

22 - Маъруза  
**МИКРОЗАРРАЧАЛАРНИНГ ТЎЛҚИН ТАБИАТИ  
РЕЖА**

1. *Микрозаррачаларнинг тўлқин табиати.*
2. *Материянинг тўлқин табиати.*
3. *Зарра-тўлқин дуализми.*
4. *Де-Бройл формуласи.*
5. *Луи-Де-Бройл гипотезасининг атомларда қўлланилиши*
6. *Электронлар дифракцияси.*
7. *Лазер ҳақида тушунча.*

Бор назариясидан ҳам такоминроқ назарияни яратиш олимларни тўлқин техникаси билан боғлиқ ғояларга мурожат қилишга ундади. Бунинг асосий сабаби, нурланишнинг корпускуляр – тўлқин дуализмидир. Бизга маълумки, фотон тушунчаси киритилгандаёқ унинг энергияси ва частотаси орасидаги  $E = h\nu$  муносабат ёзилиб, фотон мавжүтлүтүтүни ўзи бевосита дуализм билан боғлиқлигига асос солинган эди. Агар фотон шундай хусусиятга эга экан, унда бошқа зарралар, жумладан, электрон ҳам шундай корпускуляр – тўлқин дуализми хусусиятига эга эмасми, деган савол туғилади.

Унинг фикрича, нафақат фотон, балки электрон ва бошқа зарралар ҳам корпускуляр хоссалар билан бир қаторда, тўлқин хоссаларга ҳам эгадирлар.

Элементар заррачалар тўғрисидаги дастлабки тасаввурларимиз классик механика ва электродинамик кузатишлар натижасидир, бироқ атом тузилишини ўрганиш бу тасаввурларнинг етарли эмаслигидан дарак беради. Француз олими Луи-де-Бройль (1923 й.) кўп йиллар давомида ёруғлик ходисаларни ўрганишда, унинг корпускуляр хусусиятларини эътибордан четда қолдирилгани каби, заррачаларнинг хоссаларини ўрганишда, тўлқин хусусиятларига назар қилмай, қайтадан хатога йўл қўймадикмикин? Корпускуляр-тўлқин дуализми нафақат ёруғлик фотонларигагина хос хусусият бўлмай, табиатдаги барча заррачалар (электрон, протон, нейтрон ва материянинг бошқа зарралари)га ҳам хос универсал хусусиятдир, деган ғояни илгари суради. Бу ғояга кўра, ҳар қандай микрообъектларга бир томондан тўлқинларга хос хусусият мос келса, иккинчи томондан корпускуляр хусусиятлар мос келади ва улар қўйидагича жадвалда кўрсатилган фундаментал катталиклар билан характерланади.

**Корпускулалар**

$$\text{Энергияси: } E = hv = \frac{P^2}{2m}$$

$$\text{Импульси: } P = \frac{hv}{c} = k\hbar$$

Массаси:

$$m = \frac{hv}{c^2} = \frac{\hbar\omega}{c^2}$$

**Тўлқинлар**

$$\text{Частотаси: } \nu = \frac{E}{h} = \frac{mc^2}{h}$$

$$\text{Тўлқин узунлиги: } \lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{2\pi\hbar}{P}$$

$$\text{Тўлқин сони: } k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Микрообъектларнинг бу икки корпускуляр-тўлқин хоссалари орасидаги микдорий муносабатларни куйидагича ифодалаш мумкин:

$$\lambda = \frac{h}{P}$$

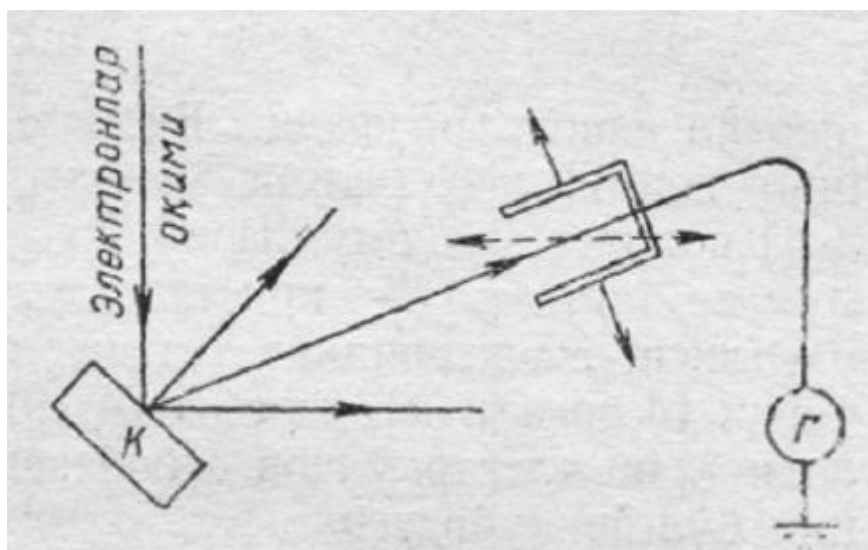
$\lambda$  - де-Бройль тўлқин узунлиги деб юритилади. Тинч холатда массага эга бўлган, тезлиги ёруғлик тезлигидан кичик заррачалар учун де – Бройль тўлқин узунлиги:

$$\lambda = \frac{h}{m\vartheta}$$

Шуни алоҳида қайд қиламизки, де-Бройль гипотезаси бутун сон марта квантлашган электрон орбиталаригина стационар бўлади деб Бор назариясини асослаб берди.

$$\left. \begin{aligned} 2\pi r &= n\lambda_0 = n \frac{h}{m\vartheta} \\ m\vartheta r &= n \frac{h}{2\pi} = n\hbar \end{aligned} \right\}$$

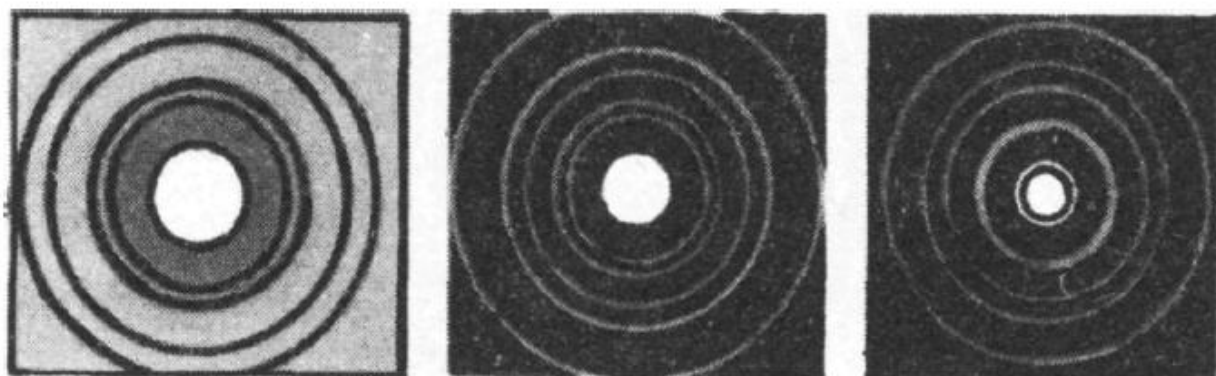
Кўп ўтмай Джермер ва Дэвиссон (1927й.) никелнинг табиий кристаллидан сочилган электронларнинг дифракциясини кузатишга мувофиқ бўлдилар. Моноэнергетик электронлар оқими структураси олдиндан яхши ўрганилган никель кристаллига тушади. (9.1 –расм) Ҳар хил бурчак остида дифракцияланган электронлар махсус сезгир гальванометр орқали қайд қилинади.



Энергияси  $eU$ -бўлган майдонда тезлатилган электронлар учун де-Бройль тўлқин узунлиги

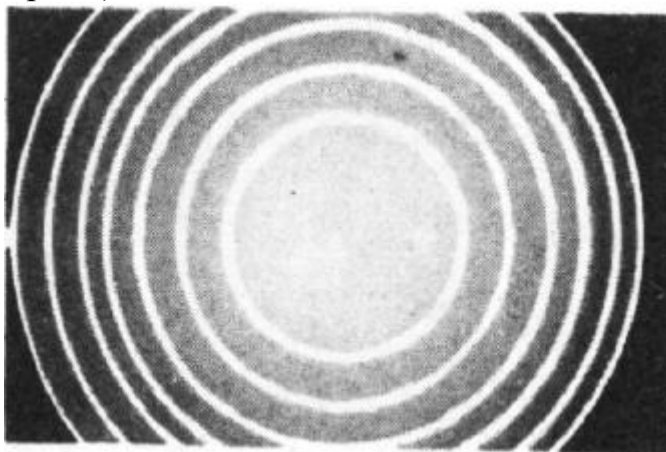
$$\lambda_D = \frac{h}{m\vartheta} = \frac{h}{m\sqrt{2\left(\frac{e}{m}\right)U}} = \frac{U}{\sqrt{2meU}} = \frac{12.25}{\sqrt{U}} \text{ \AA}$$

Потенциаллар айирмаси 54 В бўлганда де-Бройль тўлқин узунлиги  $\Delta\lambda$ , дифракцион тах шартига кўра, Вульф-Брег формуласидан олинган натижалар билан мос тушиб, де-Бройль гипотезасини ниҳоятда тўғри эканлигини тажрибада тасдиқланади. Джермер ва Дэвиссон сўнг, Тартаковский, Томсонлар электронларнинг қалинлиги 10-5 см бўлган ҳар хил металллардан сочилишини Дебай-Шеррер усули билан кузатдилар. Рентген нурларининг алюминий пластинкадан (9.2а-расм), электронларнинг олтин (9.2б-расм) ва мис (9.2в-расм) пластинкалардан ўтганда дифракцион манзара тасвирланган.



Фабрикант, Биверман ва Сушкинлар (1949й.) қурилма орқали кетма-кет ўтган электронларнинг дифракция ҳодисасини кузатдилар. Узоқ экспозиция давомида олинган дифракцион манзара бошқа йўллар билан олинган (фотон,

электронлар оқими ва хоказолар орқали) дифракцион манзаралардан мутлоқа фарқ қилмайди. (9.3 – расм)



Бу эса тўлқин хусусият ҳар бир электронга хос эканлигидан дарак беради. Штерн ва унинг сафдошлари атом-молекулалар ҳам дифракция ҳодисасини вужудга келтиришини аниқладилар. Юқоридагилардан келиб чиқиб, моддаларни ташкил этган заррачалар, қарама-қарши (корпускуляр тўлқин) жиҳатларни умумлаштирган диалектик бирлик деган тўхтамга келамиз.

### *Материянинг тўлқин табиати*

1923 йилда Луи-де-Бройл бизнинг корпускуляр-тўлқин дализми ҳақидаги тушунчамизни кенгайтирди. Де-Бройл гипотезасига қараганда барча нарса симметрик, ёруғлик бир томондан тўлқин кўринишда, бошқа томондан заррача кўринишга эга. Моддий заррачанинг импульси ва де-Бройл тўлқин узунлиги орасидаги боғланиш қуйидагича:  $p = \frac{h}{\lambda}$ . Бошқача айтганда тўлқин узунлиги  $\lambda$  заррача массаси  $m$  ва тезлиги  $v$  орасидаги боғланиш  $\lambda = \frac{h}{mv}$ . Бунда тўлқин узунлиги  $\lambda$  -де-Бройл тўлқин узунлиги дейилади.



27-12 расм. Алюминий пластинкадан ўтказилган электронлар оқими ҳосил қилган дифракцион манзара

Бу фавқулодда кичик тўлқин узунлиги. Деярли жуда кичик тезликда  $v=10^{-4}$  м/с тезликда де-Бройл тўлқин узунлиги  $10^{-29}$  м. Де-Бройл тўлқин узунлигини ниҳоятда кичик зарралар учун аниқлаш ва ўлчаш мумкин.

Бундай тўлқин узунлигида интенференция, дифракция кузатилиши учун жисм ўлчами тўлқин узунлиги каби бўлиши керак. Агар тўлқин узунлик  $10^{-30}$  м дан кичик бўлса жисм ёки тирқиш ноаниқликка олиб келади, шунинг учун оддий жисмларнинг тўлқин табиатини аниқлаб бўлмайди.

Агар элементар заррача электрон ҳақида гапирилатган бўлса, унинг де-Бройл тўлқин узунлиги тахминан  $10^{-10}$  м атрофида бўлади. Кристалдаги атомлар орасидаги ўртача масофа ҳам  $10^{-10}$  м атрофида бўлганлиги сабабли роентген нурланиши учун бу Кристал дифракцион панжара вазифасини бажара олади. Бу тажрибани К.Девиссон ва Л. Жермерлар амалга оширган. Шу йилларда Ж.П.Томсон бошқа тажрибадан фойдаланиб электронлар дифракциясини аниқлади. Худди шундай кейинги ўтказилган тажрибаларда протонлар, нейтронлар ва бошқа заррачаларнинг тўлқин хусусиятига эга эканлиги намоён бўлди.

Шундай қилиб ёруғликнинг корпускуляр-тўлқин дуализми фақат ёруғлик учун эмас моддий жисмлар учун ҳам ўринли. Материя таркиби, шу билан бирга электронлар корпускуляр ва тўлқин кўринишга эга. Корпускуляр-тўлқин дуализми очикча мамоёб бўлмайди.

Қуйидагича савол туғилади: “Электрон нима?” Ж. Ж. Томсон томонидан ўтказилган тажрибада зарраларнинг магнит майдон таъсирида оғиши кузатилган. Бу тажрибадан олиган натижаларни таҳлил қилган ҳолда уларнинг манфий зарядли зарралар экани аниқланди ва уларга электрон деб ном берилди. Ҳеч ким электронни тўғридан-тўғри кўрган эмас. Фақат расмда электронларни манфий зарядли шарча сифатида қаралади. Электронлар корпускуляр ва тўлқин характерга эга шунинг учун электронлар тўлқин ва зарра хусусиятларини намоён қилади ва ўтказилган тажриба натижаларига қараб таркиби ҳақида гапириш мумкин. Бертран Рассел фикрича электрон бу мантикий конструкциядир.

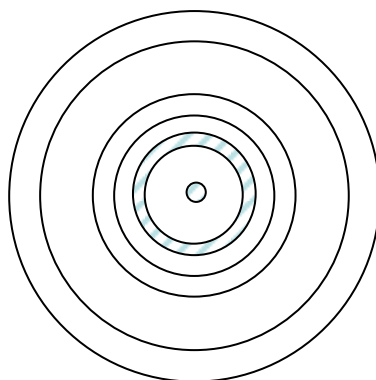
1923 йилда Француз физиги Луи де – Бройл ёрулик билан модда ўртасида чуқур аналогия борлиги ҳақида фикр билдирди. Бу фикр бўйича ёруликка ўхшаб, модда ҳам ҳам тўлқин ҳам корпускуляр табиатига эга бўлиш керак. Хусусий ҳолда, массаси  $m$  бўлган ва  $v$  тезлик билан ҳаракатланаётган микрозаррачага тўлқин деб қараш мумкин ва бу тўлқиннинг узунлиги тенг;

$$\lambda = \frac{h}{mv} \quad (16.1).$$

Бу ерда  $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$  Ж  $\cdot$  с - Планк доимийси, (16.1) формула де – Бройл формуласи деб аталади.

Де – Бройлнинг бу гипотезаси 1927 йилда Девиссон ва Джермер тажрибасида исботини топди. Улар никел монокристалдан қайтган электронлар оқимининг дифракциясини топдилар. Кейнроқ электронларнинг дифракцияси уларнинг метал фольгаларидан ўтишида кузатилди. (16.1-расмга қаранг).

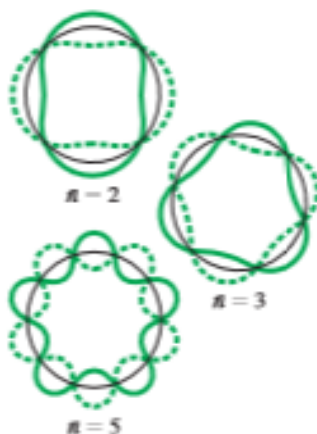
Расмда  $NaCl$  кристалидан ўтаётган электронларнинг дифракцияси келтирилган.



16.1-расм

### *Луи-Де-Бройл гипотезасининг атомларда қўлланилиши*

Бор назарияси табиатда катта аҳамиятга эга. бор назарияси яратилгандан сунг 10 йил ўтгач де-бройл унинг асосларини кашф қилди. олдинги бўлимларда таъкидланганидек, де-бройл заррачаларнинг табиатда тўлқин хусусиятларини ҳам ҳамойиш қилишини тушинтирди ва бу тажриба натижаларига асосан мақуланган.



27-31 расм. Айланада икки, уч ва беш тўлқинлар жойлашган. Бу ерда n-квант сонлар.

Электронларнинг тўлқин табиати бодорд атоми учун бор назариясини тушинтириш имконини берди.

луи-де-Бройл заррача массаси  $m$  ҳаракат тезлиги  $v$  бўлса унинг тўлқин узунлиги учун қуйидаги формулани ёзиш мумкин:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

Де-Бройл ҳисоблашича атомдаги ҳар бир элестрон кўндаланг тўлқин ҳосил қилади. 15-бобда кўрсатилгандек скрипка ёки гитарани чалганда ҳар хил тўлқин узунлигидаги тўлқинлар ҳосил бўлади. бу тўлқинлар тугуни охирида сўнмайди, улар ўзини гармоник резонанслар каби намойиш этади. барча қолган тўлқинлар бир-бири билан интерференцияланади, амплитудаси кескин камаяди. Электронлар бор назарияси бўйича айлана бўйлаб ҳаракатланади, де-бройл назариясига кўра айланма кўндаланг тўлқин сифатида ҳаракатланади. агар тўлқин ёпиқ келса интенференсия натижасида



тўлқин тезда сўнади. орбитадаги тўлқин узунликлар бутун сондаги қийматларни қабул қилади. айланма бор орбитаси радиуси  $r_n$  бўлса айлана узунлиги  $2\pi r_n$  бўлади.

$$2\pi r_n = n\lambda, n = 1, 2, 3, \dots$$

$$\lambda = h / m\vartheta \text{ ни ўрнига қўйсак, } 2\pi r_n = \frac{nh}{m\vartheta},$$

ёки

$$m\vartheta r_n = \frac{nh}{2\pi}.$$

Асосан бу шарт энергия ва орбитанинг дискрет қийматларини қабул қилишини англатади. де-бройл гипотезаси бор моделида орбита ва ҳолатни квантланганлигини тушинтиради.

Бошқа томондан электронлар тўқин табиатда фақат резонанслашган кўндаланг тўлқин сифатида намоён бўлади.

демак, корпускуляр-тўлқин дуализми атом тузилишини яққол тасаввур этишда муҳим аҳамиятга эга.

Бор моделига кўра электрон айланма орбита бўйлаб ҳаракатланади. бошқа томондан, заррача айланма ҳаракатида амплитудали айланма тўлқин ҳосил қилади.

Водород ва бир электронли ион учун тажриба хулосасига кўра бор назарияси яхши тушинтирилади. кўпелектронли атомлар учун бу назария мубаффақиятли эмас. бу муаммони ҳал қилишни кейинг бода кўриб чиқамиз. кейинги бобда элестрон қобиқ ҳақида сўз юритилади. бу янги назария- квант механикаси деб номланиб фундаментал механизмлари, асосий физик жараёнлар кўриб ўтилади.

Квант механикасининг бошланишида квант гипотезаси, молекуляр тўлқинларнинг квантланиши қисқа  $E = h\nu$  қисқа бутун сон бўлиши билан изоҳланади:  $E = nh\nu$  (н-бутун сон). бу гипотеза интенсивлик тақсимланиши, юқори температураларда қора жисм нурланиш спектрини тушинтиради.

Эйнштейн шундай ҳисоблайди: заррачаларнинг квант ёруғлик чиқариши ва ютилиши фотонлар деб аталади ва унинг энергияси  $E = h\nu$  га тенг.

Эйнштейн ёруғликнинг фотон (корпускуляр) назариясини тажриба юли билан исботлаб фотоеффект ҳодисасини кашф этди. фотон назарияси шуни тасдиқлайдики, ҳар бир фотон етарлича энергияга эга ва улар моддадан электронларни уриб чиқаради. учиб чиққан электронларнинг максимал кинетик энергияси тушаётган ёруғлик частотасига чизиқли боғланган. ёруғликнинг фотон назарияси комптон эффектини исботлайди ва элестрон-позитрон жифтлигини туғилишини ҳам тушинтиради.

Корпускуляр-тўлқин дуализмидан шуни англаш мумкинки, ёруғлик ва модда ҳам тўлқин ҳам заррача хусусиятларини намоён қилади. моддий жисм тўлқин узунлиги  $\lambda = \frac{h}{m\vartheta}$ , бу ерда  $m\vartheta$  – жисм импульсе дейилади. қўшилиш принципи тасдиқлайдики, ёруғлик табиатини тўлиқ анланса, материя тўлқин ва корпускуляр кўринишни бирга қабул қилади.

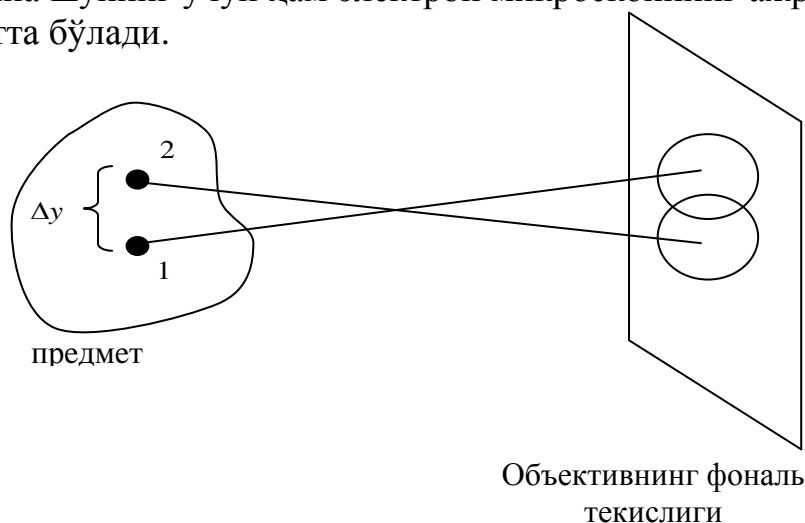
Авваламбор атомнинг томсон модели, сўнгра резерфорднинг планетар модели кашф қилинди. резерфорд тажрибасида алфа зарраларнинг олтин атомининг мусбат зарядли ядросиқа тўқнишуви натижасида тескари томонга оғиши кузатилгандан сўнг зарядланган ядро атрофида манфий ишорали зарядланган электронлар айланма орбита бўйлаб ҳаракатланиши маълум бўлди.

Атомнинг чизикли спектрини, атомнинг бор моделини тушинтириш учун постулатлар ишлаб чиқилди. 1) электронлар квантланган импульс моменти билан фақат аниқ орбитада ҳаракат қилиши мумкин. 2) электрон стационар ҳолатда нур чиқармайди. 3) электрон нурлаган фотон энергияси бошланғич ва охириги ҳолатдаги энергиялар фарқига тенг. 4) электроннинг импульс моменти  $L = nh/2\pi$  га тенг, бу ерда  $n$ -бутун сон бўлиб квант сони дейилади. де-Бройл гипотезаси кўра квантланган бор орбитаси корпускуляр-тўлқин дуализмига асосланади.

Дифракция тўлқин жараёнларига тегишли хосса бўлганлиги сабабли, биз айтишимиз мумкинки, демак табиғатда электромагнит тўлқинлари билан бир қаторда электрон тўлқинлари ҳам бор экан. Улар кристалларда, рентген нурлари каби дифракция берадилар. Шуниси диққатга сазоворки, рентген нурларининг дифракция учун чиқарилган Вулф-Брегг формуласи электронлар дифракцияси учун ҳам ишлар экан: дифракцион манзарага асосланиб Вулф – Брегг формуласидан топилган электрон тўлқиннинг узунлиги Де – Бройл формуласидан топилган тўлқин узунлигига тенг бўлиб чиқди. (16.1) формуладан электрон микроскопида ишлатиладиган электронларнинг тўлқин узунлигини топамиз. Бундай электронларнинг тезлиги тахминан 140000 км/с бўлади электроннинг массаси  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ .

$$\text{У ҳолда: } \lambda = \frac{h}{m\nu} = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \text{ ж} \cdot \text{сек}}{9,1 \cdot 10^{-34} \text{ кг} \cdot 1,4 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{сек}}} \approx 5 \cdot 10^{-6} \text{ мкм}$$

Демак, электрон микроскопдаги электрон тўлқин узунлиги оптик микроскопдаги ёрулик тўлқин узунлигидан ( 0,5 мкм) 100000 марта кичик экан. Анна шунинг учун ҳам электрон микроскопнинг ажрата олиш қобилияти жуда катта бўлади.



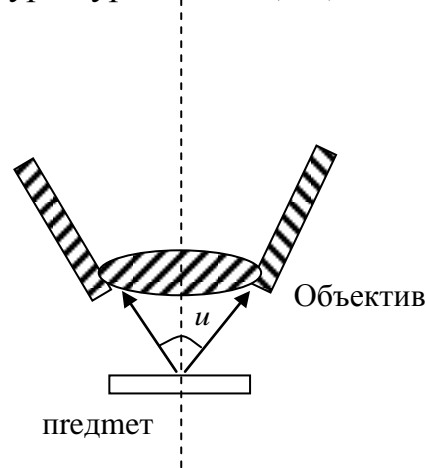
16.2-расм



Бир – бирдан алоҳида – алоҳида бўлиб кўринадиган икки нукта орасидаги минимал масофа  $\Delta y$  ажрата олинadиган масофа деб аталади. Оптик приборнинг ажратаолишиш қобилияти деб  $R=1/\Delta y$  қийматга айтилади. Микроскоп учун;

$$\Delta y = 0,61 \frac{\lambda}{n \sin \frac{u}{2}} \quad (16.2)$$

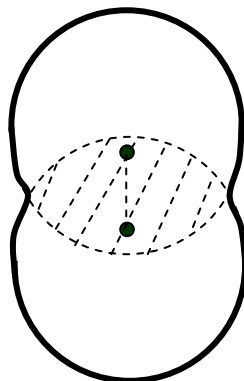
бу ерда  $n$  предмет ва объектив ўртасидаги муҳит синдириш кўрсаткичи,  $\lambda$  - тўлқин узунлиги,  $u$ - опертура бурчаги,  $\sin(u/2)$  - сонли опертура деб аталади.



16.3-расм

Ҳар қандай оптик асбобнинг кириш тешиги объектив бўлади. Ана шу тешикдан предметдан келаётган тўлқин ўтганда дифракция ҳодисаси юз беради ва предметнинг ҳар бир нуктаси нукта бўлиб эмас, ёритилган диск ва унинг атрофида ёру ва қорону ҳалқалардан иборат манзара бўлиб кўрилади. Агар кузатилаётган нукталар бир – бирига яқин бўлса, уларнинг дифракцион манзаралари (тасвирлари) (объективнинг фокал текислигида) бир – бирининг устига тушиши мумкин (16.2 расмга қаранг)

Предметнинг 1 ва 2 нукталари қачон бир – бирдан ажраган ҳолда кўрилади? Бунинг учун уларнинг дифракцион тасвирларидаги ёру дисклари бир – бирларининг устига чиққан жойларининг размери диск радиусининг ўлчамларидан катта бўлиши мумкин эмас. Агар дискларнинг бир – бирини қоплаган жойларининг ўлчами диск радиусидан катта бўлиб қолса, у ҳолда микроскопда бу икки нукта бир – бирдан ажратилмайди, биз уларни битта яхлит нуктта сифатида кўрамиз (16.4 расмга қаранг).



## Расм 16.4

Электрон микроскопда сонли опертура кичик бўлади у тахминан 0,05 га тенг. (16.2) формуладан фойдаланиб энди электрон микроскоп учун ажратиладиган масофа  $\Delta y$  ни топамиз:

$$\Delta y = 0,61 \frac{\lambda}{n \sin \frac{u}{2}} = 0,61 \frac{5 \cdot 10^{-12} m}{0,05} \approx 6 \cdot 10^{-11} m = 6 \cdot 10^{-9} sm = 6 \text{ \AA}$$

(оптик микроскоп учун  $\Delta y \cong 3000 \text{ \AA}$ ).

Биламизки атомнинг размери  $1 \div 1,6 \text{ \AA}$  атрофида, демак электрон микроскопда атом ва молекулаларни алоҳида – алоҳида қилиб кўрсатиш мумкин. Умуман олганда де – Бройл тўлқинлари ҳар қандай микро ва макрозаррачаларга тегишлидир. Лекин, агар жисмнинг массаси катта бўлса, бу тўлқинларнинг узунлиги шу қадар кичик бўладики, уларни ҳатто сезиб ҳам бўлмайди. Масалан, массаси  $m = 9 \text{ г}$  ва тезлиги  $v = 400 \frac{m}{s}$  бўлган ўқнинг де – Бройл тўлқинининг узунлиги баробар бўлади.

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6,625 \cdot 10^{-34}}{9 \cdot 4 \cdot 10^{-1}} \approx 2 \cdot 10^{-34} m$$

Бундай тўлқин узунлигини табиатда ҳеч қандай асбоб билан ўлчаб бўлмайди, ўқ эса ўзининг тўлқин ҳоссасини ҳеч қандай намоён қилаолмайди.

## ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯСИ

**Кириш.** Лазер – Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – (усиления света в результате вынужденного излучения) – Мажбурий нурланиш туфайли ёруғликнинг кучайиши – Олтин квант генератори.

Ёруғликнинг кучайиш ғалаёнини А.Эйнштейн башорат қилган. Ёруғликнинг ўша пайтларида маълум бўлган ютилиш ва ўз-ўзидан нурланиш жараёнларидан ташқари яна резонанс квантлар чиқариш жараёни ҳам бўлиши кераклигини ва бу ёруғлик квантлари қўғолон атом ёки молекула билан таъсирлашиб, ўзига мос квантли ёруғлик ҳосил қилиши мумкинлигини айтган ва шу туфайли ёруғлик квантлари қўғолон атоми ёки молекула билан таъсирлашиб, ўзига мос квантли ёруғлик ҳосил қилиши мумкинлигини айтган ва шу туфайли ёруғлик кучайишини ҳисоблаб чиққан.

### Квант системаларда ёруғликнинг ютилиши ва чиқарилиши.

Ёруғликнинг тўлқин табиатидан маълумки, у маълум бир частота  $\nu$  ва тўлқин узунлиги билан таърифланади.

$$\lambda = c/\nu \quad (1)$$

c- ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги.

Электромагнит тўлқинлар частотаси кенг диапазонда бўлгани учун, уни одатда бир неча соҳаларга бўлинади.



**1-расм. Электромагнит тебранишларни частота ва тўлқин узунликларининг спектрлари. З-товуш частотаси, ВЧ- юқори частоталар, СВЧ- ўта юқори частоталар, ИК- спектрни инфрақизил оралиғи, В- кўринадиган бўлими, УФ- ультрабинафшали спектр, Р- рентген нурланиши, γ-квантлар.**

Электромагнит тўлқинларнинг энергетик характеристикаси – уларнинг электромагнит энергиясининг хажмий зичлиги ҳисобланади.

$$\tilde{\rho} = \int \rho_v dv = \frac{(E^2 + H^2)}{8\pi} \quad (2)$$

$\rho_v$  – частотавий нурланишнинг хажмий зичлиги Дж/(см<sup>3</sup>Гц).

E ва H-тўлқиннинг электрик ва магнит майдонларининг ўрта квадратик кучланганлиги.

Электромагнит тўлқинларнинг модда таъсири унинг интенсивлиги  $I$  билан белгиланади. Электромагнит майдон ва  $I$  ўзаро қуйидагича боғланишга эга

$$E = \sqrt{\frac{4\pi I}{\varepsilon}} = \alpha_0 \sqrt{I} \quad (3)$$

Одатда ёруғлик квант энергиясини  $U=h\nu$  кўринишида белгилаш кулайроқ. Н- Планк доимийси  $6,6 \cdot 10^{-19}$  Дж. Бундай белгилашлар туфайли монохроматик ёруғлик интенсивлиги

$$I = h\nu n_p c \quad (4)$$

$n_p$ -фотонлар зичлиги. У холда спектрал зичлик

$$\rho_v = 8\pi\nu^2 kT / c^3 \quad (5).$$

Тажрибаларда бу ифода  $h\nu \ll kT$  ( $k=1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/к;  $T=300$ к) бўлгандагина

тўғри бўлишини кўрсатди ( $\nu$ -жуда кичик)  $\rho_v = \frac{8\pi\nu^2}{c^2} \cdot \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$  (6) формула эса

барча  $\nu$  ёки  $\lambda$  ларда тажриба натижаларини жуда тўғри ифода этар экан (Планк формуласи).

А.Эйнштейн 1916 йили шу формулани квант тасаввурлар асосида исботлаш учун квант системаларда бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўтишда одатдаги ўз-ўзидан ва нурланишсиз ўтишлардан ташқари мажбурий

нурланишли ўтишлар бўлиши кераклигини айтди. Квант системаларда электромагнит тўлқинлари таъсирида мажбурий ўтишлар ҳам бўлиши мумкин.

### Инверс тўлдирилган муҳитлар ҳосил қилиш.

Лазерларда фотонлар ютилиш туфайли йўқолиши ва мажбурий нурланишда пайдо бўлишини ифодаловчи тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\frac{dn_p}{dt} = c \frac{dn_p}{dx} = \sigma_2 c N_2 n_p - \sigma_{12} c N_1 n_p \quad (3.1)$$

$N_1$  ва  $N_2$  -  $\varepsilon_1$  ва  $\varepsilon_2$  ҳолатлардаги заррачалар зичлиги. Аввалгиларни ҳисобга олиб

$$\frac{dn_p}{dt} = \sigma_2 (N_2 g_1 - N_1 g_1) n_p = k n_p \quad (3.2)$$

кўринишида ёзиш мумкин. Бундаги

$$K = \sigma_2 (N_2 g_1 - N_1 g_1) \quad (3.3)$$

актив муҳит коэффиценти дейилади.

$n_p \sim I$  бшлгани учун

$$\frac{dI}{dx} = \sigma_0 k I \quad (3.4)$$

деб олиш мумкин.

$k > 0$  бўлса муҳитда барча ёруғлик кучаяди.

$k < 0$  бўлса яъни  $N_2 g_1 - N_1 g_1$  да ёруғлик сусаяди.

Демак, ёруғликнинг кучайиши фақат  $N$  муҳитдаги энергетик сатҳларда термодинамик мувозанат бўлмаган, юқоридаги сатҳ пастдагига нисбатан кўпроқ тўлдирилган бўлганда вужудга келади. Бундай муҳит инверсион тўлдирилган муҳит дейилади.

**Оптик усулда** – ёруғлик ёрдамида ишчи қисмида оптик заррачалар юқориги сатҳга чиқарилади.

**Газоразряд усулида** – газ разряди ёрдамида заррачалар фаоллиштирилади ва улар бошқа заррачалар билан тўқнашиб инверс муҳит ҳосил қилади.

**Газодинамик усул** – юқориги ва пастки энергетик сатҳларнинг релаксация вақтлари ҳар хил бўлганда, қиздирилган жисм кескин кенгайтирилганда тўлдирилиш фарқи юзага келади.

Кимёвий усулда инверс ҳолат номувозанатий кимёвий реакциялар туфайли вужудга келади.

**Квант кучайтиргичлар** Мажбурий ўтишлар, бошқача қилиб айтганда электромагнит тўлқинларни кучайтириш демакдир. Лазерларни актив қисми бу асосан ёруғликни кучайтиргич бўлиб, ишлаш принципи электрон

кучайтиргичга ўхшашдир. Бу кучайтириш асосан тўлқинни резонанс муҳитдан ўтганда юз беради. Муҳитни кучайтириш коэффиценти  $0K_{\text{ва}}$  бошланғич интенсивлик  $I_0$  деб олсак,  $x$  масофани ўтишидаги

$$\frac{dI}{dx} = K(x)I(x) \quad (3.27)$$

$I$  ни ортиши билан  $K$  ни ўзгаришини ҳисобга олган ҳолда

$$\left(1 + \frac{I}{I_0}\right) = K_0 dx \quad (3.28)$$

$x=0$  да  $I = I_0$  бўлган ҳолат учун интегралласак

$$\ln\left(\frac{I}{I_0}\right) + \left(\frac{I}{I_s}\right) - \left(\frac{I_0}{I_s}\right) = K_0 x \quad (3.29)$$

бу тегламани  $\left(\frac{I}{I_0}\right)$  ни ҳар хил қийматлари учун расмда келтирилган. Бундан

кўринишича

$I \ll I_0, I_0 \ll I_s$  ва мажбурий кучланиш заррачалар нисбатига сезиларли таъсир этмаётганда бу боғланиш экспотенциал характерга эга

$$I(x) = I_0 \exp K_0 x \quad (3.30)$$

Мажбурий ўтишлар эҳтимоллиги ( $\infty I_s$ ) ни активлашган сатҳни синдириш эҳтимоллиги ( $\infty I_s$ ) га нисбати билан белгилашувчи когерент нурланиш самарадорлиги бу ҳолда катта эмас.  $\left(\frac{I}{I_s}\right)$  ни ортириш билан мажбурий

нурланиш орта боради ва  $I \gg I_s$  да кўзғатиш энергияси ( $\sim I/(I+I_s)$ ) тўласи билан нурланиш энергиясига айланади.

**Оптик квант генераторлар (лазерлар)** Квант кучайтиргичдан фаркли равишда квант генераторлари нурланиш манбалари ҳам ҳисобланади. Оптик квант генераторлар индустирланган квант ўтишлари мавжудлиги натижасида ҳосил бўлган электромагнит тебранишларни кучайтирувчи мусбат қайта боғланишли ўз-ўзидан тебраниш тўлқинлари ҳосил қилувчи система (ёки лазер) ҳисобланади. Генерация учун зарур бўлган қайта боғланиш лазернинг актив муҳитини шу муҳит хусусиятларига мос ҳолдаги электромагнит тўлқинлар ҳосил қилувчи ҳақиқий резонаторга жойлаштириш йўли билан ташкил этилади. У ҳолда резонатордаги ички йўқотишлар  $\chi \approx 2L_a \beta_0$

Бу системада тебранишлар ҳосил қилиш манбайи актив муҳитдаги заррачаларнинг кўзғалиши туфайли ўз-ўзидан нурланиш ҳисобига бўлади. Ҳосил бўлган квантлар актив муҳитда ўзига ўхшаган мажбурий электромагнит тебраниш квантларини вужудга келтиради. Резонатор чегараларидан қайтган нурлар бошқа мажбурий ўтишлар ҳосил қилиб квантларни кўпайишига олиб келади.

**Қаттиқ жисмлар асосидаги лазерлар.** Қаттиқ жисмлар лазерларда электроактив киришма атомлари мавжуд бўлса, уларни ионлари энергетик

сатҳларини ёруғлик (оптик) нурлари ёрдамида инверс тўлдириш ҳосил қилинади. Қаттиқ жисмларда ўтиш элементлари ва нодир ер атомлари киришма атомларининг тўлмаган ички электрон қобикларининг бўлиши ва уларни энг сиртки электрон қобиғи билан экранланган ҳолда бўлиши бу номларни инверс тўлдиришни осонлаштиради. Бундай лазерлар самарали ишлаши учун улар:

- Катта кучайтириш коэффициентига эга бўлиши;
- Оптик жихатдан бир жинсли;
- Механик мустаҳкам ва иссиқликка чидамли;
- Технологик ишловларга қулай;
- Оптик нурлаштиришга мойил;
- Катта ўлчамли актив қисмлар тайёрлаш имконига эга;
- Иссиқлик ўтказувчанлиги юқори бўлиши керак.

Бу талабларга жавоб берувчи актив элементлар сони чекланган бўлгани учун қаттиқ жисмли лазерлар турлари ҳам чекланган. Амалда кўпроқ рубин, ойна ва иттрий -амоминийли гранатдан ясалган лазерлар ишлатилади.

**Яримўтказгичли лазерлар.** Яримўтказгичли асосидаги лазерларда нурланиш электрон ва ковакларнинг рекомбинацияси туфайли юз беради. Бунинг учун яримўтказгич модда тақикланган соҳасида энергия сатҳлари ҳосил қилиш керак. Бу сатҳларни инверс тўлдириш учун куйидаги усуллардан фойдаланилади.

1.  $p-n$  ўтишни тўғри йўналишда улаб ток ташувчиларни (киритиш) қилиш;
2. Яримўтказгични кучли когерент электронлар дастаси билан нурлантириш орқали кўзғотиш;
3. Ярим тўказгични кучли когерент электромагнит ёруғлик квантлари билан кўзғотиш ~ оптик дамлаш;
4. Кучли электр майдони эффектидан фойдаланиб кўплаб ток ташувчиларни (лавинный) кўзғотиш ёки туннел ўтиш ҳосил қилиш; Амалда кўпроқ инжекция усулидан фойдаланишади.

### **ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР**

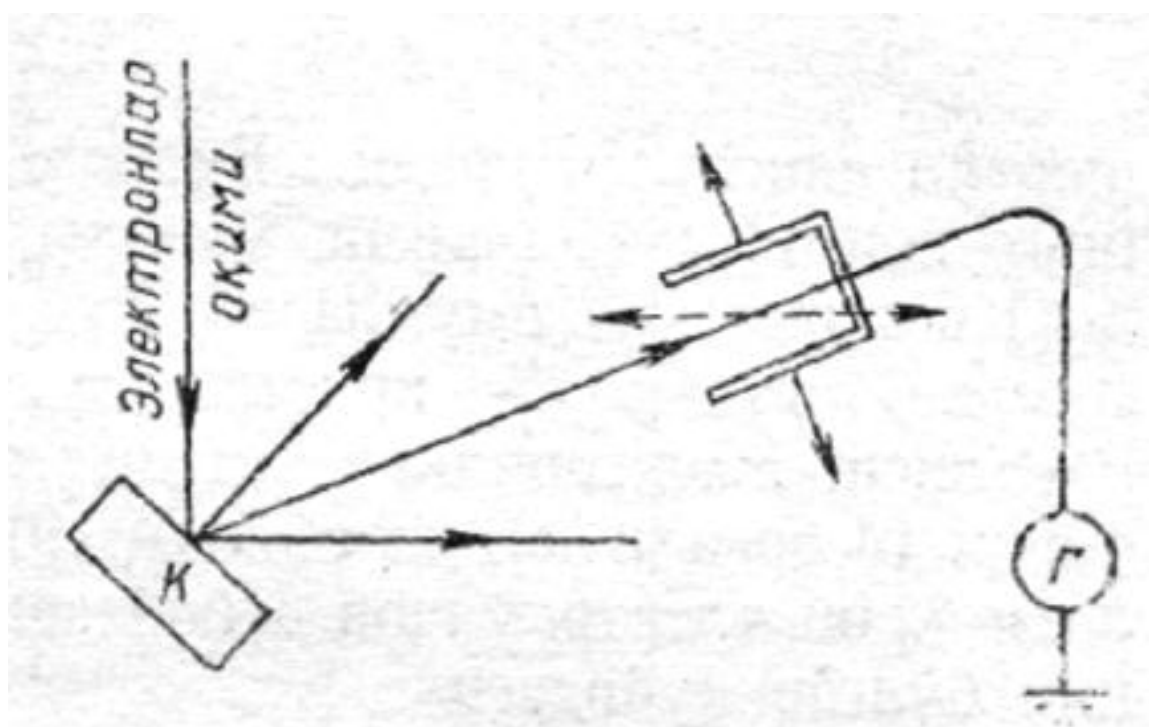
Де-Бройл гипотезаси, зарраларнинг тўлқин узунлиги, частота, микрозарра, Девиссон-Джермер тажрибаси, микрозарралар-тўлқин сифатида.

### **НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ**

1. Де-Бройл илгари сурган ғояни тушунтиринг.
2. **Луи-Де-Бройл гипотезасининг атомларда қўлланилиши**
3. Элементар зарра (электрон) тўлқин узунлиги қандай аниқланади.
4. Де-Бройл назарияси исботланган тажрибани изоҳланг.
5. Электрон дифракцияси қандай амалга ошади.
6. Микрозарраларнинг икки хил табиати мавжудлигини қандай изоҳлаш мумкин.
7. Гейзинберг ноаниқлик принтсипини тушунтиринг.
8. Шредингер тенгламасини изоҳланг.
9. Лазер технологияси.
10. Квант кучайтиргичлар.



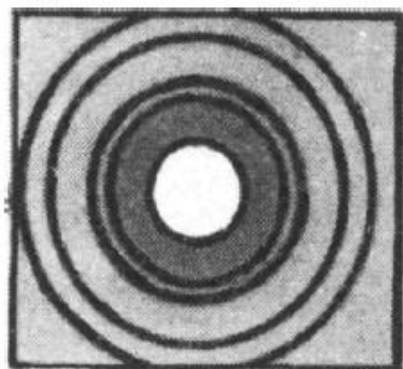
Ҳар хил бурчак остида  
дифракцияланган  
электронлар махсус сезгир  
гальванометр орқали қайд  
қилинади.



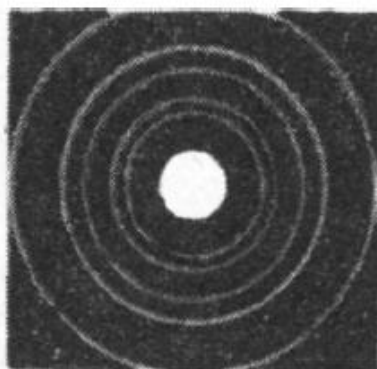
Энергияси  $eU$ -бўлган  
майдонда тезлатилган  
электронлар учун де-Броиль  
тўлқин узунлиги

$$\lambda_D = \frac{h}{m\vartheta} = \frac{h}{m\sqrt{2\left(\frac{e}{m}\right)U}} = \frac{U}{\sqrt{2meU}} = \frac{12.25}{\sqrt{U}} \text{ \AA}^0$$

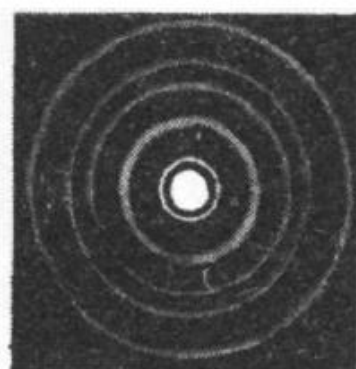
Рентген нурларининг  
алюминий пластинкадан а-  
расм, электронларнинг олтин  
б-расм ва мис в-расм  
пластинкалардан ўтганда  
дифракцион манзара  
тасвирланган.



а)

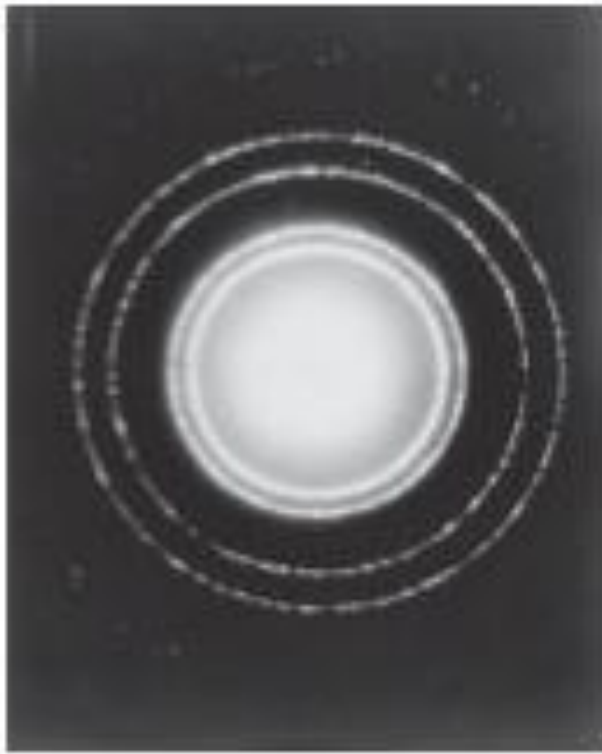


б)

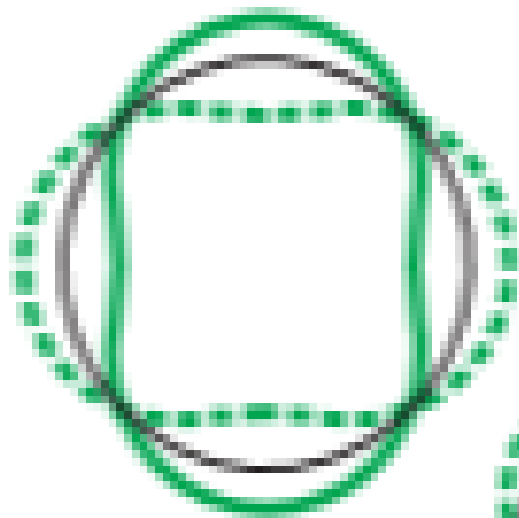
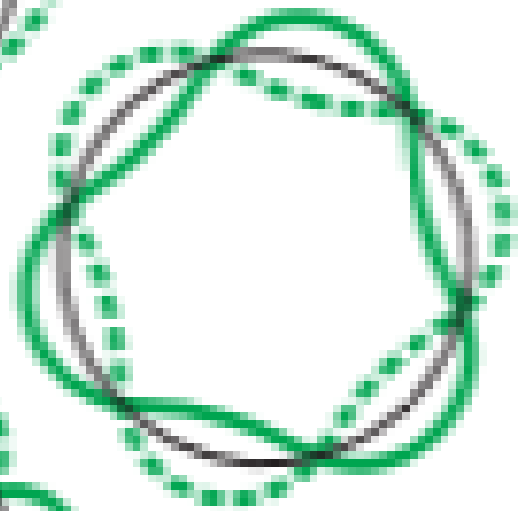
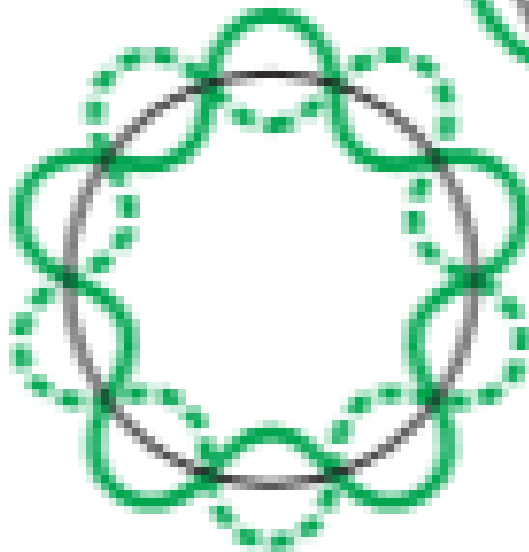


в)

Алюминий пластин-кадан  
ўтказилган электронлар  
оқими ҳосил қилган  
дифраксион манзара



Айланада икки, уч ва беш  
тўлқинлар жойлашган.  
Бу ерда  $n$ -квант сонлар.

 $n = 1$  $n = 3$  $n = 5$

## Электромагнит тебранишларни частота ва тўлқин узунликларининг спекетрлари.

З-товуш частотаси,

ВЧ- юқори частоталар,

СВЧ- ўта юқори частоталар,

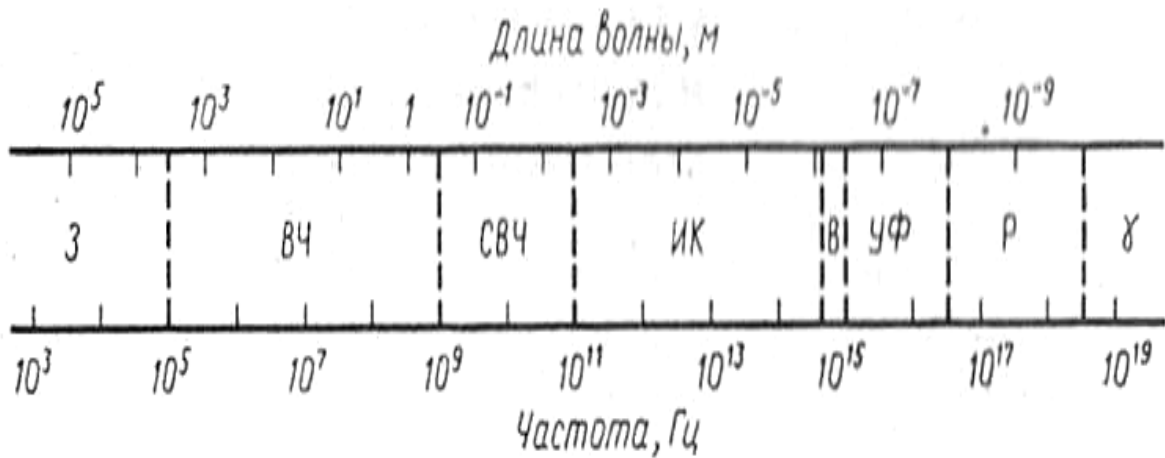
ИК- спектрни инфрақизил оралиғи,

В- кўринадиган бўлими,

УФ- ультрабинафшали спектр,

Р- рентген нурланиши,

$\gamma$ -квантлар.





Ўзбекча	Ингилизча	Ўзбекча
де-Бройль тўлқин узунлиги	The length of the wave of de-broiler	$\lambda = \frac{h}{m\vartheta}$
Планк доимийси	Planck constant	$h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{с}$
электроннинг импульс моменти	Moments when the impulse of the electron	$L = nh / 2\pi$
электронларнинг тезлиги	The rate of electron	140000 км/с
Мажбурий нурланиш туфайли ёруғликнинг кучайиши	Light Amplification ly Stimulated Emission of Radiation	
ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги	the speed of light in vacuum	