

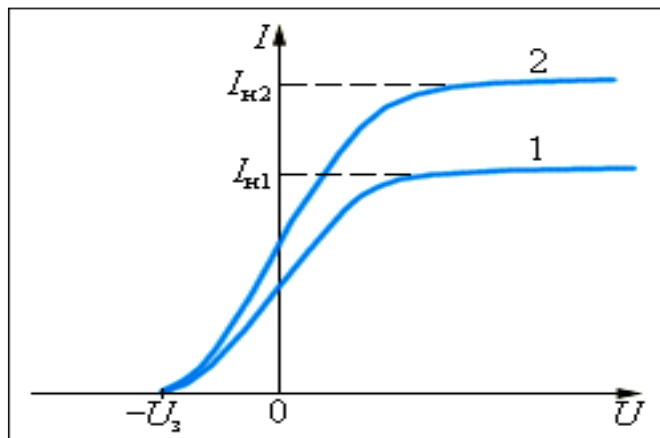
14 - дәріс. Фотозэффект. Жарықтың әсері.

Жоспар: Столетов тәжірибесі. Эйнштейн теңдеуі. Ішкі фотозэффект. Фотогоальваникалық эффект. Фотозэффект негізінде жұмыс істейтін құралдар. Жарықтың кванттық қасиеттері. Комpton эффекті. Жарықтың қысымы. Лебедев тәжірибесі. Жарықтың фотохимиялық әсері.

Жарықтың затпен өзара әсерлесуінің нәтижесінде пайда болған электрлік қосылысты *фотозэффект* деп атайды. Фотозэффект сыртқы және ішкі болып 2-ге бөлінеді.

Заттарды жарықпен сәулелендіру нәтижесінде теріс зарядтың ыршып шығу құбылысы сыртқы фотозэффект деп аталады. Бұл теріс зарядтар электрондар. Сыртқы фотозэффект қатты денелерде де, сұйықтарда да және газдарда да байқалады. Фотозэффект заңдылықтарын орыс ғалымы **А. Т. Столетов** тұжырымдаған болатын. Осы Столетов заңы бойынша сыртқы фотозэффект көмегімен электр тогын алатын қондырғы дайындалды. Фотозэффект құбылысынан пайда болатын токты фототок деп атайды. Фототок ультра күлгін сәулесімен жарықтану жерінен пайда болады.

1. Қанығу фототогы электродқа түсетін жарық ағынына тура пропорционал болады. $I_n \sim \Phi$ (1- сурет).



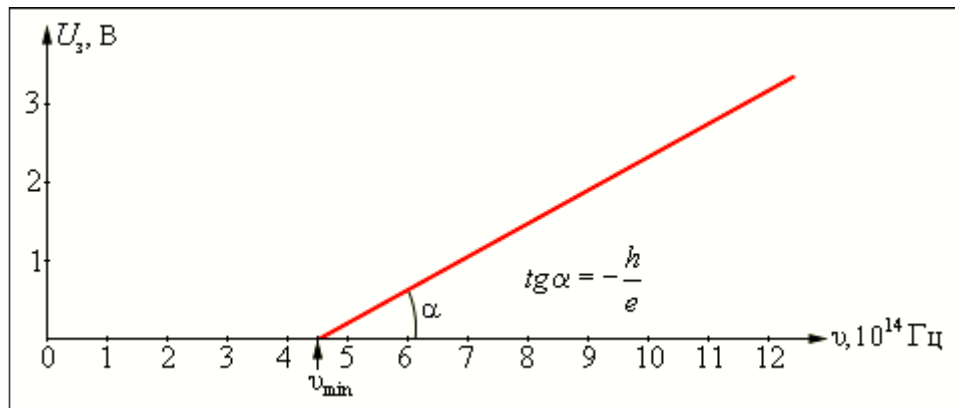
1- сурет. Фототок шамасының кернеуге тәуелділігі ($\Phi_2 > \Phi_1$)

Егер жарық ағынын тұрақты етіп, ал кернеуді ең төменгі тіп шамаға дейін кемітсек онда да фототок ағыны байқалады.

Фототокты жою үшін батареяның полюстерін өзгерту керек. Яғни кері электр өрісі тудырылады. Осы кернеуді *тосқауылдаушы кернеу* деп атайды. Олай болса,

$$\frac{m\vartheta^2}{2} = eU_T$$

2. Жарықтанудан ыршып шыққан электронның кинетикалық энергиясы жарық интенсивтілігіне байланысты емес, ол жарық толқын жиілігіне тура пропорционал. Бұл сыртқы фотозэффект құбылысының 2-ші заңы. (2- сурет).



2-сурет. Тежеуіш потенциалдың U_3 түскен жарықтың жиілігіне ν тәуелділігі.

Егер электродқа кезек-кезек әртүрлі монохроматты жарық бағыттайтын болсақ, онда толқын ұзындығы артқан сайын электронның кинетикалық энергиясы кемуі түседі. Яғни толқын ұзындығы λ_{\max} -ге жеткенде фотоэффект құбылысы жойылады.

3-ші фотоэффект заңы. Түскен жарық жиілігі қандай да бір ν_{\min} шамадан аз болса сыртқы фотоэффект бақыланбайды.

Фотоэффект құбылысы байланысты ең толқын ұзындығының ең жоғарғы мәнін фотоэффектінің *қызыл шегі* деп атайды.

Эйнштейн формуласы
жалпы жағдайда

$$\varepsilon = h\nu = A + T_{\max}, \text{ немесе } \hbar\omega = A + T_{\max},$$

мұндағы $\varepsilon = h\nu = \hbar\omega$ – металл бетіне түсетін фотонның энергиясы; A – электронның металдан шығу жұмысы; T_{\max} – фотоэлектронның максимал кинетикалық энергиясы.

б) фотонның энергиясы шығу жұмысынан өте үлкен жағдайда ($h\nu \gg A$),

$$h\nu = T_{\max}, \text{ немесе } \hbar\omega = T_{\max}$$

Екі жағдайда (релятивистік емес және релятивистік) фотоэлектронның максимал кинетикалық энергиясы әр түрлі формуламен өрнектеледі:

а) егер фотоэффект өте аз энергиясы ($h\nu = \hbar\omega < 5\text{кэВ}$) бар фотонның әсерінен болса,

$$T_{\max} = \frac{1}{2}m_0v_{\max}^2,$$

мұндағы m_0 - электронның тыныштық массасы;

б) егер фотоэффект өте үлкен энергиясы ($h\nu = \hbar\omega \gg 5\text{кэВ}$) бар фотонның әсерінен болса,

$$T_{\max} = (m - m_0)c^2,$$

немесе

$$T_{\max} = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right),$$

мұндағы $\beta = v_{\max}/c$, m - релятивистік электронның массасы;

- Фотозффектінің қызыл шекарасы

$\lambda_0 = hc/A$, немесе $\lambda_0 = 2\pi\hbar c/A$; $v_0 = A/h$, немесе $\omega_0 = A/\hbar$,

мұндағы λ_0 – фотозффект болуына сәйкес сәулеленудің максимал толқын ұзындығы (v_0 және ω_0 - сәйкесінше минимал өзіндік және айналмалы

Ішкі фотозффект (фотозөткізгіштік) деп - жарық әсерінен жартылай өткізгіштер мен диэлектриктердің өткізгіштік зонасында электрондардың пайда болу құбылысын айтады.

Екі жартылай өткізгіштің контактысын жарықпен сәулелендіргенде э.к.к. пайда болу құбылысын *фотозгалъваникальц (венильді фотозффект) эфффект* деп атайды.

Жарықтың әсері.

Кванттық теорияның негізін Планк қалаған. Жарықтың жұлылуы, сәуле шығаруы жеке порция түрінде өтеді. Эйнштейн Планк идеясын дамытып жалпы электромагниттік сәуле шығару жеке корпускулалардан - *фотондардан* тұрады. Оның энергиясы: $E = hv$ импульсы $p = hv/c$.

Жеңіл атомды заттарда рентген сәулелерінің шашырауы кезінде толқын ұзындығының өзгеру құбылысын *Комптон-эфффект* деп атайды. Комптон эфффектісі классикалық теория бойынша шашыраған сәулелер мен түскен сәулелердің тербеліс жиіліктері бірдей болуы тиіс. Бірақ шашыраған рентген сәулелерінің спектрін зерттеуден бұл пікірдің кейбір жағдайларда орындалмайтындығы байқалады. Мысалы, атомдардың массалары аздау элемент (Li, Be, C) сол сияқты жеңіл элементтен құралған заттардан (графит, парафин) шашыраған қатандау рентген сәулелерінің құрамында толқын ұзындығы бастапқы түскен сәулелердікіндей және толқын ұзындықтары одан гөрі ұзынырақ сәулелердің болатындығы анықталды. Сөйтіп, рентген сәулесі шашыраған кезде олардың толқын ұзындығының өзгеруі Комптон құбылысы немесе Комптон эфффектісі деп аталады. Жарықтың корпускулалық қасиетінің айқын болуын бірінші рет 1824 ж. Американ физигі А.Комптон зерттеді. Тәжірибеде мынау анықталды. Шашыраған рентген сәулелерінің спектрінде толқын ұзындығы λ -ға тең бастапқы сәулемен, толқын ұзындығы λ' болатын басқа сәуленің бар екендігін байқады. Бұл толқын ұзындығының айырымы $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$ шашыратқыш затқа және бастапқы түскен сәуленің толқын ұзындығына тәуелді болмай, тек сәулелердің шашырау бағытына байланысты болады. Егер шашырау бұрышы θ десек, онда $\Delta\lambda$ θ арасындағы байланысты былайша өрнектеуге болады:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2 \sin^2 \theta / 2$$

Мұндағы λ' - шашыраған сәуленің толқын ұзындығы, λ_k -Комптон анықтаған толқын ұзындығы, ол мынаған тең: $\lambda_k=2,4 \cdot 10^{-12}$ м .

Әрине Комптон эффектісін классикалық электромагниттік теория арқылы түсіндіру мүмкін емес, оны тек кванттық теория бойын түсіндіреді. Кванттық теория тұрғысынан рентген сәулелері дегеніміз фотондардың ағыны болып табылады. Ал, әр бір фотонның белгілі бір энергиясы және импульсі болады. Олай болса Комптон эффектісі импульсімен еркін электрондардың соқтығысу нәтижесі деп қарастыруға болады. Бұл соғылысу серпімді болғандықтан фотон мен электрон соғылысқанда оның энергиясы мен импульсі өзгереді, себебі электрон соғылысу нәтижесінде импульс және кинетикалық энергия алады. Комптон өзінің тәжірибесінде пайдаланған фотондар энергиясы 17,5 кэВ рентген сәулелері болды. Міне осындай энергияның шамасы ғана электрондардың атомдармен байланысын бұза алады. Енді энергиясы $h\nu$ фотон тыныштықтағы (массасы - m_0) электронмен соқтығысқанда қандай өзгерістерге ұшырайды осыны қарастырайық.

Соқтығысу кезінде фотон энергиясының кемуі шашыраған сәулелердің толқын ұзындығының өсетіндігін көрсетеді. Сөйтіп, шашыраған фотонның энергиясы $\varepsilon'=h\nu$ болса, импульсі $P_\phi = h\nu/c$ тең болады. Ал тыныштықтағы тұрған электронның қабылдаған импульсі $P_e = mv$ да, энергиясы $E = mc^2$ тең.

Энергияның сақталу заңына сәйкес мына теңдеуді жазайық:

$$E_e + \varepsilon = E + \varepsilon' \quad (16)$$

мұндағы $E_e = mc^2$ - электронның тыныштық энергиясы,

$E=h\nu$ - фотон энергиясы.

Импульстің сақталу заңына сәйкес мынаны жазайық:

$$P_\phi = P_e + P'_\phi \quad (17)$$

мұндағы $P_\phi =h\nu/c$ – фотонның импульсі.

(17) теңдеудегі шамалардың мәндерін ескеріп және (16) өрнектегі шамаларды орныдарына қойсақ мына теңдеу шығады:

$$m_0c^2 + h\nu = mc^2 + h\nu', mv^2 = \left(\frac{h\nu}{c}\right)^2 + \left(\frac{h\nu'}{c}\right)^2 - 2\frac{h^2}{c^2}\nu\nu' \cos\theta$$

Электронның m массасы оның v жылдамдығымен былайша байланысты:

$$m = m_e / \sqrt{1 - (v/c)^2}$$

Соңғы екі теңдеулерді біріктірсек,

$$m_e c^2 (\nu - \nu') = h\nu\nu'(1 - \cos\theta)$$

Егер $\nu = c/\lambda$, $\nu' = c/\lambda'$ және $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$ болса, ең соңында мына формуланы аламыз.

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos\theta) = \frac{h}{m_0c} \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

мұндағы $\frac{h}{(m_0c)} = \lambda_k$ - Комптон толқын ұзындығы деп аталады. Бұл өрнекті h , m_0 , c мәндерін қойсақ $\lambda_k = 2.426 \cdot 10^{-12}$ м болады.

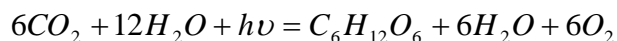
Сөйтіп, Комптон фотондардың тек қана фотоэффект құбылысында байқалатын бөлшектер емес, сонымен қатар шашыраған сәулелерде де болатын бөлшектер екендігін дәлелдеді. Сондықтан жоғарыда айтылған эксперимент және оның теориясын жасаған үшін Комптон 1927 жылы Нобель сыйлығына ие болған.

Жарықтың химиялық әсері. Көпшілік жағдайда заттар түскен жарық сәулелерін жұту нәтижесінде басқа заттарға айналады, бұл құбылысты фотохимиялық реакциялар деп атайды. Мектеп бағдарламасында ондай түрленудің негізінен екі түрі ғана қарастырылады, олар фотосинтез және фотография.

а) тірі организмнің дем алуы кезінде олардың денесіндегі көміртегінің тотықтану процесі жүреді. Көміртегі өмірқышқыл газына айналғанда белгілі бір мөлшерде энергия босап шығады, міне, тірі организмнің өмір сүруінің басты көзі сол энергия.

Табиғатта ері процесс те жүріп жатады. Күн сәулесінің әсерінен өсімдіктердің жасыл жапырақтары атмосферадағы көмірқышқыл газын жұтып, оны ыдыратады. Осы ыдырау кезінде өсімдіктер мен жануарлардың денесін құрайтын негізгі органикалық қосылыстар пайда болады. Сөйтіп, фотохимиялық реакциялар нәтижесінде табиғатта «көміртегінің ұлы дөңгелегі» айналып жатады. Олай болса, Жер бетіндегі өмірдің негізгі көзі – Күн.

Күн сәулесінің әсерінен өсімдіктерде жүретін реакцияны мына түрде жазуға болады:



Міне, осы айтылған күрделі процесс фотосинтез деп аталады.

ә) Фотография жөнінде сөз болғанда негатив және позитив алуды сыныпта тәжірибе жасап көрсеткен орынды болады (бұл фотокескін алудың ескі тәсілі болса да болады). Ол үшін алдын ала фотопластинка, фотоқағаз, проявитель және фиксаж дайындап қою керек. Демонстрация айтарлықтай көп уақыт алмайды, әдетте ол оқушылардың үлкен қызығушылығын туғызады. Сонан соң фотографиялау процесі түсіндіріледі.

Фотопластинаның шыны бетіне жағылған күміс бромидінің ($AgBr$) қабатынан тұратындығы айтылады. Жарық әсерінен бромды күмістің ыдырау реакциясы жүреді, сөйтіп түскен жарықтың интенсивтілігіне байланысты пластинка бетінде жасырын кескін пайда болады. Арнаулы химиялық реактивтің көмегімен, ол проявитель деп аталады, жасырын кескінді көрінетін кескінге айналдырады, бұл кезде проявитель фотопластинканың жарық түскен жеріндегі бромды күміс тұзын қарқынды түрде ыдыратады. Пластинкадағы ыдырамаған күміс басқа фиксаж деп аталатын сұйыққа салынады. Ол реактивтің көмегімен жуылып тасталады. Фотопластинкадан алынған кескін негатив деп аталады., ол түпнұсқаның жарықталынуына кері болып шығады. Сондықтан, алынған негативті тағы да фотографиялау керек, сонда барып нақты кескін алынады.

Фототхимиялық реакциялардың тек белгілі жиілікті фотондар көмегімен ғана жүретіндігі – жарық табиғатының кванттық екендігінің тағы бір дәлелі ретінде айтылады.

Жарық қысымы. Жарықтың кванттық теориясының дұрыстығының тағы бір дәлелі ретінде жарық қысымы қарастырылады.

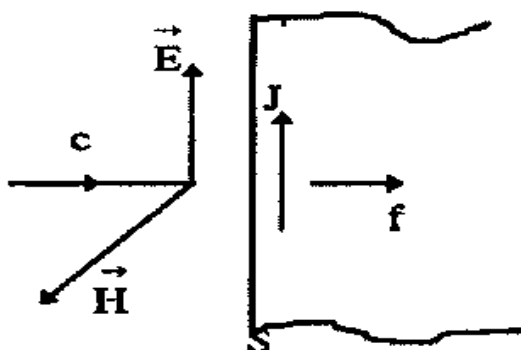
Кезінде Күн сәулесінің әсерінен комета құйрығының ауытқуын бақылау нәтижесінде жарық сәулесінің қысымы болатындығы жөнінде алғашқы болжамды Кеплер айтқан болатын.

Алғаш рет Максвелл өзі жасаған жарықтың электромагниттік теориясы негізінде өте күрделі жолмен жарықтың қысымын мынадай формуламен өрнектеуге болатынын тапты:

$$p = (1 + \rho)w$$

мұндағы ρ - беттен жарықтың шағылу коэффициенті, w - электромагниттік толқын тығыздығы.

Сапа жағынан электромагниттік теорияны пайдаланып, жарық қысымын төмендегіше түсіндіруге болады. – бетке перпендикуляр бағытта электромагниттік толқын келіп түссін (2 -сурет)



51 - сурет

Ондай жағдайда электромагниттік толқынның \vec{E} және \vec{H} векторлары сол S жазықтығында жатады. Электрлік вектордың әсерінен заттың бетіндегі зарядтардың лездік ығысуы байқалады, басқаша айтқанда лездік электр тогы (J) пайда болады, тоқтың бағыты электр өрісінің бағытымен бағыттас. Екінші жағынан тогы магнит өрісінде болғандықтан, яғни электромагниттік толқын бетке қысым түсіреді.

Теориялық тұрғыдан жарықтың қысымы бар екендігі белгілі болғанымен көп уақытқа дейін оның тәжірибелік дәлелі болмады. Ондай тәжірибені алғаш рет 1900 жылы орыстың атақты физигі П.Н.Лебедев жасады.

Айталық, бетке түсетін жарық фотондарының тығыздығы n болсын, онда бір өлшемді бетке бірлік уақыт ішінде келіп соғатын фотондар саны nc болады. Егер беттен жарықтың шағылу коэффициенті ρ болса, онда ρnc фотон шағылады, ал $(1 - \rho)nc$ фотон жұтылады. Жұтылған фотондар бетке mc импульс береді де, шағылған фотондар $2mc$ импульс береді. Қысым – бір

өлшем ауданға бірлік уақыт ішінде келіп соғатын фотондардың беретін импульстерінің қосындысы, олай болса:

$$p = \rho n c \cdot 2 m c + (1 - \rho) n c \cdot m c = (1 + \rho) \cdot n m c^2 = (1 + \rho) w$$

шындығында, мұндағы $m c^2$ - бір фотонның энергиясы болатындықтан $n m c^2 = w$ жарық энергиясының тығыздығы болып шығады