2 \cdot r_e \cdot f_{fi}}{(4 \cdot \pi \cdot k)^2} = \frac{4 \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_{\alpha} \cdot r_e \cdot f_{fae} \cdot c^2 \cdot f_{fi}}{(4 \cdot \pi \cdot k)^2 \cdot \pi \cdot n_{\alpha} \cdot f_{fae}} = \end{aligned}$$

$$= \frac{4 \cdot c^3 \cdot f_{fi}}{(4 \cdot \pi \cdot k)^2 \cdot \pi \cdot n_{\alpha} \cdot f_{fae}}$$

Curentul produs de o singura sarcina electrica prin spira unei stationare a fotonului insinuat in metal este:

$$I_{fim} = \frac{q_e \cdot v_{fim}}{\lambda_{fim}} \text{ in care avem: pentru sarcina electrica elementara: } q_e = \frac{c^2 \cdot d_e}{k}; \text{ pentru viteza}$$

fotonului incident in metal: $v_{fim} = \frac{c}{n_{fim}}$; iar pentru lungimea de unda a

fotonului insinuat in metal: $\lambda_{fim} = v_{fim} \cdot t_{fi} = \frac{c \cdot t_{fi}}{n_{fim}} = \frac{c}{n_{fim} \cdot f_{fim}}$;

$$\Rightarrow I_{fim} = \frac{c^2 \cdot d_e \cdot c \cdot n_{fim} \cdot f_{fi}}{k \cdot n_{fim} \cdot c} = \frac{c^2 \cdot d_e \cdot f_{fi}}{k} = \frac{c^2 \cdot r_e \cdot f_{fi}}{2 \cdot \pi^2 \cdot k \cdot k} =$$

$$= \frac{4 \cdot c^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_{\alpha} \cdot r_e \cdot f_{fae} \cdot f_{fi}}{(4 \cdot \pi \cdot k)^2 \cdot \pi \cdot n_{\alpha} \cdot f_{fae}} = \frac{4 \cdot c^3 \cdot f_{fi}}{(4 \cdot \pi \cdot k)^2 \cdot \pi \cdot n_{\alpha} \cdot f_{fae}} = I_{fi}$$

Deci curentul prin spira unei stationare este egal cu curentul fotonului fotonului incident
Sectiunea normala la fluxul spirei fotonului insinuat in metal este:

$$S_{\perp\phi im} = \pi \cdot r_{fim}^2 = \pi \cdot \frac{r_e^2 \cdot n_{\alpha}^2 \cdot f_{fae}^2}{n_{fim}^2 \cdot f_{fi}^2}$$

Si deci inductia magnetica a spirei unei stationare a fotonului in metal este:

$$\Rightarrow B_{fim} = \frac{(4 \cdot \pi \cdot k) \cdot n_{fim}^2}{c^2} \cdot \frac{8 \cdot c^2 \cdot r_e \cdot f_{fi}}{(4 \cdot \pi \cdot k)^2} \cdot \frac{n_{fim} \cdot f_{fi}}{2 \cdot r_e \cdot n_{\alpha} \cdot f_{fae}} =$$

$$= \frac{4 \cdot n_{fim}^3 \cdot f_{fi}}{(4 \cdot \pi \cdot k) \cdot n_{\alpha} \cdot f_{fae}} \cdot f_{fi}$$

Iar fluxul magnetic prin aceasta spira este:

$$\Rightarrow \Delta\phi_{fim} = \frac{4 \cdot n_{fim}^3 \cdot f_{fi}^2}{(4 \cdot \pi \cdot k) \cdot n_{\alpha} \cdot f_{fae}} \cdot \frac{\pi \cdot r_e^2 \cdot n_{\alpha}^2 \cdot f_{fae}^2}{n_{fim}^2 \cdot f_{fi}^2} =$$

$$= \frac{4 \cdot \pi \cdot n_{fim} \cdot r_e^2 \cdot n_\alpha \cdot f_{fae}}{(4 \cdot \pi \cdot k)} = \frac{n_{fim} \cdot n_\alpha \cdot r_e^2 \cdot f_{fae}}{k} =$$

$$= \frac{2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_\alpha \cdot r_e \cdot f_{fae} \cdot r_e \cdot n_{fim}}{(4 \cdot \pi \cdot k)} = \frac{2 \cdot c \cdot r_e \cdot n_{fim}}{(4 \cdot \pi \cdot k)}$$

Iar tensiunea indusa in aceasta spira intro perioada a fotonului incident este:

$$\Rightarrow \mathcal{E} = \frac{\Delta\phi}{t_{fi}} = \Delta\phi \cdot f_{fi} = \frac{2 \cdot c \cdot r_e \cdot f_{fi} \cdot n_{fim}}{(4 \cdot \pi \cdot k)} =$$

$$= \frac{2 \cdot \pi \cdot n_\alpha \cdot r_e \cdot f_{fae} \cdot c \cdot f_{fi} \cdot n_{fim}}{(4 \cdot \pi \cdot k) \cdot \pi \cdot n_\alpha \cdot f_{fae}} =$$

$$= \frac{c^2 \cdot f_{fi} \cdot n_{fim}}{(4 \cdot \pi \cdot k) \cdot \pi \cdot n_\alpha \cdot f_{fae}} = \frac{U_{afe} \cdot n_{fim}}{2 \cdot n_\alpha}$$

Pentru fotonii grei patrunchi in atom avem ca: $n_{fim} = n_\alpha$. Si atunci tensiunea de inductie este egala cu jumatate din tensiunea de semiunda. $\mathcal{E} = U_{afe}/2$

-Relatia la care am ajuns arata ca tensiunea de inductie aparuta la intreruperea curentului din spira unei stationare, ar fi de cateva ori mai mica decat tensiunea de semiunda si poate accelera un electron din vecinatate, pana la viteze mai mici decat c. In cazul inprastierii Compton se pune problema aparitiei fotonului de frecventa mai mica decat frecventa fotonului incident. Care este mecanismul prin care se produce modificarea (micsorarea) frecventei fotonului incident, la interactia cu atomul? Cunoastem doar efectul Doppler care ar putea modifica frecventa unui foton. Dar in cazul interactiunii fotonilor grei (ics si gama) cu spatiul atomic nu poate fi vorba de un efect Doppler puternic, care sa modifice semnificativ frecventa fotonului incident. Ne imaginam alt mecanism al micsorarii semnificative a frecventei fotonului gama incident in atom. Mecanism care are in vedere structura dinamica a fotonului. Cand fotonul greu (ics sau gama) patrunde in atom, in zona dintre nucleu si prima orbita permisa, fotonul incident se divide, adica se inparte in doi fotoni, egali ca durata si numar de semiunde, dar cu masa frecventa si numarul de semiunde pe jumatate din masa frecventa si numarul de semiunde ale fotonului incident. Acesti fotoni ar avea de asemenea energia cinetica si impulsul pe jumatate din energia si impulsul fotonului incident. Semiundele fotonilor rezultati ar fi la distanta dubla fata de distanta dintre semiundele fotonului incident. Fotonii rezultati din diviziunea fotonului incident, se structureaza imediat in doua unde stationare de mare amplitudine. Una in jurul nucleului si una in jurul unui electron de pe prima orbita permisa. Unda din jurul nucleului ar fi

constituata din semiunde negative ale fotonului incident si ar avea sarcina electrica negativa. Iar unda structurata in jurul electronului, ar avea sarcina pozitiva si ar fi constituita din semiunde pozitive ale fotonului incident. Unda pozitiva, din jurul unui electron, la interactiunea cu celalalt electron de pe orbita permisa, se rupe si apare impulsul electric (tensiunea de inductie) care accelereaza electronul din vecinatate. Din relatia tensiunii de inductie se vede ca indicele de refractie al fotonului patruns (refractat) in atom, fiind egal cu n_α , adica cu indicele de refractie atomic, rezulta ca tensiunea de inductie este egala cu jumatate din tensiunea de semiunda. Impulsul electric aparut prin inductie, accelereaza fotoelectronul pe durata unei perioade a fotonului derivat. Fotonul structurat in unda din jurul nucleului, este emis ca foton cu frecventa pe jumatate din frecventa fotonului incident, pe durata dezexcitarii atomului. Coeficientii unghiulari ai directiilor fotonului emergent si a fotoelectronului, depind de polarizarea fotonului incident si de faza interactiunii cu atomul. Daca consideram ca fotonul incident in atom are masa cat a electronului, atunci fotonul rezultat din divizarea fotonului incident, are masa pe jumatate din masa electronului si ciocnirea cu electronul este elastica, atunci rezulta ca se respecta conservarea simultana si a energiei si a impulsului. Dar viteza initiala a fotoelectronului ar fi egala cu viteza luminii c . Ceeace nu este posibil. 1 In cazul inprastierii Compton, consideram un foton gama care are masa egala cu a unui electron. $m_{\gamma fae} = m_{fae} = m_e$. 2 Acest foton patruns in spatiul (zona) dintre nucleu si electronii de pe prima orbita permisa, intro zona cu densitate energetica foarte mare, se divide si se structureaza in doua unde stationare bipolare, cu masa, impulsul frecventa si energia cinetica pe jumatate din masa impulsul frecventa si energia cinetica a fotonului incident. O unda stationara s-ar structura in jurul nucleului, ar fi constituita din toate semiunde negative ale fotonului incident si ar avea caracterul unei sarcini negative. Cealalta unda stationara s-ar structura in jurul unui electron de pe prima orbita permisa, ar fi constituita din toate semiunde pozitive ale fotonului incident si ar avea caracterul unei sarcini pozitive. In cursul divizarii si refractiei fotonului incident in atom si pe durata structurarii in undele stationare, energia cinetica a fotonului incident se converteste in energia potentiala a undelor stationare. Iar momentul cinetic al fotonului incident se reduce la momentul de rotatie al undelor. Energia potentiala totala a atomului creste, atomul este excitat. 3 La dezexcitarea atomului, unda din jurul nucleului este emisa ca foton gama de masa, impuls, frecventa si energie cinetica pe jumatate din ale fotonului incident. 4 Unda structurata in jurul unui electron de pe prima orbita permisa, in interactiune cu celalalt electron si cu nucleul este foarte instabila si se sparge, generand prin inductie electromagnetica un impuls electric, care accelereaza printr-o ciocnire plastica un electron din imediata vecinatate. Adica impulsul electric aparut prin inductie are o masa, egala cu masa fotonului derivat si cu jumatate din masa fotonului incident, care se lipeste (se adauga) la masa electronului accelerat. 5 Daca scriem ca tensiunea U_{afe} acceleratoare a fotoelectronului, produce energia cinetica a electronului accelerat, avem ca:

$$U_{afe} \cdot q_e = \frac{m_e \cdot v_e^2}{2}; \Rightarrow U_{afe} = \frac{m_e \cdot v_e^2}{2 \cdot q_e} = \frac{v_e^2 \cdot d_e}{2 \cdot r_e} = \frac{v_e^2 \cdot r_e}{2 \cdot 2 \cdot \pi^2 \cdot k \cdot r_e} = \frac{v_e^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot k}$$

Pentru $m_{fi} = m_e$ scriem conservarea energiei $m_e \cdot c^2 = \frac{m_e \cdot v_{fe}^2}{2}$

$$\Rightarrow 2 \cdot m_e \cdot c^2 = m_e \cdot v_{fe}^2; \Rightarrow v_{fe}^2 = 2 \cdot c^2; \Rightarrow v_{fe} = c \cdot \sqrt{2}$$

Deoarece rezulta ca $v_{fe} > c$, care este imposibila, punem $m_e/2$ care corespunde unei stationare de la divizarea fotonului incident. Si aici, in cazul ciocnirii elastice a fotonului derivat cu electronul, rezulta ca $v_{fe}=c$, care iar nu se poate.

Fiindca scriem $\frac{m_e \cdot c^2}{2} = \frac{m_e \cdot v_{fe}^2}{2}$; $\Rightarrow v_{fe}^2 = c^2$; si $v_{fe} = c$;

In cazul ciocnirii plastice, cand la masa electronului se adauga si masa fotonului derivat, rezulta ca ; $\Rightarrow v_{fe} = c \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} < c$ si este plauzibila. Fiindca scriem conservarea energiei astfel:

$$\frac{m_e}{2} \cdot c^2 = \left(\frac{m_e}{2} + m_e \right) \cdot \frac{v_{fe}^2}{2} = \frac{3 \cdot m_e \cdot v_{fe}^2}{4}; \Rightarrow v_{fe}^2 = \frac{m_e \cdot c^2 \cdot 4}{2 \cdot 3 \cdot m_e} = \frac{c^2 \cdot 2}{3}; \Rightarrow v_{fe} = c \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} < c$$

Iar pentru conservarea impulsului scriem:

$$\frac{m_e}{2} \cdot c = \frac{3 \cdot m_e}{2} \cdot c \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{3}} = \frac{3 \cdot m_e \cdot c}{2 \cdot \sqrt{6}}$$

Pentru conservarea impulsului, pentru ca termenul din dreapta sa fie egal cu cel din stanga, trebuie sa avem un coeficient directiona, un factor trigonometric, un cosinus de fi, egal cu $1/\sqrt{6}$. Unghiul dat de acest coeficient (factor trigonometric) este in raport cu axa (directia) campului electric indus la spargerea spirei, unei stationare. Deoarece in spatiul atomului totul este in miscare, nu se poate sti care este directia campului electric aparut la spargerea unei stationare din jurul electronului si nu se poate stabili o legatura cu directia fotonului incident. Mai rezulta ca masa fotoelectronului accelerat este mai mare cu jumătate de masa electronica (respectiv jumătate din masa fotonului incident). Si inseamna ca impulsul electric ar fi o structura care are sau poarta masa. Deci energia potentiala a masei, din campul electric si magnetic al unei stationare, se converteste in energia campului (impulsului) electric, care se lipeste de electron si il accelereaza pana la viteza v_{fe} . Accelerarea fotoelectronului ar dura o perioada a fotonului derivat, care ar fi cat doua perioade ale fotonului incident. Si lungimea pe care este accelerat fotoelectronul este : $l_{afe} = a_{fe} \cdot 2 \cdot t_{fi}$. Impulsul electric de inductie are sensul inversat fata de campul din semiundele fotonului derivat. Daca in unda stationara campul semiundelor era orientat cu minusul catre nucleu si cu plusul catre electron, dupa spargerea unei stationare, campul de inductie aparut, are sensul cu plusul catre nucleu si cu minusul catre electron. Din acest motiv structura care genereaza impulsul electric de inductie va suferi o puternica repulsie din partea nucleului si va exercita o puternica presiune asupra electronului pe care il va accelera pe durata de o perioada a fotonului derivat, perioada egala cu doua perioade a fotonului incident. La interactia cu campul unei seminude a electronului, campul de inductie va suferi alta repulsie, care il deviaza in zona neutra a electronului, dintre semiundele electronului. Impulsul electric deviat in zona neutra a electronului, transfera masa si impulsul catre electronul care

sufera accelerare. Astfel ca ciocnirea fotonului derivat cu electronul ar fi o ciocnire plastica, in care masa fotoelectronului ar fi majorata cu jumatate din masa fotonului incident. Problema care apare la verificarea acestei teorii, care pare doar o fabulatie, este daca prin experimente de laborator se poate determina cu precizie masa si viteza fotoelectronilor. Credem ca mecanismul impulsului de inductie aparut din spargerea undei stationare a fotonilor insinuati in metal (in substanta) ar explica si in calzirea materialelor expuse la radiatia solara si emisia termoelectronica si aparitia potentialului de electrod, in urma reactiilor chimice de la electrozi, din pilele electrochimice si probabil explica si efectul tunel, cand unii electroni din material depasesc spontan bariera de potential.