

VI БОБ ИССИКЛИК НУРЛАНИШИ

ФОТОНЛАР

1-§. Иссиклик нурланиши

2- §. Абсолют қора жисмни урганиш муаммолари

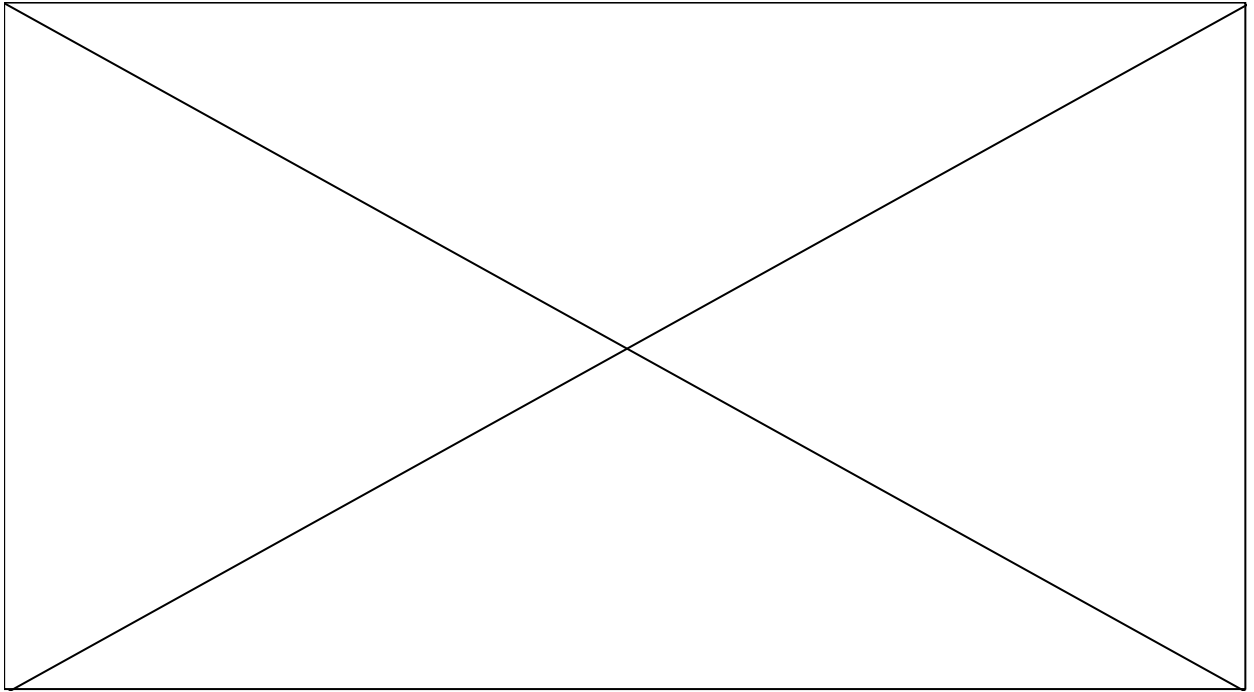
3- §. Стефан - Болцман қонуни ва Вин қонуни

4- §. Фотоэффект

5- §. Комптон эффекти

1-§. Иссиклик нурланиши

Нурланишлар турли хил булади. Масалан, оксидланаётган фосфорнинг нурланиши, газларда электр ток утиш жараёнида вужудга келадиган нурланиш, каттик жисмларни электронлар билан бомбардимон қилиш натижасида вужудга келадиган нурланиш, киздирилган жисмнинг нурланиши, яъни иссиқлик нурланиш ва хоказо. Бу нурланишлар бир-биридан узларининг вужудга келишининг табиати билан ажралиб туради. Мисол учун, хавода оксидланаётган фосфор химиявий узгаришда ажраладиган энергия хисобига нурланади. Нурланишларнинг энг қуп тарқалгани жисмларни киздириш орқали вужудга келтириладиган (киздириш орқали вужудга келтириладиган) нурланишдир. Нурланишнинг бу тури иссиқлик (ёки температуравий) нурланиш деб аталади. Бу нурланиш абсолют нолдан фарқли барча температурадаги жисмларда кузатилади ва температурага кучли боғлиқ булади, унча юқори булмаган температурада амалда факат узун (инфракизил) электромагнит тулқинлар тарқалади. Шунинг учун, баъзан, иссиқлик нурланишни температуравий нурланиш деб ҳам аталади.



Тажрибанинг курсатишича, нурланувчи жисм билан мувозанат ҳолатда булувчи нурланиш факат битта, у ҳам булса иссиқлик нурланишидир. Хамма бошка тур нурланишлар мувозанатсиз нурланиш ҳисобланади. Иссиқлик нурланишининг нурланаётган жисмлар билан мувозанатда булишига температура ортганда жисмнинг нурланиш интенсивлиги ҳам орта бориши сабаб булади. Жисм билан нурланиш орасида мувозанат бузилган ва жисм энергия ютмайди, балки энергия чиқаради деб фараз қилайлик. У вақтда жисмнинг ички энергияси камая бориб, температуранинг пасайишига олиб келади. Бу эса, уз навбатида, жисм чиқара диган энергиянинг камайишига олиб келади. Жисмнинг температураси жисмда нурланаётган энергия миқдори, унда ютилатган энергия миқдорига тенглашгунча пасая боради. Агар мувозанат бошка томонга бузилса, яъни нурланаётган энергия миқдори ютилатгандан кам булса, жисмнинг температураси мувозанат юз бергунча кутарилади. Шундай қилиб, жисм нурланиш системасидаги мувозанатнинг бузилиши мувозанатни тикловчи *процессларни* вужудга келтиради (тасвирда нурланиш турлари ва фотоэлементлар иши келтирилган).

2-§. Абсолют қора жисмни урганиш муаммолари

Кирхгоф қонуни

Иссиқлик нурланишини характерлаш учун ватт ҳисобида улчанадиган энергия оқими катталигидан фойдаланамиз.

Нурланаётган жисмнинг бирлик сиртидан хамма йуналиш буйлаб (2π фазовий бурчак шаклда) чиқараётган энергия оқими жисмнинг энергиявий ёритувчанлиги R_ϵ деб аталади (белгиларни мураккаблаштирмастик максидида R нинг пастидаги "э" индексини тушириб қолдирамиз). Нурланиш турли ω частотали (ёки λ узунликли) тулқинлардан иборат. Жисмнинг бирлик сиртидан ω частоталар интервалида чиқараётган энергия

оқимини dR_ω билан белгилайлик. $d\omega$ интервалнинг кичик қийматида dR_ω оқим $d\omega$ га пропорционал булади:

$$dR_\omega = r_\omega d\omega \quad (1)$$

r_ω - катталиқ жисмнинг чиқариш қобилияти деб аталади. Тажрибадан маълум бўлишича, чиқариш қобилияти жисмнинг температурасига кучли боғлиқ. Демак, r_ω частота температуранинг функцияси. Энергиявий ёритувчанлик ҳам мос равишда температуранинг функцияси ҳисобланади. Чиқариш қобилиятини билган ҳолда энергиявий ёритувчанликни ҳисоблаш мумкин:

$$R_\omega = \int_0^\omega r_{\omega,T} \cdot d\omega \quad (2)$$

Нурланишни ω частота урнига λ тулқин узунлиги билан характерлаш мумкин. $d\omega$ спектр қисмига $d\lambda$ тулқин узунлик интервали мос келади. Айнан бир сохани аниқловчи $d\omega$ ва $d\lambda$ лар $\lambda = c/\nu = 2\pi c/\omega$ формуладан келиб чиқувчи оддий муносабат билан боғланган. Дифференциаллаш:

$$d\lambda = -\frac{2\pi c}{\omega^2} d\omega = -\frac{\lambda^2}{2\pi c} d\omega \quad (3)$$

ни беради. Бу ерда минус ишора ω ва λ катталиқлардан бирининг ортиши билан иккинчисининг камайишини кўрсатади. Шунинг учун бу ишорани ёзмаса ҳам булади. Энергиявий ёритувчанликнинг $d\lambda$ интервалга тугри келувчи қисмини (1)га ухшатиб

$$dR_\lambda = r_\lambda \cdot d\omega \quad /4/$$

қурилишда ёзиш мумкин.

Агар (1) ва (4) ифодаларга қиравчи ($d\omega$ ва $d\lambda$ интерваллар (3) муносабат билан боғланган бўлса, яъни спектрнинг айнаи бир қисмига тегишли бўлса, dR ва dR_λ катталиқлар бир хил бўлиши керак:

$$r_\lambda \cdot d\lambda = r_\omega \cdot d\omega$$

Кейинги тенгликда $d\lambda$ (3) га асосан алмаштирсак қуйидагини оламиз:

$$r_\omega \cdot d\omega = r_\lambda \cdot \frac{2\pi c}{\omega^2} \cdot d\omega = r_\lambda \cdot \frac{\lambda^2}{2\pi c} \cdot d\omega$$

бундан

$$r_{\omega} = r_{\lambda} \cdot \frac{2\pi c}{\omega^2} = r_{\lambda} \cdot \frac{\lambda^2}{2\pi c} \quad /5/$$

(5) ёрдамида dR_{λ} дан r_{ω} га ва аксинча утиши мумкин.

Жисм сиртининг элементар юзага $d\omega$ частота интервалида булган электромагнит тулкинларнинг нурий энергия оқими $d\phi_{\omega}$, тушаётган булсин. Бу оқимнинг $d\phi_{\omega}$, қисмини жисм ютади. Куйидаги

$$\alpha_{\omega T} = \frac{d\phi_{\omega}'}{d\phi_{\omega}} \quad /6/$$

улчимсиз катталиқни жисмнинг ютиш қобилияти деб аталади. Ютиш қобилияти жисмнинг температурасига боғлиқ. Демак, частота ва температуранинг функциясиدير.

Таърифга кура $\alpha_{\omega T}$ бирдан катта булиши мумкин эмас. Тушаётган ҳамма частотали нурланишни тулик юта оладиган жисмлар учун $\alpha_{\omega T} = 1$. Бундай жисм *абсолют қора жисм* деб аталади. Ихтиёрий жисмнинг чиқариш ва ютиш қобилияти уртасида аниқ боғланишмавжуд. Бунга куйидаги тажрибадан кейин ишонч хосил қилиш мумкин. Узгармас T температурада тутиб турилувчи берк қобик ичига бир нечта жисм киритилган булсин. Қобик ичидаги хаво суриб олинган, демак, жисмлар узаро ва қобик билан фақат электромагнит тулкинлар ни чиқариш ва ютиш билан энергия алмашилишлари мумкин.

Демак, жисмларнинг $r_{\omega, T}$ чиқариш қобилияти қанча катта булса, унинг ютиш қобилияти ҳам шунча катта булади. Бундан куйидаги муносабат келиб чиқади:

$$\left(\frac{r_{\omega, T}}{\alpha \omega T} \right)_1 = \left(\frac{r_{\omega, T}}{\alpha \omega, T} \right)_2 = \left(\frac{r_{\omega T}}{\alpha \omega T} \right) = \dots,$$

бунда 1,2,3 ва х.к. индекслар турли жисмларга тегишли. Кирхгоф куйидаги қонунни юқоридагилардан хулоса қилиб таърифлаган: чиқариш ва ютиш қобилиятларининг узаро нисбати жисмларнинг табиатига боғлиқ булмай, ҳамма жисмлар учун частота (тулқин узунлиги) ҳамда температуранинг бирдай (универсал) функцияси хисобланади:

$$\frac{r_{\omega, T}}{\alpha \omega T} = f(\omega, T) \quad /7/$$

Чиқариш қобилиятини билган ҳолда энергиявий ёритувчанликни хисоблаш мумкин:

$$R_{\omega} = \int_0^{\infty} dR_{\omega} = \int_0^{\infty} r_{\omega} d\omega \quad (8)$$

Нурланишни ω частота урнига λ тулкин узунлиги билан характерлаш мумкин. Спектр кисмига ($d\lambda$) тулкин узунлик интервали мос келади. Айнан бир сохани аникловчи $d\omega$ ва $d\lambda$ лар $\lambda = c/v = 2\pi c/\omega$ формуладан келиб чикувчи оддий муносабат билан боғланган. Дифференциаллаш:

$$d\lambda = -\frac{2\pi c}{\omega^2} d\omega = -\frac{\lambda^2}{2\pi c} d\omega \quad /9/$$

ни беради. Бу ерда минус ишора со ва λ катталиклардан бирининг ортиши билан иккинчисининг камайишини курсатади. Шунинг учун бу ишорани ёзмаса хам булади. Энергиявий ёритувчанликнинг $d\lambda$ интервалга тугри келувчи кисмини (1)га ухшатиб

$$dR_{\lambda} = r_{\lambda} \cdot d\lambda \quad /10/$$

куринишда ёзиш мумкин.

3-§. Стефан - Болцман конуни ва Вин конуни

$f(\omega_1 T)$ функциянинг куринишини назарий келтириб чиқариш учун булган жуда куп уринишлар узок вақт масаланинг умумий ечимини бера олмади. Стефан (1879) экспериментал натижаларни анализ қилиб, исталган жисмнинг R_{ω} энергиявий ёритувчанлиги абсолют температуранинг туртинчи даражасига пропорционал деган хулосага келди. Лекин кейинги аниқ, улчашлар унинг хулосасида хато борлигини курсатди. Больцман (1884) термодинамик мулохазаларга асосланиб, абсолют қора жиемнин!* энергиявий ёритувчанлиги учун қуйидаги ифодани назарий йул билан

$$R_{\omega} = \int_0^{\infty} f(\omega_1 T) d\omega = G \cdot T^4 \quad /1/$$

бу ерда G - узгармас катталик,

T - абсолют температура.

Шундай қилиб, Стефан абсолют қора жисмлар билан эксперимент утказмаган булса хам, унинг қора булмаган жисмлар учун қилган хулосаси, фақат абсолют қора жисмлар учунгина уринли булиб қикди.

Абсолют қора жисмнинг энергиявий ёритувчанлиги билан абсолют температура орасидаги (1) муносабат Стефан-Болцман конуни деб

аталган. G константани Стефан-Болцман доимийси деб аталади. Унинг тажрибавий киймати

$$G = 5.7 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}^4 \quad / 2 /$$

га тенг.

Вин (1893) термодинамикадан ташкари яна электромагнит назариядан ҳам фойдаланиб, *спектрал таксимот функцияси* куйидаги курунишга эга булишини курсатади:

$$f(\omega_1 T) = \omega^3 \cdot F\left(\frac{\omega}{T}\right) \quad / 3 /$$

Бу ерда F - частотанинг температурага нисбатининг номаълум функцияси. $\varphi(\lambda_1 T)$ функция учун куйидаги ифода хосил булади:

$$\varphi(\lambda_1 T) = \frac{2\pi \cdot c}{\lambda_2} \cdot \left(\frac{2\pi \cdot c}{\lambda}\right)^3 \cdot F\left(\frac{2\pi \cdot c}{\lambda T}\right) = \frac{1}{\lambda^5} \cdot \psi(\lambda_1 T) \quad / 4 /$$

бу ерда $\varphi(\lambda_1 T)$ λ T купайтманинг номаълум функцияси. (4) муносабат $\varphi(\lambda_1 T)$ функциянинг максимуми тугри келган λ_m тулкин узунлиги билан температура орасидаги боғланишни келтириб чиқаришга имкон беради. (4)ни λ га нисбатан дифференциаллаймиз:

$$\frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{1}{\lambda^5} \cdot T\psi'(\lambda T) - \frac{5}{\lambda^6} \cdot \psi(\lambda T) = \frac{1}{\lambda^6} [\lambda T\psi'(\lambda T) - 5\varphi(\lambda_1 T)] \quad / 5 /$$

Квадрат кавс ичидаги ифода бирор $\varphi(\lambda_1 T)$ функцияни беради. $\varphi(\lambda_1 T)$ функциянинг максимумига мос келган λ_m тулкин узунлиги учун (5) ифода нолга айланиши лозим:

$$\left(\frac{d\varphi}{d\lambda}\right)_{\lambda=\lambda_m} = \frac{1}{\lambda_m^6} \cdot \psi(\lambda_m T) = 0$$

Тажрибадан келиб чиқдики, $\lambda_m \neq \infty$, $\varphi(\lambda_m T) = 0$ шарт бажарилиши лозим. Охирги тенгламанинг $\lambda_m T$ номаълумга нисбатан ечими бирор сонни беради. Биз уни в харфи билан белгилаймиз.

Шундай килиб, Виннинг силжиш конуни деб аталувчи

$$T \cdot \lambda_m = c \quad / 6 /$$

муносабат хосил булади. Константа в нинг экспериментал киймати куйидагича:

$$\nu = 2,90 \cdot 10^7 \text{ } \overset{0}{A} \cdot \text{град} = 2,90 \cdot 10^3 \text{ мкград}$$

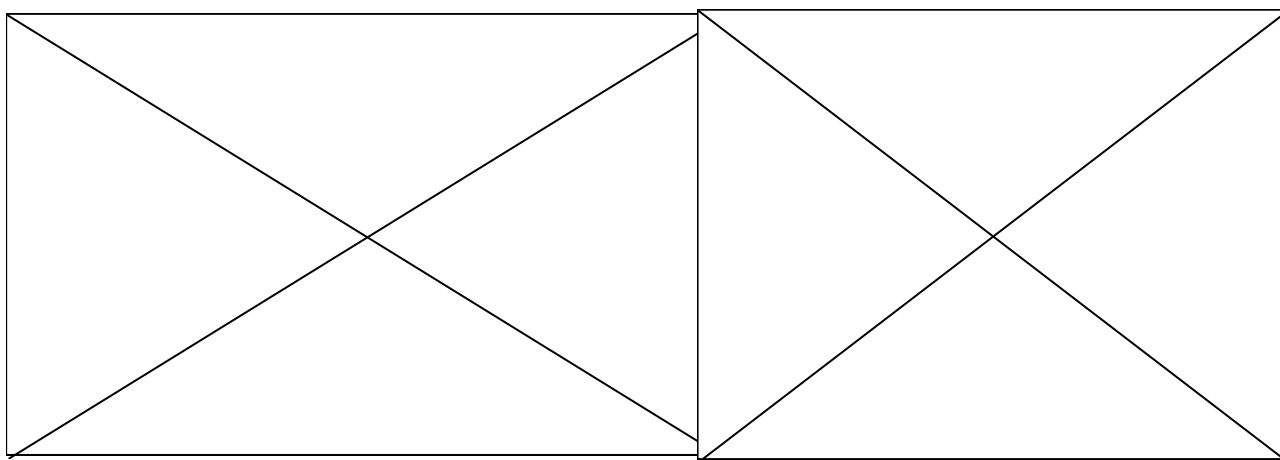
4-§. Фотоэффект

Фотоэффект конунлари ва назарияси

Фотоэффект ходисасини биринчи булиб 1887 йилда Г.Герц кузатган.

Фотэффект – ёруглик таъсирида жисмдан электроннинг ажралиб чиқишидир.

Фотоэффект буйича микдорий текширишларни рус физиги А.Г.Стлетов бажарди (1888-1889 йиллар). У куйидаги тажрибани утказди. Икки металл электроддан бири пластинка шаклида, иккинчиси эса турсимон шаклда ясалган булиб, улар гальванометр занжирга уланган. Курилма коронгиликка жойлаштирилганда занжир буйлаб электр токи кузатилмади. Лекин катод вазифасини утаётган пластинканинг ёритилиши биланок занжир- да ток пайдо булади. Анод вазифасини утаётган тур ёритилса, занжирда электр токи вужудга келмайди. Демак ёруглик таъсирида катод сиртидан манфий зарядли зарралар ажралиб чиқади ва улар анод томон харакатланиб, занжирда электр токини хосил килади. Бу токни фототок деб аталади(1-расм).



1-расм

2-расм

1898 йилда Леонард ва Томсон катоддан ажралиб чиқаётган зарраларнинг магнит майдонда огишига асосланиб, уларнинг солиштирма зарядини аниқладилар. Бу эса катоддан ажралаётган зарралар электронлардир, деган хулосага олиб келди. 2-расмда ёруглик оқими Φ_1 ва Φ_2 булган холлар учун фототокнинг анод ва катод орасидаги кучланишга боғликлигини ифодаловчи эгри чизиклар, яъни вольт-ампер характеристикалар тасвирланган. Расмдан куринишича, электр майдон тезланувчи характерга (К да -, А да +) эга булганда фототокнинг киймати кучланишга монанд равишда ортиб боради. Кучланишнинг бирор кийматидан бошлаб фототок узгармай қолади, яъни туйинади. Бошқача айтганда, фотоэлектронларнинг барчаси анодга етиб боради. Фототокнинг бу кийматини туйиниш токи деб аталади. Лекин фотокатодга

тушаётган ёруглик окими узгартирилса, туйиниш токинигн киймати хам узгаради.

Масалан, 2-расмда тасвирланган графикларда $I_{\Gamma_1} < I_{\Gamma_2}$ чунки $\Phi_1 < \Phi_2$. Бу тажрибалар фотозффектнинг биринчи конунини келтириб чикарди: муайян фотокатодга тушаётган ёругликнинг спектрал таркиби узгармас булса, фототокнинг туйиниш киймати ёруглик окимига тугри пропорционалдир. Агар электр майдон етарлича кучли булса, фотоэлектронлар анодга етиб бормасдан уз энергияларини сарфлаб куйади. Натижада занжирдаги фототок тухтаб колади. Бу холга мос келувчи тормозловчи кучланишнинг киймати $U_{\text{тухт.}}$ ни тухтатувчи кучланиш (баъзан тухтатувчи потенциал) деб аталади. Тажрибаларнинг курсатишича, тормозловчи майдон кучайтирилган сари фототок охиста камайиб боради ва $U=U_{\text{тухт.}}$ ва $I=0$ булиб колади. $U=U_{\text{тухт.}}$ булганда хатто, энг катта тезликка эга фотоэлектронларнинг кинетик энергияси хам тормозловчи майдон каршилигини енга олмайди. Бу чегаравий холдан фойдаланиб куйидаги муносабатни ёза

$$eU_{\text{мувж.}} = \frac{1}{2} m_e \cdot V_{\text{макс}}^2$$

оламиз: бунда e ва m_e мос равишда электроннинг заряди ва массаси, $V_{\text{макс}}$ фотоэлектрон тезлигининг максимал киймати. Тажриба натижасида фотозффектнинг иккинчи конуни юзага келди: муайян фотокатод-

дан ажралиб чикаётган фотоэлектронлар бошлангич тезликларининг максимал киймати ёруглик интенсивлигига боглик эмас. Ёруглик тулкин узунлиги узгарса, фотоэлектронларнинг тезликлари хам узгаради. 3-расмда $U_{\text{тухт.}}$ нинг киймати ва ёруглик частотаси орасида чизикли богланиш мавжуд. Частотанинг бирор ν_k кийматида фотоэлектронларнинг тезлиги нолга тенг булади. Частотанинг бу киймати чегара хисобланади. $\nu < \nu_k$ частотали ёруглик фотозффект ходисасини вужудга келтирмайди. Фотозффект кузатилиши учун частотали ёруглик таъсир этиши лозим. Чегаравий частотага мос

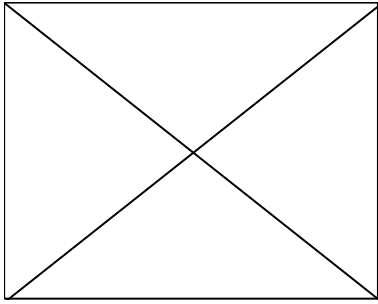
$$\lambda_k = \frac{c}{\nu_k}$$

булган ν_k тулкин узунлики фотозффектнинг “кизил чегараси” деб аташ одат булган. Фотозффектнинг учинчи конуни ана шу кизил чега- ра хакидаги хулосадир: хар бир фотокатод учун бирор “кизил чегара” мавжуд булиб, ундан каттарок тулкин

узунликли ёруглик таъсирида фотозффект вужудга келмайди. λ_k нинг киймати ёруглик интенсивлигига мутлако боглик эмас, у факат фотокатод материалининг химиявий табиига ва сиртининг холатига боглик. Нихоят тажрибаларда намоён буладиган яна бир факт мавжуд: ёругликнинг фотокатодга тушиши билан фотоэлектронларнинг хосил булиши орасида сезиларли вакт утмайди. Бу фотозффектнинг туртинчи конунидир. Баён этилган бу турт конун фотозффектнинг хусусиятларини тула характерлайди. 1905 йилда Эйнштейн ёругликнинг квант назариясини яратди. Ёруглик квантлар тарика- сида нурланибгина колмай, балки ёруглик энергиясининг таркалиши хам, ютилиши хам квантлашган булади. Эйнштейн фотозффектга энергининг сакланиш конунини куллади. Фотон билан элек- троннинг таъсирлашуви жараёнида фотоннинг энергияси электронга утади. Бошкача айтганда, таъсирлашувга кадар ёруглик кванти тарзида намоён булаётган энергия таъсирлашувдан сунг электроннинг энергиясига айланади. Агар бу энергия етарлича катта (яъни $h\nu > A_2$) булса, металлдан электрон ажралиб чикади. Энергиянинг колган кисми эса металлдан ташкарига чикиб олган электрон(яъни фотоэлектрон)нинг

$$h\nu = A_2 + \frac{m_e \cdot V_{\text{макс}}^2}{2}$$

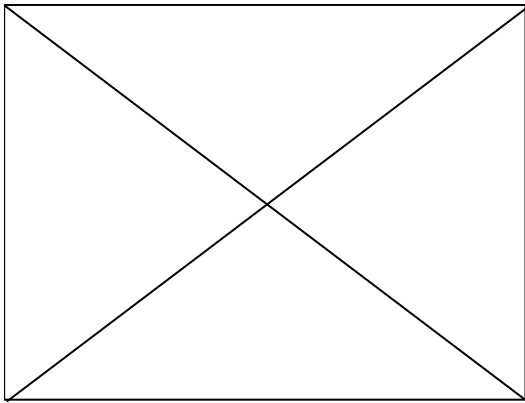
максимал кинетик энергияси сифатида намоён булади. Шунинг учун тенглама бажарилади. Бу ташки фотозффект учун Эйнштейн тенгламаси деб аталади.



3-расм.

5 - §. Комптон эффекти

1923 йилда [Комптон](#) рентген нурларининг турли моддаларда сочилишини урганиб, сочилган нурлар таркибида бирламчи тулкин узунлиги λ билан бир каторда, ундан катта λ' тулкин узунликка эга булган нурларнинг ҳам борлигини сезган. $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$ айирма λ га



4-расм.

хам, сочувчи модда табиатига ҳам боглик булмас экан. Тажриба йули билан куйидаги

конуният аникланган:
$$\Delta\lambda = \lambda_0 (1 - \cos\theta) = 2\lambda_0 \cdot \sin^2 \frac{\theta}{2},$$
 бу ерда θ - сочилган нурланиш

йуналиши билан бирламчи даста йуналиши орасида хосил булган бурчак, λ - узгармас катталиқ булиб, у $0,0242 \text{ \AA}$ га тенг. Комптон тажрибасининг схемаси 4-расмда курсатилган. Д диофрагмалар ёрдамида хосил килинган ингичка монохроматик рентген нурлар дастаси СМ сочувчи моддага каратиб йуналтирилган. Сочил-ган нурланишнинг спектрал таркиби K_p кристал ва УК ионизацион камерадан ташкил топган [рентген спектрограф](#) ёрдамида урнатилган.

Тест саволлари (1-5§)

Узлаштириш саволлари.

1. Нурланишнинг турлари нечта?
2. Иссиклик нурланишда кандай жараён хосил булади?
3. Кандай жисм абсолют кора жисм дейилади?
4. Кирхгоф конуни нима хакида?
5. Нурланиш функцияси кандай ифодаланади?
6. Абсолют кора жисмнинг нурланиши кандай ифодаланади?
7. Стефан-Больцман конуни кандай ифодаланади?
8. Энергиявий ёритувчанлик харорат билан кандай богланган?
10. Фотоэффект кандай ходиса?
11. Фотоэффект конунлари кандай ифодаланади?
- 12.. Фотоэффект учун Эйнштейн формуласи кандай ифодаланади?
13. Комптон эффекти бу кандай эффект?
14. Сочилган нур билан бирламчи нур орасида кандай фарк бор?

Иссиклик

Жисмларни киздирилган вақтда узидан нур таркатиш жараёнига исиклик нурланиши дейилади.

нурланиши

Инфракизил

Тулкин узунлиги кизил нурни тулкин узунлигидан катта булган нур булиб у кузгга куринмайди.

Фототок

Ёрихлик нури таъсирида моддалардан электронларни ажралиб чиқиши натижасида юзага келган электр токига фототок дейилади.

Солиштира

Электрон зарядни унинг массасига булган нисбатига солиштира заряд

заряд

дейилади.

Фотоэлектронлар

Ёрихлик нури таъсирида моддадан ажралиб чиккан электронларга фотоэлектронлар дейилади.

Чегаравий

частота

Фотоэффект ходисасини кузатиш мумкин булган энг кичик ёругликнинг частотасига чегаравий частота дейилади.

Кизил

чегара

Фотоэффект ходисасини кузатиш мумкин булган энг кичик w_0 частота ёки λ_0 тулкин узунлиги фотоэффектнинг кизил чегараси дейилади.

Комптон эффекти

Рентген нурлари моддалар тушган вақтда, шу моддаларнинг атомлари билан узаро таъсирлашиб нурлар сочилади ва иккиламчи нурланиш юзага келади. Бу ходисага комптон эффекти дейилади.

Рентген

спектрографияси

рентген нурларининг тулкин узунликларини аниқлайдиган курилмага рентген спектрографияси дейилади.