

лари учун турлича бўлиши мумкин. Фокус масофаларининг фарқ қилиши турли тўлқин узунликлари учун катталаштиришнинг фарқ қилишини билдиради, шу сабабли чекли ўлчамли буюмлар тасвири четига рангли ҳошия тушади. Бу иккинчи хроматик хато *катталаштиришларнинг хроматик айирмаси* деб аталади, бу хатони тузатиш учун махсус ҳисоб ўтказиш керак. Буюмгача бўлган масофа ҳар қандай бўлганда иккала хроматик хатоси тузатилган системалар *стабил равишда ахроматизацияланган* системалар деб аталади.

Визуал кузатишда ишлатиладиган системалар (труба) ахроматизацияланганда қизил ва кўк нурларнинг ( $\lambda_C = 656,3$  нм,  $\lambda_F = 486,1$  нм) фокуслари устма-уст тушади; фотографияда ишлатиладиган системалар (фотографик объективлар) сенсibiliзацияланган фотопластинкага кучли таъсир кўрсатадиган  $\lambda_{G'} = 434,1$  ва  $\lambda_D = 589,3$  нм тўлқин узунликларининг фокуслари бирлашадиган қилиб ахроматизацияланади.

Микроскопияда Аббе (1886 й.) *апохроматаларни* жорий этди, булар объективлар бўлиб, уларда уч нав нурларнинг фокуслари бирлашиб кетган ва турли рангларга тегишли сферик абберация йўқотилган (одатда *сферик абберациянинг сферохроматик абберация* деб аталадиган *хроматик айирмаси* йўқотилган). Аббенинг апохроматалари ахроматаларга нисбатан анча афзал; ахроматаларда эса икки нав нурлар коррекцияланган. Апохроматаларда қоладиган иккинчи хроматик хато (яъни катталаштиришларнинг хроматик айирмаси) микроскопда махсус окулярлар (компенсацион окулярлар) ишлатиш йўли билан йўқотилади.

Қўпдан-қўп абберациялар махсус равишда ҳисоб қилинган мураккаб оптик системалар ясаш йўли билан бартараф қилиниши юқорида айтилганлардан тушунарли бўлади. Бироқ ҳамма нуқсонларни барабарига тузатиш жуда мушкул ва ҳатто ҳал қилиб бўлмайдиган масала бўлиб қолиши мумкин. Шунинг учун кўпинча маълум бир мақсадга мўлжалланган оптик системани ҳисоб қилишда келишимга йўл қўйилади. Бунда олдимизга қўйилган масалани ҳал қилишда энг хавfli бўлган нуқсонлар тузатилиб, бошқаларининг қисман йўқотилиши билан қаноатланади.

Масалан, астрономик трубаларга қўйиладиган объективлар учун синуслар шартига риоя қилиш ва майдон марказидаги нуқталар учун сферик ва хроматик абберацияларни йўқотиш муҳимдир; маълумки, астрономик трубаларда ўққа яқин жойлашган нуқталар манба ҳисобланади; кенг кўриш майдонини суратга олишга мўлжалланган микрообъектив ва фотообъективлар учун синуслар шартига риоя қилишдан ташқари, майдонни бузадиган абберацияларни (дисторсия, майдоннинг эгриланиши ва ҳоказоларни), шунингдек хроматик абберацияни йўқотиш зарур. Равшанлиги кам бўлган буюмларни кузатишда ишлатиладиган объективларнинг нисбий тешиги имкон борица катта бўлиши керак, бу ҳолда энлик дасталар билан иш кўрганда муқаррар равишда юзага келадиган

Баъзи абберациялар билан мураса қилишга тўғри келади. Визуал кузатишда ва фотографияда ишлатиладиган асбобларда хроматизм турли хил спектрал соҳаларга мўлжаллаб тузатилади, бунда кўз сезгирлигининг максимуми спектрнинг сариқ - яшил қисмида ётгани, фотопластинкаларнинг сезгирлиги эса спектрнинг янада қисқа тўлқинли соҳасига томон сурилгани эътиборга олинади. Спектрал аппарат коллиматорининг объективи хроматик абберациядан жуда яхшилаб холос қилинган бўлиши, камеранинг объективи эса ҳеч ахроматизацияланмаган бўлиши мумкин, бироқ бунда қия дасталарнинг астигматизми ва кома жуда зарарлидир; одатда спектрографнинг оптик системаси бутун сифатида шундай ҳисоб қилинадики, унинг бир қисмининг камчилиги иккинчи қисми ҳисобига бирмунча компенсацияланади.

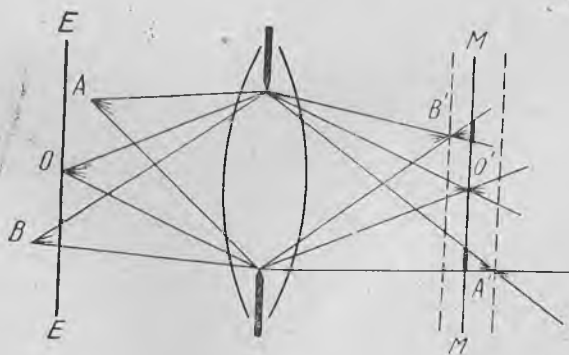
## XIV б о б

## ОПТИК АСБОБЛАР

## 87- §. Диафрагмаларнинг роли

Реал оптик системалар таъсир этувчи нурлар дастасининг кенлиги маълум даражада чекланган бўлгандагина қониқарли тасвир беради. Дасталарнинг очилиш бурчаги (апертураси) ҳар қандай бўлганда ҳам ясси буюмнинг тасвирини тўғри бера оладиган идеал системалар учун ҳам дасталарнинг чегараланган бўлиши муҳим аҳамиятга эга.

Кўзойнак таққан ёки тақмаган одам кўзи, фотографик аппарат, проекцион аппарат каби ҳар қандай оптик система аслида тасвирини текисликда (экран, фотопластинка, кўзнинг тўр пардасида) беради; буюмлар эса кўп ҳолларда уч ўлчовли бўлади. Бироқ ҳатто идеал



14.1- расм. Аниқ тасвир чуқурлигига диафрагманинг таъсир этиши.

система ҳам чегараланган бўлмаганида уч ўлчовли буюмнинг тасвири текисликка туширмаган бўлар эди. Ҳақиқатан ҳам, уч ўлчовли буюмнинг айрим нуқталари оптик системадан турли масофаларда туради ва бу нуқталарга *турли* қўшма текисликлар мос келади. Ёруғланувчи  $O$  нуқта (14.1-расм)  $EE$  текисликка қўшма бўлган  $MM$  текисликда аниқ  $O'$  тасвир беради. Бироқ  $A$  ва  $B$  нуқталар  $A'$  ва  $B'$  нуқталарда аниқ тасвир беради,  $MM$  текисликда эса ўлчамлари дасталар кенглигининг *чегараланишига* боғлиқ бўлган ёруғ доиралар бўлиб проекцияланади. Агар системани ҳеч нарса чегаралаб турган бўлмаса эди, у ҳолда  $A$  ва  $B$  дан чиққан дасталар  $MM$  текисликни бир текис ёритган бўлар, яъни буюмнинг ҳеч қандай тасвири ҳосил бўлмаган, унинг  $EE$  текисликда ётган айрим нуқталарининг тасвиригина ҳосил бўлган бўлар эди.

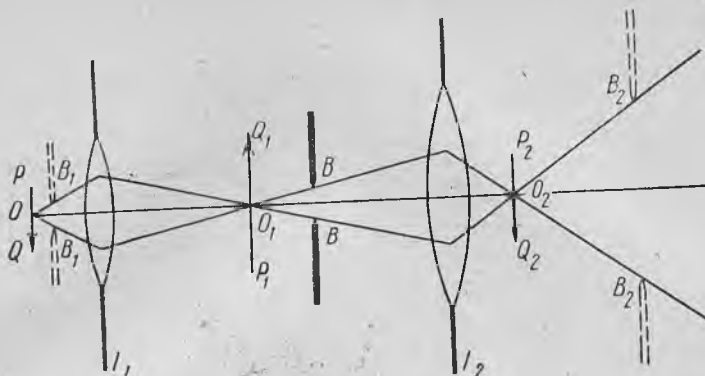
Дасталар қанча ингичка бўлса, фазовий буюмнинг текисликдаги тасвири шунча аниқ бўлади. Аниқроқ айтганда, текисликда фазовий буюмнинг ўзи эмас, балки буюмнинг системага нисбатан  $MM$  тасвир текислигига қўшма бўлган  $EE$  текисликдаги (қурилма текислигидаги) проекциясидан иборат бўлган *ясси манзара* тасвирланади. Системанинг нуқталаридан бири (оптик асбобнинг кириш қорачиғининг маркази) проекция маркази бўлади.

#### 88- §. Апертура диафрагмаси, кириш ва чиқиш қорачиқлари

Шундай қилиб, чегараловчи диафрагмаларнинг борлиги ҳар қандай оптик асбоб учун муҳимдир; линза ўрнатилган гардиш чегараловчи диафрагма хизматини ўтайди; тасвирнинг аниқлиги, расмининг тўғрилиги ва асбобнинг ёритиш кучи диафрагманинг катталиги ва вазиятига боғлиқ.

Оптик системаларда дасталарнинг чегараланиши, умуман айтганда, буюмнинг турли нуқталаридан келаётган нурлар учун турлича бўлади. Аввало, буюмнинг ўқда ётган нуқталаридан келаётган дасталарнинг чегараланишини кўриб чиқамиз. Буюмнинг оптик система ўқида ётган нуқтасидан келаётган ишлатилувчи нурлар дастасини чегаралайдиган диафрагма *апертура диафрагмаси* дейилади. Юқорида айтиб ўтилганидек, бирор линзанинг гардиши ёки махсус  $BB$  диафрагма апертура диафрагмаси хизматини ўтайди;  $BB$  диафрагма ишлатилганда у ёруғлик дасталарини линзалар гардишидан кўра кучлироқ чегаралайди.  $BB$  апертура диафрагмаси кўпинча мураккаб оптик системанинг (14.2-расм) айрим компонентлари (линзалари) орасига қўйилади, бироқ уни системадан олдинга ёки системадан кейинга қўйса ҳам бўлади.

Агар  $BB$  — апертура диафрагмасининг ўзи бўлиб (қ. 14.2-расм),  $B_1B_1$  ва  $B_2B_2$  — диафрагманинг системанинг олдинги ва кетинги қисмларидаги тасвирлари бўлса, у ҳолда  $BB$  дан ўтган ҳамма нурлар  $B_1B_1$  ва  $B_2B_2$  орқали ҳам ўтади ва аксинча, яъни  $BB$ ,  $B_1B_1$ ,  $B_2B_2$  диафрагмалардан исталган биттаси актив дасталарни чега-



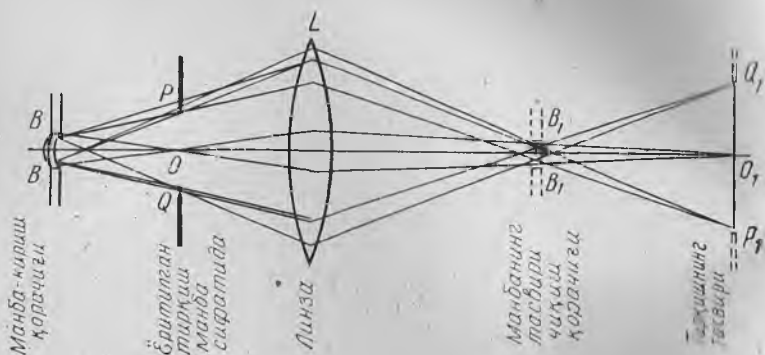
14.2-расм.  $BB$  — апертура диафрагмаси;  $B_1B_1$  — системанинг кириш қорачиғи ва  $B_2B_2$  — чиқиш қорачиғи.

ралайди. Ҳақиқатан ҳам,  $B_1$  нуқта (четки нуқта) орқали ўтган нур албатта мос  $B$  нуқтадан ўтади, чунки бу нуқталар бир-бирига қўшмадир.

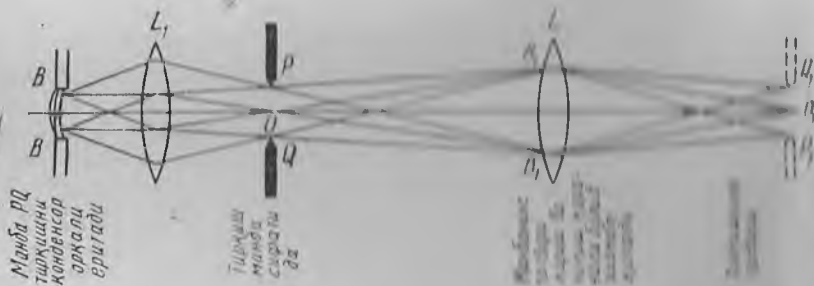
Ҳақиқий тешикларнинг ёки улар тасвирларининг системага кираётган даستاني ҳаммадан кучлироқ чегаралайдигани, яъни оптик ўқ билан буюм текислиги кесишган нуқтадан қаралганда энг кичик бурчак остида кўринадигани *кириш қорачиғи* деб аталади. Системадан чиқаётган даستاني чегаралайдиган тешик ёки унинг тасвири *чиқиш қорачиғи* дейилади. Равшанки, кириш ва чиқиш қорачиқлари бутун системага нисбатан қўшма ҳисобланади.

Бирор тешик (оптик система гардиши, махсус диафрагма) ёки унинг тасвири (ҳақиқий ёки мавҳум тасвири) кириш қорачиғи бўла олади. Баъзи муҳим ҳолларда тасвирланадиган буюм ёритилган тешикнинг ўзи (масалан, спектрографнинг туркиши) бўлади, бунда тешик ўзига яқин жойлашган ёруғлик манбаидан бевосита ёритилади ёки ёрдамчи конденсор билан ёритилади. Бундай ҳолда жойлашишига қараб кириш қорачиғи ролини манбанинг чегараси (14.3-расм) ёки унинг тасвирининг чегараси (14.4-расм), ёки конденсорнинг чегараси (14.5-расм) ва ҳоказолар ўтади.

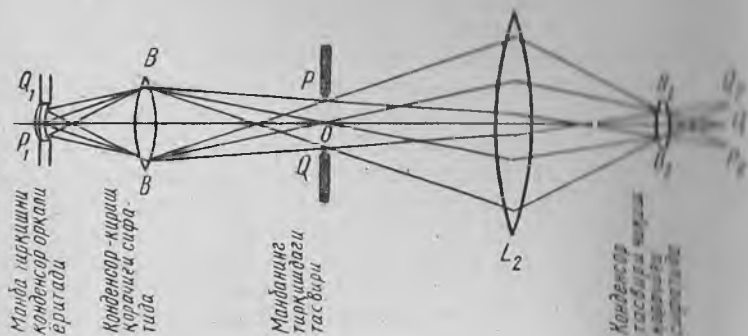
Агар апертура диафрагмаси системадан олдинда ётса, у кириш қорачиғи билан бир хил бўлади, чиқиш қорачиғи эса диафрагманинг бу системадаги тасвири бўлади (14.5-расм). Агар апертура диафрагмаси системадан кетинда ётса, у чиқиш қорачиғи билан бир хил бўлади, кириш қорачиғи эса диафрагманинг бу системадаги тасвири бўлади. Агар  $BB$  апертура диафрагмаси системанинг ичида ётса (қ. 14.2-расм), унинг системанинг олдинги қисмидаги  $B_1B_1$  тасвири кириш қорачиғи бўлиб, системанинг кетинги қисмидаги  $B_2B_2$  тасвири чиқиш қорачиғи бўлади. Оптик ўқ билан буюм те-



14.3- расм. Ёруғлик манбаининг чегараси системанинг кириш қорачиғи хизматини ўтайди.



14.4- расм. Ёруғлик манба тасбирининг чегараси системанинг кириш қорачиғи хизматини ўтайди.



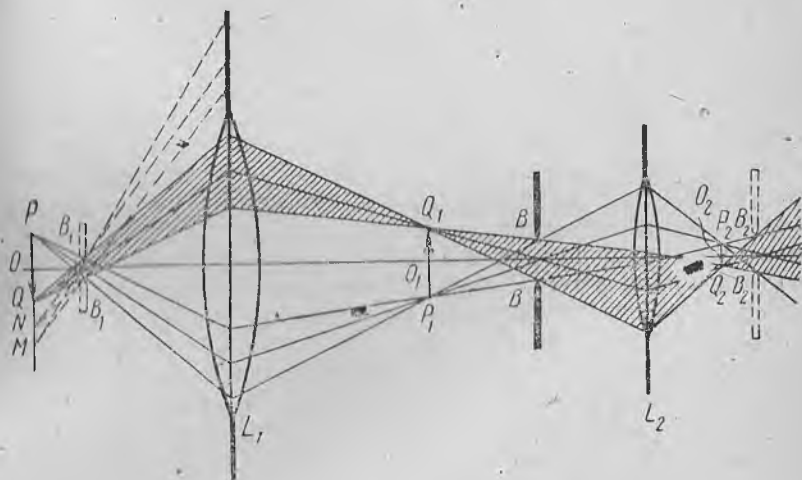
14.5- расм. Конденсор линзасининг чегараси системанинг кириш қорачиғи хизматини ўтайди.

кислиги кесишган нуқтадан қаралганда кириш қорачиғининг радиуси кўринадиган бурчак *апертура бурчаги* дейилади, ўқ билан тасвир текислиги кесишган нуқтадан қаралганда чиқиш қорачиғининг радиуси кўринадиган бурчак *проекция бурчаги* ёки *чиқиш апертура бурчаги* дейилади.

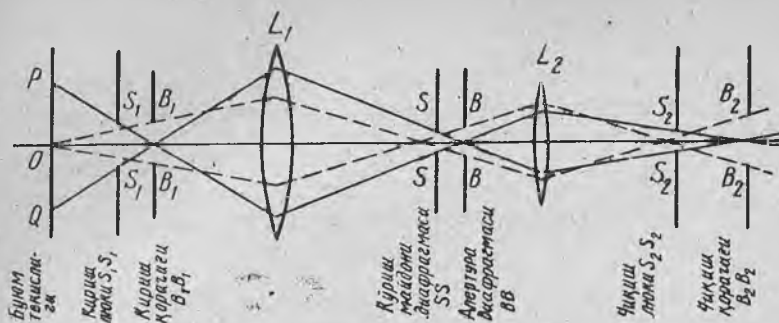
### 89- §. Кўриш майдонининг диафрагмаси. Люклар

Апертура диафрагмаси, бинобарин, чиқиш ва кириш қорачиқлари актив дасталарнинг эини (тешикни) аниқлайди, яъни улар тасвирнинг аниқлигига ва асбобнинг ёритиш кучига таъсир қилади. Бироқ буюмнинг ҳар қандай нуқтасидан чиқиб, кириш қорачиғидан ўтган нурлар оптик система орқали ўтавермайди, бинобарин, уларни система тасвирлайвермайди. Ҳақиқатан ҳам,  $M$  нуқтадан чиққан даста (14.6-расм) системанинг олдинги линзасидан мутлақо четлаб ўтади ва линза  $M$  нуқтани тасвирламайди.  $N$  нуқтадан чиққан даста эса системадан қисман ўтади ва тасвир беради, лекин тасвирнинг ёритилганлиги камаяди, чунки дастанинг бир қисмини  $L_1$  линзанинг гардиши тутиб қолади (*виньетирлш*).  $Q$  нуқтадан чиқиб система орқали ўтадиган дастанинг эни ўқдаги  $O$  нуқтадан чиқадиган дастанинг эни билан бир хил бўлади.

Кўриб ўтилган ҳолда системанинг кўриш майдонини олдинги  $L_1$  линзанинг гардиши чегаралади; бошқа ҳолларда кўриш майдонини системанинг бошқа қисмлари ёки *кўриш майдонининг* махсус



14.6- расм. Нурлар дастасини букмнинг ўқдан ташқаридаги нуқталаридан чегаралаш.



14.7-расм. Кўриш майдонининг  $SS$  диафрагмаси, системанинг  $S_1S_1$  кириш люки ва  $S_2S_2$  чиқиш люки.

диафрагмаси чегаралайди. Кириш қорачиғининг марказидан қаралганда олдинги линзанинг контуридан ёки диафрагмалардан бирортаси тасвирининг контуридан қайси бири энг кичик бурчак остида кўринишига қараб кўриш майдони олдинги линзанинг контури билан ёки диафрагмалардан бирортаси тасвирининг контури билан аниқланади. Реал ёки тасвирланган бу контур *кириш дарчаси* ёки *кириш люки* (14.7-расмда  $S_1S_1$ ) деб аталади, тасвири люк бўлган диафрагма эса кўриш майдонининг диафрагмаси (14.7-расмда  $SS$ ) бўлиб хизмат қилади.

Кириш люкининг оптик системадаги тасвири чиқиш люки (14.7-расмда  $S_2S_2$ ) деб аталади.

Апертура диафрагмасининг марказидан ўтадиган нурлар *бош нурлар* деб аталади. Бош нур кириш ва чиқиш қорачиқларининг марказларидан ҳам ўтади, чунки бу нуқталар апертура диафрагмасининг маркази билан қўшма нуқталардир.

Бош нур кириш қорачиғига таянадиган ва учи буюм нуқтасида бўлган конуснинг (нурлар конусининг) ўқи ҳисобланади (14.6-расмда штрихлаб қўйилган соҳа). Агар буюмнинг ўқдан ташқарида ётган нуқтасидан келаётган бош нур кириш люкининг четиغا тегса, у ҳолда системадан ўқда ётган нуқтадан чиққан дастага нисбатан нурларнинг тахминан ярми ўтади. 14.7-расмдан кўринишича,  $S_1S_1$  кириш люки  $P$  нуқтадан чиққан ҳамма нурларни тутиб қолади; кириш люки бўлмаган ҳолда эса бу нурлар  $B_1B_1$  кириш қорачиғининг юқориги ярмидан ўтиб кетган бўлар эди. Шунинг учун  $P$  нуқта тасвирининг ёритилганлиги ўқда ётган нуқта тасвири яқинидаги ёритилганликдан тахминан икки марта кам бўлади. Бинобарин, кириш люкининг четларига тегадиган бош нурлар (14.7-расмда бош нурлар яхлит чизиқлар билан кўрсатилган) кўриш майдонининг катталигини аниқлайди (14.7-расмда  $PQ$ ).

Кўриш майдонини кескин чегаралаш учун  $S_1S_1$  кириш люки буюм текислиги билан устма-уст тушиши, яъни  $SS$  диафрагма

$L_1$  га нисбатан буюм билан қўшма бўлган текисликда ётиши зарур; жумладан, олисадаги буюмларни кўришда ишлатиладиган труба-ларда  $SS$  диафрагма  $L_1$  объективнинг бош фокал текислигида ётиши керак.

Энди энг муҳим оптик асбобларни кўриб чиқишга ўтамиз. Линза, кўзгу, диафрагма ва бошқа ёрдамчи қисмлардан тузилган ва бирор мақсадда ишлатиладиган система *оптик асбоб* дейилади.

### 90- §. Фотсграфик аппарат

Фотоаппаратнинг объективи билан камераси объективдан бирор масофада турган буюмларнинг аниқ тасвирини ёруғликка сезгир бўлган пластинка ёки плёнка текислигида ҳосил қилиш мумкин бўладиган қилиб тузилган. Аппаратни созлашда турли хил мосла-малар қўлланилади (объективни ёки унинг айрим қисмларини сил-житиш, пластинкани суриш). Апертура диафрагмаси кичрайтирил-ганда фокуслаш «чуқурлиги» яхшиланади, яъни буюмнинг турли узоқликдаги қисмлари (қ. 87-§) текисликка аниқ акслантирилади. Айни вақтда апертура диафрагмасининг ўзгартирилиши аппаратга тушадиган ёруғлик миқдорини (ёритиш кучи) ўзгартиради. Одатда фотоаппаратда буюмнинг кичрайган тасвири ҳосил бўлади; ҳозирги замон аппаратларида тасвирнинг аниқ чиқишига интилишади, расм аниқ чиққан бўлса, уни кейинчалик катталаштириш мумкин.

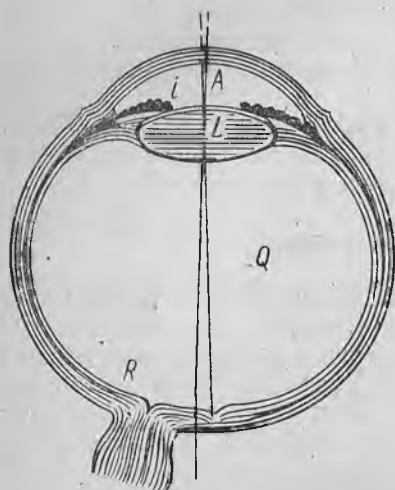
Объективлар тасвирнинг сифати яхши бўлиши билан бирга ёруғлик миқдори кўп бўлиши жиҳатидан, яъни тасвирнинг *ёритил-ганлиги* имкон борича катта бўлиши жиҳатидан муттасил такомил-лаштирилмоқда. Тасвирнинг ёритилганлиги ёруғлик оқимининг тасвир юзига бўлинганига тенг, яъни узоқдаги буюмлар учун ёритилганлик апертура диафрагмаси *юзининг* объективнинг фокус масофаси *квадратига* нисбатига пропорционалдир. Бу нисбат объек-тивнинг *ёритиш кучи* деб аталади. Кўпинча ёритиш кучи деб мак-симал диафрагма диаметрининг фокус масофасига нисбати олинади ва ёритилганлик ёритиш кучининг квадратига пропорционал деб ҳисобланади. Бу нисбатни *нисбий тешик* деб аташ тўғрироқ бўлади. Шундай қилиб, ёритиш кучи нисбий тешик квадрати билан ўлча-нади.

### 91- §. Кўз — оптик система

Тузилиши жиҳатидан олганда кўз (14.8-рasm) маълум даражада фотоаппаратга ўхшайди. Сувга ўхшаган  $A$  суюқлик,  $L$  гавҳар ва шишасимон  $Q$  жисмдан иборат синдирувчи муҳитлар тўплами объек-тив вазифасини ўтайди.

Узоқлиги турлича бўлган буюмларга қарашда кўзнинг мосла-шуви *аккомодация* деб аталади, бунга мускулнинг зўриқиши ту-файли гавҳарнинг эгрилигини ўзгартириш орқали эришилади.

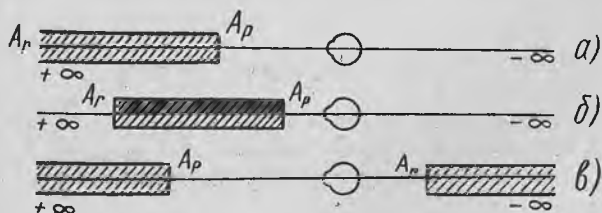




14.8- расм. Кўзнинг схематик қирқими.

бўлган масофа ортиб кетган бўлади. Бу нуқсонлар сочувчи ёки йиғувчи қўшимча линзалар (кўзойнак тақиш) воситасида тузатилиши мумкин.

14.9-расмдаги штрихлаб қўйилган жойлар кўз ўз аккомодацияси чегараларида аниқ кўра оладиган соҳалар, яъни яқиндаги  $A_p$  нуқта билан узоқдаги  $A_r$  нуқта орасидаги соҳалар қандай жойлашганини кўрсатади. Нормал кўз  $A_p = 10\text{--}22$  см дан чексизликкача бўлган соҳада аккомодациялана олади. Яқиндан кўрар кўзнинг аккомодацияланиш соҳаси яқинлашган ва узоқни кўриш чегараси чекланган. Узоқдан кўрар кўзнинг аккомодацияланиш соҳаси боши сурилган бўлиб, узоқдаги нуқтаси манфий масофада ётади, яъни кўзнинг орқасида ётади. Бу эса узоқдан кўрар кўз мавҳум нуқталарни кўра олишини, яъни параллел дасталарнигина эмас, балки йиғиладиган дасталарни ҳам тўр пардага тушира оли-



14.9- расм. Нормал кўз (а), яқиндан кўрар кўз (б) ва узоқдан кўрар кўз (в) аккомодациясининг яқиндаги ( $A_p$ ) ва узоқдаги ( $A_r$ ) нуқталари.

шини билдиради. Шундай қилиб, яқиндан кўрар кўзнинг оптик кучи нормал кўзникидан ортиқ, узоқдан кўрар кўзнинг оптик кучи эса нормал кўзникидан кичик.

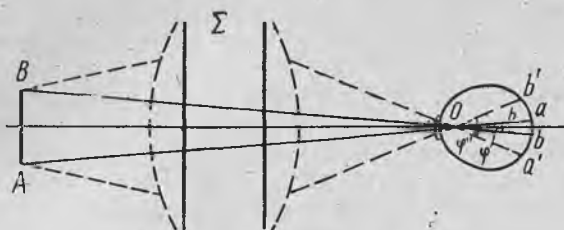
Кўзнинг  $i$  камалак пардаси (кўз гавҳарининг мўғиз пардаси) апертура диафрагмаси хизматини ўтайди (қ. 14.8-расм). Камалак парда «кўз рангини» кўрсатади; камалак пардада катталиги ўзгарадиган тешик (кўз қорачиғи) бўлади. Кўзнинг олдинги оптик қисмида (сувга ўхшаган суюқлик соҳасида) қорачиқнинг тасвири аслида қириш қорачиғи ҳисобланади; бу тасвир ҳақиқий қорачиқ билан деярли бир хил бўлади. Кўзда қорачиқ диаметрининг ўзгариши фотообъективда апертура диафрагмаси ўзгариши билан бир хил роль ўйнайди: қорачиқ диаметрининг ўзгариши кўзга ёруғлик тушишини ростлаб туради ва фокуслаш чуқурлигини ўзгартиради. Аппаратнинг фотопластинкасига кўзнинг  $R$  тўр пардаси мос келади; тўр парданинг тузилиши ва ишлаши кейинроқ (қ. 193-§) баён этилади.

Кўпчилик соф оптик масалаларда кўзнинг синдирувчи системаси бир жинсли шаффоф моддадан ясалган эквивалент кўз билан алмаштирилиши мумкин; унинг Гульстранд берган параметрлари қуйидагича:

Синдириш кучи, диоптрия ҳисобида	58,48
Кўзнинг узунлиги	22 мм
Синдирувчи сиртнинг эгрилик радиуси	5,7 мм
Муҳитнинг синдириш кўрсаткичи	1,33
Тўр парданинг эгрилик радиуси	9,7 мм

Кўздаги тасвир ҳаводан фарқ қиладиган муҳит ичида ҳосил бўлгани учун, кўзнинг олдинги ва кетинги фокус масофалари бир-бирига тенг эмас (17,1 ва 22,8 мм), бинобарин, кўзнинг тугун нуқталари бош нуқталари билан устма-уст тушмайди. Бу нуқталарнинг ҳаммаси бир-бирига яқин бўлгани туфайли уларни кўзнинг оптик марказига жойлашган деб ҳисобласа бўлади.

Соғлом кўзни умуман айланиш сиртларининг марказлаштирилган системаси деб ҳисоблаш мумкин. Анигини айтганда, бу унча камол топган система эмас, чунки кўзда сферик абберрация ҳам, оғма дасталарнинг астигматизми ҳам, анчагина хроматик абберрация ҳам бор. Бироқ кўзнинг ўзига хос бир қатор хусусиятлари туфайли бу нуқсонларнинг ҳаммаси кам сезилади. Масалан, сферик абберрация унча сезиларли эмас, чунки сочилиш доғларида ёритилганлик нотекис тақсимланган, доғнинг кўриш туйғуси учун энг муҳим бўлган энг ёруғ қисми жуда кичикдир; сочилиш доирасининг ён қисмлари сезиларли бўлиб қоладиган кучли ёритишда қорачиқ диаметри кўп камайиб, ишни яхшилайти. Оғма дасталарнинг астигматизми деярли сезилмайди, чунки тўр парданинг яхши сезиш қобилияти марказидан четларига томон тез пасайиб кетади; шунинг учун қайд қилинадиган ҳар бир нуқтанинг тасвири беихтиёр равишда кўз ўқиға келтирилади; кўз ўқи тўр парданинг энг фойдали қисми-



14.10- расм. Тасвирининг кўринма бурчакли ўлчамига оптик система кўрсатадиган таъсир.

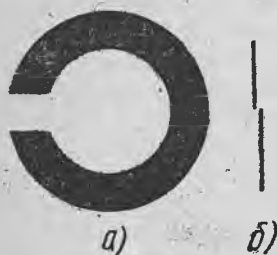
$O$  — кўзнинг оптик маркази;  $h$  — кўз чуқурлиги;  $AB$  — буюм;  $ab$  — буюмнинг қуролланмаган кўздаги тасвири;  $\varphi$  — қуролланмаган кўзнинг қараш бурчаги;  $a'b'$  — буюмнинг  $\Sigma$  оптик система билан қуролланган кўздаги тасвири;  $\varphi'$  — қуролланган кўзнинг қараш бурчаги.

дан («марказий чуқурча», қ. 193-§) ўтади. Бу жуда кичик ишчи қисмининг кўриш майдони етарли эмаслиги ўрнини кўзнинг ҳаракатчанлиги тўла-тўқис босади. Хроматик абберрация деярли сезилмайди, чунки кўз спектрнинг жуда тор қисминигина яхши сезади.

Кўрсатиб ўтилган факторларнинг ҳаммаси қўшилганда нормал кўз буюмларнинг ташқи кўриниши тўғрисида жуда яхши фикр юритишга имкон беради. Бироқ айрим элементлардан иборат тўр парда тузилишининг характери туфайли, буюмнинг икки нуқтаси яқин бўлиб, иккови тўр парданинг битта элементида (*колбачасида*) тасвирланса, у ҳолда кўз бу икки нуқтани битта деб ҳис этади. Шундай қилиб, буюмнинг тасвири тўр парда тузилиши билан аниқланадиган чегара ичида ётадиган қисми нуқта (*физиологик нуқта*) деб ҳис этилади ва бу қисм ичида бошқа ҳеч нарсани таниб бўлмайди. Бундай қисмнинг катталиги, албатта, буюмдан кўзгача бўлган масофага боғлиқ бўлиб, тасвирининг ўлчами тегишлича бўлишни таъминлайдиган *қараш бурчаги* орқали аниқланиши мумкин (14.10-расм), чунки тасвирининг диаметри  $ab = \varphi h$ , бу ерда  $\varphi$  — қараш

бурчаги,  $h$  — кўз чуқурлиги ( $O$  оптик марказ билан тўр парда орасидаги масофа) бўлиб, ўртача кўз учун 15 мм га тенг. Буюмнинг майда тафсилотларигача ажрата олиш учун зарур бўлган минимал қараш бурчаги *физиологик лимит бурчак* деб аталади ва кўзойнак тақмаган кўз учун тахминан *бир минутга* тенг. Бироқ буюмнинг тафсилотини кўзойнак тақмасдан ажрата олиш бурчаги бундай қийматга эга бўлиши учун кузатилаётган буюм яхши ёритилган бўлиши керак.

Одатда кўзнинг ажрата олиш қобилияти 14.11-а расмда кўрсатилган шаклдаги тест—объект (Ландольт тўғараги) ёрдамида



14.11- расм. Кўз ўткирлигини синашда ишлатиладиган тест-объектлар.

$a$ —Ландольт тўғараги;  $b$ —кўзнинг ажрата олиш кучи юқори ёқарлигини синашда ишлатиладиган буюм.

синалади. Кўзи синалаётган одам аниқ кўраётган кесик кўринадиган бурчак ажрата олиш бурчаги деб аталади. Кўриш ўткирлигининг бирлиги қилиб ажрата олиш бурчаги  $1'$  бўлган кўзнинг ўткирлиги олинади. Агар ажрата олинadиган энг кичик бурчак  $2'$  бўлса, кўриш ўткирлиги  $\frac{1}{2}$  га тенг бўлади ва ҳоказо. Нормал кўзнинг ажрата олиш бурчаги билан тест-объектнинг ёритилганлиги орасидаги муносабат қуйидаги жадвалда берилган. Бу жадвалдан буюм яхши ёритилган ( $100$  лк дан ортиқ) бўлганда нормал кўзнинг кўриш ўткирлиги бирдан ортиқ эканлиги кўриниб турибди.

Жадвал

Нормал кўзнинг ажрата олиш бурчаги билан буюмнинг ёритилганлиги орасидаги муносабат

Фоннинг ёритилганлиги, лк	Ажрата олиш бурчаги, мин	Фоннинг ёритилганлиги, лк	Ажрата олиш бурчаги, мин
0,0001	50	0,5	2
0,0005	30	1	1,5
0,001	17	5	1,2
0,005	11	10	0,9
0,01	9	100	0,8
0,05	4	500	0,7
0,1	3	1000	0,7

Шундай қилиб, ёритилганлик кам бўлганда кўзнинг ажрата олиш қобилияти  $1'$  дан анча ёмон бўлиб,  $1^\circ$  гача бориши мумкин.

Буюмни кўзга яқинлаштирганда биз буюмнинг физиологик лимит бурчак билан кесилadиган қисмини камайтирган бўламиз ва, бинобарин, буюмнинг майда-майда қисмларини ҳам фарқ қила оламиз. Бироқ буюмни кўзга яқинлаштириш аккомодацияланиш қобилияти билан чегаралангандир; нормал кўз учун энг қулай масофа  $25$  см (*энг яхши кўриш масофаси*). Ўзини зўриқтириш ҳисобига ёш одамнинг кўзи буюмни  $10$  см гача бўлган масофадан кўра олади. Яқиндан кўрар кўз бу масофадан яқинроқдаги нарсаларни ҳам кўради ва шунинг учун буюмнинг янада майда қисмларини фарқ қила олади. Узоқдан кўрар кўз, жумладан қари одамларнинг кўзи майда тавсилотини фарқ қилишга (масалан, китоб ўқишга) қийналади.

Буюмнинг майда тафсилотини фарқ қилишни янада яхшилашга оптик асбоблар ёрдам беради; бу асбоблар билан кўз биргаликда буюмнинг тасвирини тўр пардада ҳосил қилади. Тўр пардада ҳосил бўлган бу тасвирнинг кўз қуролланган ва қуролланмаган ҳолдаги узунликлари нисбати оптик асбобнинг кўринма *катталаштириши* дейилади.  $14.10$ -расмдан бу нисбат  $\text{tg}\varphi'/\text{tg}\varphi$  га тенг эканлиги келиб чиқади, бу ерда  $\varphi'$  ва  $\varphi$  мос равишда буюмга асбоб орқали ва асбобсиз қаралганда буюм кўринган қараш бурчаклари.

## 92- §. Кўзга тутиладиган оптик асбоблар

а. Лупа — фокус масофаси унча катта бўлмаган (тахминан 100 дан 10 мм гача) содда система (битта ёки бир неча линза) бўлиб, қаралаётган буюм билан кўз орасига тутилади. Буюмнинг катталаштирилган мавҳум тасвири энг яхши кўриш масофасида (нормал кўз учун 250 мм да) ёки чексизликда ҳосил бўлади, яъни кўз аккомодацияга зўриқмасдан кўради. Лупани қўлланишнинг иккала усулида ҳам лупа берадиган кўринма катталаштириш амалда бир хил бўлиб,

$$\mathcal{N}^{\circ} = \text{tg } \varphi' \text{tg } \varphi = D/f \quad (92.1)$$

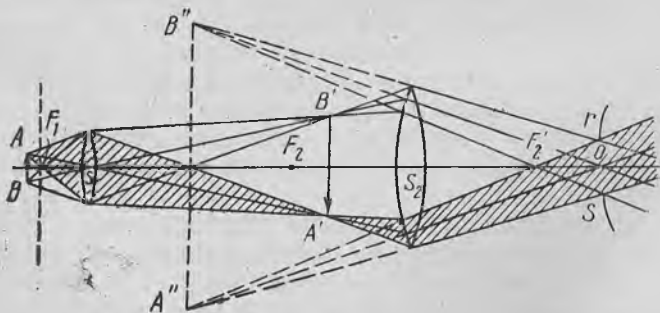
(қ. 115-машқ), бу ерда  $D$  — энг яхши кўриш масофаси,  $f$  — лупанинг фокус масофаси.  $D = 250$  мм бўлгани учун одатда қўлланиладиган лупалар 2,5 дан тортиб 25 гача катталаштиради. Яқиндан кўрар кўз учун  $D$  кичик, бинобарин, бу ҳолда лупа буюмнинг майда тафсилотини ажратиб кўришда кўзга кам ёрдам беради.

б. Микроскоп. Микроскоп принцип жиҳатидан олганда бир-биридан анча қочик турган объектив ва окулярдан иборат икки оптик системанинг комбинациясидир; микроскоп буюмнинг тасвирини кўп катталаштириш керак бўлганда ишлатилади. Агар объектив ва окулярнинг фокус масофалари мос равишда  $f_1$  ва  $f_2$  бўлса, у ҳолда бутун системанинг фокус масофаси  $f = f_1 f_2 / \Delta$  бўлади, бу ерда  $\Delta$  — иккала система фокуслари орасидаги масофа (қ. 107-машқ). Микроскопнинг

$$\mathcal{N}^{\circ} = D/f = D \Delta / f_1 f_2 \quad (92.2)$$

катталаштиришини анча катта миқдорга етказиш мумкин. Масалан,

$f_1 = 2$  мм;  $f_2 = 15$  мм,  $\Delta = 160$  мм бўлганда  $f = 0,19$  мм ва  $\mathcal{N}^{\circ} =$



14.12- расм. Нурларнинг микроскопдаги йўлининг схематик тасвири.

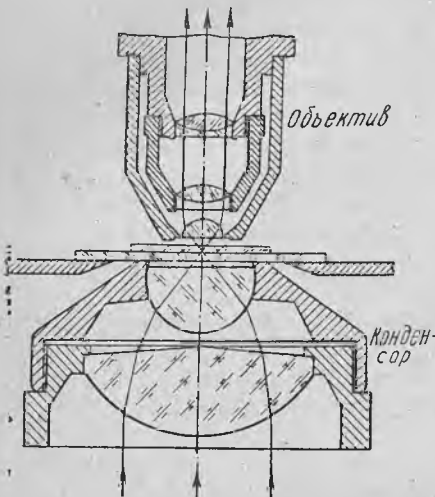
$S_1$  — объектив;  $S_2$  — окуляр;  $AB$  — буюм,  $A'B'$  — объектив ҳосил қиладиган ҳақиқий тасвир;  $A''B''$  — окулярдан қараганда кўриниладиган мавҳум тасвир.

= 1330 бўлади. Шуниси борки, микроскопнинг фойдали катталаштиришига дифракцион ҳодисалар чегара қўяди (қ. XV боб), шунинг учун ҳозиргина кўрсатилган ҳисоб тахминий аҳамиятга эга.

Микроскопнинг оптик системаси схемаси 14.12-расмда кўрсатилган.  $S_1$  объективнинг  $F_1$  бош фокуси яқинига кичик  $AB$  буюм қўйилади; объектив  $AB$  буюмнинг катталаштирилган ҳақиқий  $A'B'$  тасвирини ҳосил қилади, бу тасвир  $S_2$  окуляр орқали шундай қараладики, катталаштирилган мавҳум  $A''B''$  тасвир кўздан энг яхши кўриш масофасида ёки чексизликда ҳосил бўлсин (кўз зўриқмасдан кўради). Кузатишнинг иккала усули бир хилда ярайверади.

Буюмдан келаётган ёруғлик объективга энлик дасталар тарзида тушади, бу ҳол катта ёруғлик оқимларидан фойдаланиш учун ва микроскопнинг ажрата олиш қобилиятини яхшилаш учун муҳимдир (қ. XV боб). Одатда микроскопда ёруғлик чиқармайдиган буюмлар кўрилгани учун, энлик ёруғлик дасталари ҳосил қилиш мақсадида махсус ёритувчи қурилма (конденсор) бўлиши муҳимдир. Микроскопнинг энлик дасталар тушадиган объективи фокус яқинидаги нуқга учун апланатизм шартига бўйсунishi керак; объективлар юқори даражада ахроматизацияланган бўлиши керак (ахроматлар ва апохроматлар). Яхши объектив кўп (баъзан 10 дан ортиқ) линзалардан иборат бўлади.

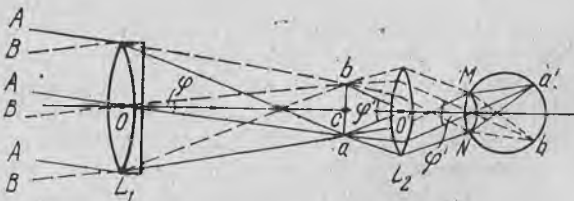
14.13-расмда микроскоп конденсори ва соддагина объективининг кесими кўрсатилган. Препаратдан (буюмдан) чиққан ёруғлик ёпгич ойнадан ўтиб, объективга боради. Тўла ички қайтиш ҳодисаси туфайли, объективга шиша ичида апертураси  $42^\circ$  га яқин бўлган конус ҳосил қилувчи нурларгина етиб боради. Агар қуруқ объективлар ўрнига *иммерсион* объективлар, яъни ёпгич ойна билан объектив орасидаги жойга суюқлик (сув ёки мой) қуйилган объективлар ишлатилса, бу бурчакни ҳам, ёруғлик оқимини ҳам орттириш мумкин. Қуруқ объективли системаларда ёпгич ойнанинг борлиги яна бошқа жиҳатдан ҳам муҳимдир, чунки шишанинг қалинлиги сферик аберрация катталигига таъсир қилади. Шунинг учун объективлар ҳисоб қилинадиган ҳамма ҳолларда ёпгич ойнанинг қалинлиги 0,17 мм (0,15—0,20 мм) деб фараз қилинади. Ҳозирги вақтда ҳамма кучли қуруқ объективларда *коррекцион гардиш* ишлатилади. Бу гардиш объективнинг юқориги ва пастки линзалари орасидаги масофани бир оз ўзгартириб, қалинлиги муносиб бўлмаган ёпгич ойна ишлатилганда юз берадиган сферик аберрацияни йўқотишга имкон беради. Ёпгич ойна, иммерсион суюқлик ва объективнинг фронтал линзасининг синдириш кўрсаткичлари бир хил бўлган *гомоген* иммерсия ҳолида ёпгич ойнанинг қалинлиги ҳеч қандай аҳамиятга эга эмас, чунки уни ёпгич ойна билан объектив орасидаги иммерсион қатламнинг қалинлигини ўзгартириш билан компенсациялаш мумкин. Иммерсион системалар микроскопнинг ажрата олиш қобилиятини (қ. 97-§) орттириш учун ҳам муҳим аҳамиятга эга.



14.13-расм. Конденсор қирқими ва микроскопнинг соддагина объективининг қирқими.

беради. Кўриш трубалари ҳам  $L_1$  объектив ва  $L_2$  окулярдан иборат бўлади (14.14-расм). Олисдаги буюмнинг объектив ҳосил қиладиган ҳақиқий (кичрайган ва тўнқарилган) тасвири окулярдан лугага қаралгани каби қаралади. Буюмдан объективгача бўлган масофа қандай бўлишига қараб тасвир объективнинг кетинги фокал текислигида ёки ундан бир оз кейинда ҳосил бўлади. Шу муносабат билан окулярни бирмунча еуриш (фокуслаш) керак.

14.14-расмдаги  $\varphi$  бурчак — узокдаги буюм кўринадиган бурчак;  $\varphi'$  — тасвир кўринадиган бурчак. Ҳақиқатан ҳам, кўзга параллел



14.14-расм. Нурларнинг кўриш трубасидаги йўлининг схематик тасвири.

Яхлит чизиқ—олисдаги буюмнинг юқорги четидан ( $A$  нуқта) келадиган нурлар; пунктир чизиқ—олисдаги буюмнинг пастки четидан ( $B$  нуқта) келадиган нурлар;  $O_c = f_1$ —объективнинг ( $L_1$  нинг) фокус масофаси;  $cO' = f_2$ —окулярнинг ( $L_2$  нинг) фокус масофаси;  $MN$ —чексизликка аккомодацияланган кўзининг қорачиғи.

Окулярга ингичка ёруғлик дасталари туширилади, лекин бунда оғма дасталар билан ҳам иш кўришга тўғри келади. Шунинг учун окулярда астигматизм, майдоннинг эгриланиши ва хроматик абберациялар каби нуқсонларни (қ. 86-§) тузатишга ҳаракат қилинади. Микроскопнинг объективи ва окуляри алмаштириладиган қилиб ишланади; олдимизга қўйилган масалага қараб объектив ва окулярнинг турли хил комбинацияларини ишлатиш мумкин. Яхши аппаратларнинг муҳим қисми массив штатив ва сурилма қисмларни суришга хизмат қиладиган пухта мосламалардир.

в. Кўриш трубалари. Кўриш трубалари (телескоплар) олисдаги буюмнинг қисмларини фарқ қилишда кўзга ёрдам

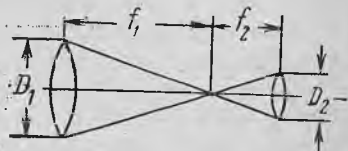
дасталар тушади, тасвирнинг четларидан келаётган дасталарнинг ўқлари  $\varphi' = bO'a$  бурчак ҳосил қилади, чунки  $a$  ва  $b$  нуқталар окулярнинг фокал текислигида ётади.

14.14-расмдан кўринишича, системанинг катталаштириши

$$\mathcal{N}^{\circ} = \operatorname{tg}^{1/2} \varphi' / \operatorname{tg}^{1/2} \varphi = f_1 / f_2, \quad (92.3)$$

яъни объектив ва окулярнинг фокус масофалари нисбатига тенг.

Нормал кўз зўриқмаган ҳолатида параллел нурларни сезади (чексиз узоқдаги нуқтани визирлайди); шунинг учун окулярнинг олдинги фокал текислиги буюмнинг тасвири устига тушиши керак. Буюм чексиз узоқда бўлган хусусий ҳолда (14.15-расм) объективнинг кетинги фокуси окулярнинг олдинги фокуси устига туширилади (телескопик система). Расмдан кўринишича, телескопик системанинг катталаштиришини объективга кирадиган ва окулярдан чиқадиган дасталар кесими диаметрларининг нисбати сифатида, яъни системанинг кириш ва чиқиш қорачиқлари диаметрларининг  $D_1/D_2$  нисбати сифатида ифодалаш мумкин (қ. 110-машқ).



14.15- расм. Нурларнинг телескопик системадаги йўли.

$$\mathcal{N}^{\circ} \text{ Системанинг катталаштириши} \\ = \varphi' / \varphi = f_1 / f_2 = D_1 / D_2.$$

Объектив ҳосил қиладиган тасвир тўнкарилган бўлади. Баъзи ҳолларда окуляр тасвирни тўнкарилганича қолдиради (астрономик трубалар), бошқа ҳолларда эса бир марта ағдариб, натижада тўғри тасвир беради. Ерда ўтказиладиган кузатишларда муҳим аҳамиятга эга бўладиган тўғри тасвир турли усуллар (окуляр тузулиши, қўшимча равишда ағдарувчи призмалар — призматик дурбинлар) билан ҳосил қилинади. Ҳар бир реал кўриш трубаси учун апертура диафрагмаси (кириш ва чиқиш қорачиқлари) ва кўриш майдонининг диафрагмасини аниқловчи диафрагма ва гардишлар жойлашишини танлаш муҳимдир.

Ҳар қандай турдаги кўриш трубалари аввало кўзга ёрдам бериш учун мўлжаллангани сабабли, уларнинг чиқиш қорачиғи кўз қорачиғининг ўлчамларидан ортиқ бўлмаслиги керак. Акс ҳолда кўриш трубасидан чиқаётган ёруғлик оқимининг бир қисми камалак пардада тутилиб қолади ва тасвир ясашда иштирок этмайди. Бу, эса объективнинг ташқи зоналари ишда қатнашмай қолишини билдиради, бунда ишловчи апертура диафрагмаси кузатувчи кўзининг қорачиғи бўлади. Шундай қилиб, объективнинг бутун сиртидан тўғри фойдаланиш учун олинадиган окулярни ва демак, трубанинг катталаштиришини чиқиш қорачиғи керакли ўлчамда бўладиган қилиб мослаштириш лозим. Кечаси кўз қорачиғининг кенлиги 6—8 мм дан ортмайди; кундузги яхши ёритилишда кўз қорачиғи 2—3 мм бўлади.



Системанинг катталаштириши  $\mathcal{N}^\circ = D_1/D_2$  бўлгани сабабли трубанинг диаметридан тўлиқ фойдаланиш учун маъқул бўладиган *минимал* катталаштириш трубанинг вазифасига (кундузги ёки тунги кузатишларда ишлатилишига) ва объективнинг ўлчамларига қараб аниқланади. Масалан,  $D = 50$  мм объективли труба учун тунги кузатишларда катталаштириш 7—8 мартадан кам бўлмаслиги ( $\mathcal{N}^\circ = 50/7$ ). кундузги кузатишларда 20 мартадан кам бўлмаслиги ( $\mathcal{N}^\circ = 50/2,5$ ) керак. Катта телескопда ( $D=500$  мм) *минимал* катталаштириш 75 (юлдузларни кузатиш) билан 200 (Қуёшни кузатиш) орасида ётиши керак. Ҳаддан ташқари катталаштириш ҳам зарарлидир, чунки асбобнинг чиқийш қорачиғи кўз қорачиғидан кичик бўлганда тўр пардадаги тасвирнинг ёритилганлиги кескин равишда камайиб кетади. Буюмнинг қисмларини фарқ қилиш яхшиланмайди, чунки тўр пардадаги тасвир ўлчамларининг ортиши билан буюмнинг ҳар бир нуқтасининг тасвиридаги дифракцион тақсимотнинг кенглиги ҳам ортади (96-§ га солиштиринг).

Чиқийш қорачиғи диаметрининг энг кичик қийматини 1 мм чама-сида бўлади деб олиш мумкин. Шунга мувофиқ равишда, объективи 50 мм бўлган трубанинг фойдали *максимал* катталаштириши 50 га яқин, ярим метр объективли трубанинг фойдали *максимал* катталаштириши 500 га яқин бўлади. Шундай қилиб, труба объективи диаметрининг ҳар бир қиймати учун окулярларни мослаб танлаш йўли билан амалга ошириладиган рационал катталаштиришларнинг чекланган диапазонини кўрсатиш мумкин.

Кўриш трубалари жуда кенг қўлланилади; уларнинг турли типдаги дурбинлардан тортиб астрономик телескопларгача бўлган хилма-хил вариантлари бор. Бу асбобларнинг объективларини тўғрилашда асосий эътибор сферик ва хроматик аберрацияларни тузатишга, синуслар шартини қаноатлантиришга қаратилади; бунга икки линзали системалар қўлланиб эришилади (қ. 82-§). Кўпинча замонавий трубаларга горизонтнинг катта-катта қисмларини аниқ кўришга имкон берадиган мураккаб объективлар қўйилади. Трубалар окулярларининг қараш бурчаклари анча катта (40 дан 70° гача) бўлиши керак, демак, бу окулярларда қия дасталар астигматизми, майдоннинг эгриланиши ва хроматизм каби нуқсонларни йўқотиш керак. Шунинг учун окулярлар ҳамisha мураккаб қилиб, ҳеч бўлмаганда икки линзадан тузилган қилиб тайёрланади.

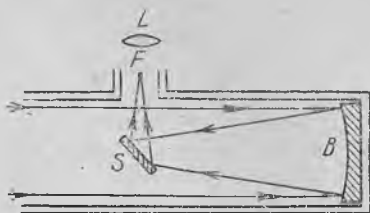
Астрономик кузатишларда ишлатишга мўлжалланган кўриш трубаларига (телескопларга) энг юксак талаблар қўйилади. Чиқийш қорачиғининг ўлчами йўл қўйиладиган қийматда бўлганда ва, бинобарин, буюмнинг қисмлари яхши фарқ қилинадиган бўлганда мумкин қадар кўпроқ катталаштириш учун объективларининг диаметри имкон борича катта бўлган телескоплар ишлатиш зарур эканлигини кўрамиз (96-§ га солиштиринг). Жуда заиф юлдузларни кузатиш масаласи муносабати билан ҳам ўшандай талаб юза-

га келади (қ. 95-§). Ҳозирги вақтда *рефлекторлар*, яъни қайтаргичли объектив ўрнатилган телескоплар энг кучли трубалар ҳисобланади. Қайтаргичли биринчи телескопни Ньютон қурган (1672); Ньютон линзали объективларда албатта хроматик аберрация бўлади, деган фаразга асосланиб, кўзгу ишлатган. Маълумки, Ньютоннинг бу хулосаси хато эди (қ. 86-§), аслида ахроматик объективлар яшаш мумкин. Ҳозирги вақтда биринчи даражали *рефракторлар* бор; бироқ катта линзали объектив яшаш учун яроқли бўлган бир жинсли шиша диск тайёрлашдан кўра катта диаметрли кўзгу яшаш техник жиҳатдан осон. Шунинг учун гарчи қайтарувчи сиртлар тайёрлаш аниқлигига қўйиладиган талаблар синдирувчи сиртлар тайёрлашдаги талаблардан тўрт марта юқори бўлса-да, катта кўзгули объективлар яшаш анча осон иш бўлиб чиқди. Масалан, ҳозирги вақтда кўзгусининг диаметри 5 м га яқин бўлган рефлектор бор (Маунт-Паломар обсерваторияси) ва диаметри 6 м бўлган рефлектор (СССР) яқинда ишга тушади, ваҳоланки мавжуд рефракторлардан энг каттасининг объективи диаметри атиги 1 м га боради.

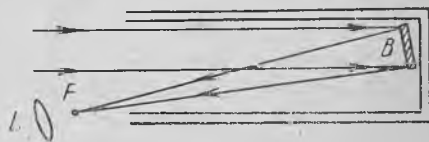
Рефрактор схемаси принцип жиҳатдан олганда худди 14.14-расмдаги билан бир хил.

Энг оддий рефлекторнинг Ньютон таклиф этган кўринишдаги схемаси 14.16-расмда тасвирланган.  $B$  — қайтарувчи кўзгу. Оғдирувчи ясси  $S$  кўзгу окулярни ва кузатувчининг калласини асосий ёруғлик дастасидан четроқда тутишга ва ортиқча диафрагмалаб қўймасликка хизмат қилади. Кузатувчининг труба ичига бутунлай кириб туриши замонавий улкан рефлекторлар учун қиёсан унча катта бўлмаган ва йўл қўйилиши мумкин бўлган экранланишга олиб келган бўлар эди. Бироқ ёруғлик нурларининг асосий юриш йўллари соҳасида кузатувчининг танасидан чиқадиган иссиқлик оқимлари тасвирнинг сифатини жуда пасайтириб юборади. Шунинг учун оғдирувчи кўзгу олиб ташланган эмас.

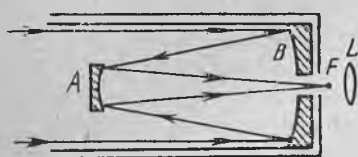
Ломоносов ихтиро этган ва кейинчалик Гершель ҳам қурган қайтаргичли телескоп (рефлектор) схемаси 14.17-расмда кўрсатилган. Бу схеманинг ўзига хос хусусияти унда ёрдамчи  $S$  кўзгунинг йўқлиги (буниси жуда муҳим эди, чунки ўша замонларда кишилар яхши кўзгу қилишни билишмаганлар) ва қайтарувчи  $B$  кўзгунинг қия ўрнатилганлигидир; бу ҳол ёруғлик нурининг асосий юриш



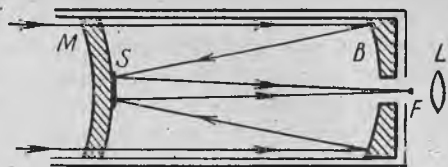
14.16- расм. Ньютон рефлекторининг схемаси.



14.17- расм. Ломоносов—Гершель рефлекторининг схемаси.



14.18-расм. Кассегрен рефлекторининг схемаси.



14.19-расм. Д. Д. Максудовнинг менискли телескопларидан бирининг схемаси.

йўлларида экранловчи тўсиқларни йўқотишга имкон беради. Ўққа қия бўлган дасталар билан ишлаш зарурати бу рефлекторларда тасвирлар сифатини ёмонлаштиради.

Гарчи рефлекторларда хроматик абберация бўлмаса-да, кўзгулар сферик шаклда бўлганда сферик абберация анча кучли халақит беради. Шунинг учун яхши рефлекторларда асферик кўзгулар, масалан, ясаилиши техник жиҳатдан анча қийинроқ бўлган айланиш параболоиди шаклидаги кўзгулар ишлатишга тўғри келади. Одатда 14.18-расмда кўрсатилганга (Кассегрен системаси) ўхшаган икки асферик кўзгудан (бош кўзгу ва иккиламчи кўзгудан) тузилган мураккаб системалар қўлланилади. Бундай рефлекторлар ҳар бир кўзгудан ҳосил бўладиган абберацияларнинг ўзаро компенсацияланиши ҳисобига янада такомилланиши мумкин.

Шундай қилиб, эллиптик ва гиперболик кўзгулар ишлатиб шундай системалар яратиш мумкинки, буларда сферик абберациягина эмас, балки кома ҳам тузатилган бўлади. Афтидан, энг такомиллашган гигант телескоплар мана шу тариқа яратилиши мумкин бўлади.

Оптик жиҳатдан ажойиб бўлган ва қиёсан арзонга тушадиган системалар яратиш соҳасида эришилган ютуқлар шундан иборатки, оптикада кўзгу ва линзалар аралаш ишлатилган системалар яратилди, буларда зарарли бир қатор абберациялар жуда тўлиқ йўқотилган. Бу турдаги энг такомиллашган система Д. Д. Максудовнинг менискли системалари бўлиб (14.19-расм), уларда қайтарувчи сферик  $B$  кўзгу сферик сиртли  $M$  мениск билан бирга ишлатилади (қ. 77-§). Тегишли қилиб ҳисобланган менискни унинг абберациялари кўзгунинг абберацияларини компенсациялайдиган қилиб олиб, бош абберациялари ўшандай нисбий тешикли линзали системанинг мос абберацияларидан кўп марта кам бўлган системалар яратиш мумкин. Масалан, Д. Д. Максудов берган маълумотга кўра, нисбий тешиги  $1 : 5$  бўлган менискли системада (линзали эквивалент объективнигига қараганда) сферик абберация 11 марта, кома 11 марта, сферохластик абберация 124 марта, иккиламчи спектр 640 марта ва катталаштириш хроматизми 3,8 марта кам. Ҳоят зўр бўлган бу афзалликлар билан бирга ҳисоб қилиш ва ясаш (сферик

сиртлар ясаш!) осонлиги менискли системаларни оптика техникасининг ажойиб ютуғи даражасига кўтаради. Мана шу принцип асосида ниҳоятда камол топган ҳар қандай тур рефлектор қуриш мумкин. Масалан, 14.19-расм Максутов принципи билан Кассегрен типида телескоп ясашни кўрсатади. Ҳозирги вақтда аъло даражали астрономик асбоблар ҳам, турмушда ишлатиладиган оддийгина асбоблар ҳам (кўзойнак дурбин, фотообъектив ва бошқалар) ўша принципда ясалади.

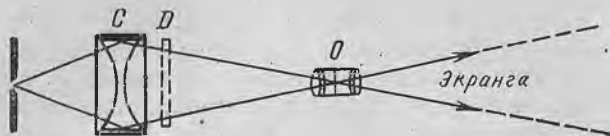
### 93- §. Проекцияловчи қурилмалар

Олдинги параграфда кўриб ўтилган оптик асбоблар кўзга ёрдам беришга мўлжалланган бўлиши билан бирга буюмнинг *мавҳум* тасвирини ҳосил қилади; бу тасвири окулярдан қараб турган фақат битта кузатувчигина кўради (субъектив кузатиш). Асбобларнинг бошқа бир тури ҳақиқий тасвир ҳосил қилади, бу тасвир экранга туширилиши ва шунинг учун уни бир вақтда кўп одам кўриши мумкин (объектив кузатиш). Бу асбоблар *проекцияловчи* асбоблар деб аталади; улар (проекцион фонарь, киноаппарат) кейинги вақтларда айниқса кўп тарқалди.

Проекцияловчи системанинг вазифаси ёруғлик чиқараётган ёки ёритилаётган буюмнинг катталаштирилган ҳақиқий тасвирини ҳосил қилишдир. Бунинг учун буюм проекцион объективнинг бош фокал текислиги яқинига қўйилади; тасвир аниқ бўлиши учун объектив сурила оладиган қилиб ишланган. Ўлчамлари пресекион объективнинг ўлчамларидан катта бўлган диапозитив ёки чизмаларни проекциялаш кўпроқ тарқалган. Проекцион объективнинг сферик ва хроматик абберациялари, астигматизм ва кўриш майдонининг эгриланиши каби нуқсонлари тузатилган бўлиши керак. Яхши проекцион объектив ўзининг сифатлари жиҳатидан фотообъективга яқин бўлади.

Тасвири кўп катталаштиришда буюмдан келаётган ёруғлик оқимидан яхши фойдаланиш муҳим масала ҳисобланади, чунки бу оқим катталашган тасвири катта сиртига тақсимланиши керак. Буюмнинг ўлчамлари каттароқ бўлгани учун буюмдан келаётган бутун ёруғликни қиёсан кичик проекцион объективга туширишга имкон берадиган махсус ёритиш қурилмаси зарур. Бу мақсадда қисқа фокусли каттагина  $S$  конденсордан фойдаланилади; 14.20-расмда кўрсатилган конденсор шундай турибдики, ундан чиққан ёруғлик проекцион  $O$  объективнинг кириш қорачиғига тўпланади. Иккинчи томондан, объектив билан  $D$  буюм орасидаги масофа тасвири аниқ бўлишига мос келиши лозимлиги туфайли конденсор билан объектив бир-бирига мосланган бўлиши керак.

Ёритиш кучи катта бўлган замонавий объективлар ношаффоф буюмларни ҳам қулай проекциялаш имконини яратди (*эпипроекция*). Бу ҳолда буюм (чизма) лампа ва кўзгулар воситасида ён



14.20- расм. Нурларнинг проекцияловчи қурилмадаги йўлининг схематик тасвири.

*C* конденсор ёруғлик манбаи *O* объективнинг кириш қорачигига проекциялайди. *O* объектив *D* диапозитивни узбқдаги экранга проекциялайди.

томондан кучли равишда ёритилади ва ёритиш кучи катта бўлган объектив ёритилган буюмни экранга проекциялайди. Кўп асбобларда шаффоф (диа) ва ношаффоф (эпи) буюмларни проекцияладиган қурилма бирга ишлатилади. Бундай асбоблар *эпидиаскоплар* деб аталади.

Микроскопик буюмларни проекциялашда окуляри ўрнига махсус проекцион қурилма ўрнатилган микроскоп қўлланилади; тегишлича суриб қўйилган одатдаги окуляр ишлатилганда ҳам, ҳатто окулярсиз ҳам экранда ҳақиқий тасвир ҳосил қилиш мумкин.

Микроскопда жуда катталаштириб проекциялашдаги асосий қийинчилик тасвир ёритилганлигининг заифлигидадир. Ёритиш қурилмалари кўп такомиллаштирилганига қарамай, катта аудиторияларда микропроекциялаш шу чоққача яхши натижа бермади.

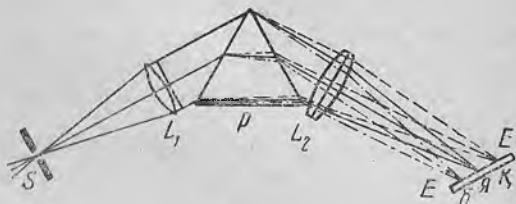
#### 94- §. Спектрал аппаратлар

Оптик асбоблар орасида спектрал аппаратлар анча муҳим ўрин эгаллайди; бу аппаратлар ёруғлик чиқараётган буюмнинг тасвирини ҳосил қилишга эмас, балки буюмдан келаётган ёруғликнинг спектрал таркибини текширишга мўлжалланган. Спектрал аппаратнинг муҳим қисми ёруғликни тўлқин узунликларига қараб ажратадиган қурилмадир. Бундай вазифани дисперсияси анча катта бўлган материалдан ясалган призма, дифракцион панжара ёки бирор интерференцион асбоб бажаради. Дифракцион панжара ва интерференцион асбоблар монохроматик ёруғликка анча яқин бўлган ёруғликни батафсил анализ қилиш учун хизмат қилади, чунки бу асбобларнинг дисперсион соҳаси жуда чегаралангандир. Шунинг учун улар кўпинча призматик ёки дифракцион спектрал аппаратлар билан бирга қўшиб ишланган бўлади, бу аппаратлар энг кўп тарқалган.

Призмали спектрографнинг схематик тузилиши 14.21-расмда кўрсатилган. Агар спектрал аппарат ёруғлик чиқарувчи жуда энсиз буюмнинг спектрал ранглари тасвирини бера олса, тоза спектр олиш мумкин, чунки тўлқин узунлиги жиҳатидан яқин бўлган тас-

14.21- расм. Нурларнинг спектрографдаги йўлининг схематик тасвири.

$S$ —тирқиш;  $L_1$  — коллиматор объективи;  $P$  — призма;  $L_2$  — камера объективи;  $EE$ —фото-пластинка.



вирлар бир-бирининг устига тушмайди. Шунинг учун асбобнинг муҳим қисми икки пичоқдан иборат бўлган  $S$  тирқиш ҳисобланади; пичоқларни винт ёрдамида бир-бирига яқинлаштириш ёки бири-биридан узоқлаштириш мумкин. Тирқишнинг ишчи кенглиги миллиметрнинг мингдан бир улушларидан тортиб ўндан бир улушларигача боради; махсус мақсадларда бундан ҳам кенгроқ тирқишлар ишлатилади.

Объектив ва призмалар системаси тирқишнинг аниқ тасвирини фотографик пластинка турган  $EE$  текисликка туширади. Тирқишдан ўтган ёруғлик призма орқали ўтиши керак бўлгани сабабли астигматизмни йўқотиш учун призмага тушаётган нурлар дастаси параллел дастага айлантирилади (қ. 84-§). Бу мақсадга олдинги труба (коллиматор) хизмат қилади, труба ичида  $S$  тирқиш  $L_1$  линзанинг фокал текислигига қўйилади. Тирқишнинг ўлчамлари жуда кичик (эни миллиметрнинг юздан бир улушларидан бир нечаси ва балансдиги 3—4 мм) бўлгани ва ўзи  $L_1$  объектив ўқида жойлашгани учун объективнинг асосан сферик ва хроматик абберациялари тузатилган бўлиши керак; шундай қилинганда турли тўлқин узунликлари учун дасталар параллел бўлади. Шунинг учун одатда коллиматорнинг объективи ёпиштирилган ахроматик линза тарзида ишланади.

Призмадан чиқадиган параллел дасталарда тўлқин узунликлари турлича бўлган нурлар турли йўналишга эга бўлади; бу йўналишлар призмаларнинг материалига ва сонига қараб бир неча градусга тенг бурчаклар ҳосил қилади. Бироқ дисперсия катта бўлганда ҳам йўналишлар фарқи бир неча градусдан ортмайди. Шунинг учун камера объективининг кўриш майдони унча катта бўлмайди; ўшанинг эвазига замонавий аппаратларда кўпинча нисбий тешиги\* катта бўлган объективлар талаб қилинади. Бу объективларнинг сферик абберацияси ва комаси тузатилган бўлиши лозим. Хроматик абберацияни тузатиш шарт эмас, чунки тўлқин узунлиги турлича бўлган нурлар пластинканинг турли нуқталарида тасвир беради. Шу сабабли турли тўлқин узунликлари учун пластинкани тегиш-

\* Диаметри 15 см чамасида бўлган объективнинг нисбий тешиги 1:0,7 бўлган спектрографлар бор.

лича оғдириш орқали тасвир аниқ бўладиган қилинади. Бироқ системани шундай ҳисоб қилиш керакки, бунда ҳосил бўладиган спектр бир текисликда ётадиган бўлсин. Акс ҳолда фотопластинкани тегишлича эгиш керак, пластинкани махсус шаклда ишланган кассета эгади.

Объективларнинг ўлчамлари призмаларнинг ўлчамларига мувофиқ равишда шундай танланадики, бунда турли тўлқин узунлигига мос келган турли йўналишдаги дасталар диафрагмаланиб қолмасин. Призманинг ўлчамлари катта бўлганда асбобга тушадиган ёруғлик миқдоригина (аппаратнинг ёритиш кучи) эмас, асбобнинг ажрата олиш қобилияти, яъни узунлиги бир-бирига яқин бўлган тўлқинларни фарқ қилиш имконияти ортади (қ. 100-§).

Коллиматорнинг оптик ўқида ётган тирқиш марказидан чиқаётган параллел дастанинг тушиш текислиги призманинг бош кесимидир; тирқишнинг бошқа нуқталаридан чиқаётган дасталар бош кесимга бурчак ҳосил қилиб тушади ва тирқишнинг тегишли нуқтаси марказдан қанча узоқда ётган бўлса, бу дасталар шунча кучлироқ синади. Шунинг учун тўғри чизиқ шаклидаги тирқиш ёй тарзида тасвирланиб, бу ёйнинг қавариқ томони спектрнинг қизил четига қараб туради. Тирқиш қапча юқори ва коллиматор объективининг фокуси қанча қисқа бўлса, спектрал чизиқларнинг бу зериланиши шунчалик катта бўлади.

Кўринадиган ёруғлик билан ишлашга мўлжалланган асбоблардаги призма (ва линзалар) дисперсияси катта бўлган шишадан (флинтдан) ясалади, ультрабинафша нурлар билан ишлашга мўлжалланган асбобларда призма (ва линзалар) кварц ёки сильвиндан ( $\lambda > 200$  нм учун) ва флюоритдан ( $\lambda < 200$  нм учун) ясалади. Инфракизил спектрографлар оптикиси тош туз ёки сильвиндан, шунингдек кварц, флюорит ва бошқа махсус материаллардан ясалади.

Тўлқин узунлиги турлича бўлган нурлар йўналиши орасидаги бурчак ( $\Delta\varphi/\Delta\lambda$  бурчакли дисперсия) призмалар сонига, уларнинг материалига ва синдирувчи бурчакларининг катталигига боғлиқ. Призмалардан баъзилари 86-§ да тавсифлаб берилган. Призмадаги дисперсия призманинг параллел нурлар дастасида тутган вазиятига ҳам боғлиқ. Нурларнинг тушиш бурчаги минимал оғишга (қ. 86-§) мос келадиган бурчакдан кичик бўлиб қолганда дисперсия кўп ортиб кетади. Бироқ бундай вазиятда чиқаётган дастанинг эни тушаётган дастанинг энидан анча кичик бўлиб қолиб, призма тасвирни катталаштирувчи телескопик система каби ишлайди (қ. 111-машқ). Бу аҳвол спектрал аппаратнинг ёритиш кучига ёмон таъсир кўрсатади. Призмалар бундай ўрнатилганда бурчакли дисперсия анча ортиқ бўлгани туфайли янада қисқа фокусли объективлар ва, бинобарин, ёритиш кучи янада юқори бўлган объективлар ишлатиш мумкин. Шунинг учун гарчи кўпчилик спектрографларда призма минимал оғишга мос қилиб ўрнатилса-да, бундай системалар баъзан қўлланилади (В. М. Чулановский). Турли тўлқин узунлигига мос

келган чизиқлар (пластинкадаги чизиқлар) орасидаги масофа ( $\Delta l / \Delta \lambda$  чизиқли дисперсия) камера объективининг  $f'$  фокус масофасига боғлиқ:

$$\frac{\Delta l}{\Delta \lambda} = \frac{\Delta \varphi}{\Delta \lambda} f'. \quad (94.1)$$

Тирқишнинг фотопластинкадаги тасвирининг катталиги коллиматор ва камера объективларининг  $f$  ва  $f'$  фокус масофаларига боғлиқ. Тирқишнинг эни  $b$  ва баландлиги  $h$ , унинг тасвирининг эни  $b'$  ва баландлиги  $h'$  бўлсин. Призмалар минимал оғдириш вазиятида ўрнатилганда

$$b' = bf'/f \text{ ва } h' = hf'/f$$

эканлигини кўриш осон. Минимал оғдириш вазиятига қўйилганда ва ёруғлик монохроматик бўлганда тирқиш  $S$  юзининг унинг тасвирининг  $S'$  юзига нисбати қуйидагига тенг бўлади:

$$S/S' = f^2/f'^2. \quad (94.2)$$

Бу нисбат спектрографнинг ёритиш кучини ҳисоб қилишда аҳамиятга эга бўлади;  $f'^2$  қанча катта бўлса, спектрографнинг ёритиш кучи шунча кичик бўлади (қ. 135-машқ).

Шундай қилиб, камера объективининг фокус масофаси ( $f'$ ) ортиши спектрографнинг ёритиш кучини камайтириб, чизиқли дисперсиясини орттиради. Чизиқли дисперсиянинг ортиши жуда фойдали бўлиши мумкин, чунки фотоэмульсиялар донадор структурали бўлгани туфайли икки чизиқ тасвирининг фотопластинкада яқин жойлашиши уларни фарқ қилишни қийинлаштиради.

Спектрал асбобни ёруғликдан яхши фойдаланадиган қилиш учун кўпинча тирқиш билан ёруғлик манбаи орасига ёрдамчи линза (конденсор) қўйилади, бу ҳолда коллиматорнинг объективи ёруғлик билан тўлдирилади. Конденсорнинг ундан чиқадиган даста апертураси коллиматор апертурасидан ортиқ бўладиган ўлчамини орттириш ёруғлик оқимидан фойдаланиш нуқтаи назаридан бефойдадир, бироқ коллиматорни бир оз ортиқча тўлдириб ёритишнинг анча афзаллиги бор, чунки бу ҳол назарий жиҳатдан осон анализ қилинадиган ёритиш шароитларини яратишга имкон беради (ёритишнинг когерентлик даражаси камайиши, қ. 22-§). Тирқишдан тегишли масофада жойлашган ёруғлик манбаининг чизиқли ўлчамлари катта бўлганда коллиматор конденсор ёрдамсиз соф геометрик жиҳатдан ёруғлик билан тўлдирилади. Бироқ ёруғлик манбаининг ўлчамлари кичик бўлганидагидек, бу ҳолларда ҳам кўпинча ҳатто тузилиши мураккаброқ бўлган конденсорлар ишлатилади, бундай қилинганда ёруғлик манбаининг бирор қисми ажратилади, тирқиш бир текис ёритилади ва тасвирнинг ёритилганлиги бир текис бўлади (виньетирлашни тузатиш, қ. 89-§).



### 95- §. Ёруғликни сезиш. М. В. Ломоносовнинг «Тунда кўриш трубаси»

Энди инсоннинг идрок этиш аъзолари ёруғликни қандай сезишини ва ёруғликни сезишда оптик асбобларнинг роли қандай эканини кўриб чиқамиз.

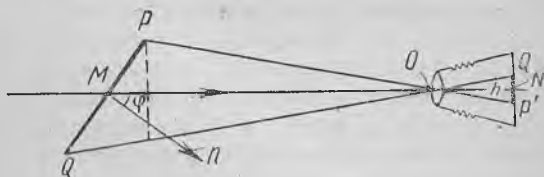
Кўзнинг тўр пардасига ёруғлик тушиши туфайли кўриш нервлари таъсирланади, яъни кўз ёруғликни сезади. Тўр парданинг ҳар бир элементи бир-биридан мустақил равишда таъсирланади, шу сабабли тўр парданинг ёритилган сиртининг ортиши айрим элементларнинг ёруғликдан таъсирланишини кучайтirmайди, балки ёритилган майдоннинг ортишидек ҳис этилади. Шунинг учун ёруғлик сезгиси тўр парданинг *ёритилганлиги* билан, яъни тўр парданинг бирлик юзига тўғри келадиган ёруғлик оқимининг катталиги билан аниқланади. Бу жиҳатдан қараганда кўз фотоаппаратга ўхшайди; фотоаппаратда ҳам пластинканинг тайинли ҳар бир жойда қорайиши унинг ёритилганлигига боғлиқ бўлади, ёритилган қисм ўлчамларининг ортиши тасвир майдонини ортттиради, холос\*.

Бироқ фотопластинка кўздан фарқли ўлароқ, ёруғлик оқимини вақт бўйича жамлайди (*интеграллайди*), оқибатда узоқ вақт ёритилса пластинканинг ҳар бир жойи кўпроқ қораяди; шу туфайли жуда заиф ёруғлик оқимларини қайд қилишда фотопластинкадан фойдаланиш мумкин, бунинг учун бу оқимлар етарлича вақт давомида пластинкага тушиб турадиган бўлиши керак. Аксинча, ёруғлик таъсирининг узоқ давом этиши умуман айтганда кўзнинг ёруғлик сезишини орттirmайди ва тўр парданинг ёритилганлиги биз ёруғлик сезмайдиган даражада жуда оз (таъсирланиш бўсағасидан паст) бўлса, у ҳолда кўзга узоқ вақт ёруғлик тушириб турган билан кўз бу заиф ёруғликни сезмайди. Бироқ кўзнинг ёритиш шароитлари ўзгаришига лаёқатланиш қобилияти (адаптация) борлиги ва бошқа физиологик процесслар (қ. 193-§) туфайли вақт кўриш туйғусида маълум роль ўйнайди.

Кўз ва фотопластинкадан фарқли ўлароқ, фотоэлемент ёруғликка сезгир сиртнинг ёритилганлигини эмас, балки ёруғлик оқимини сезади, чунки фототок, яъни ёруғлик таъсиридан вақт бирлиги ичида чиқадиган электронлар сони бир секунд ичида бутун ёритилган сирт ютадиган ёруғлик энергияси миқдорига пропорционалдир. Шунинг учун фотоэлементнинг сезгирлиги одатда люменга микроампер ҳисобида ифодаланади. Агар ажралиб чиққан зарядлар миқдори ўлчанса (сиғимли электромтр), фотоэлемент ёруғлик таъсирини вақт бўйича жамловчи асбоб сифатида ҳам ишлайди;

\* Тўр парданинг ёритилганлиги ўзгармас бўлган ҳолда ёруғлик туйғуси маълум даражада тасвирнинг ўлчамларига боғлиқ бўлиб, тасвир 5--7° бурчак остида кўринганда ёруғлик туйғуси максимум бўлар экан. Ҳали бу ҳодисанинг сабаби топилган эмас, аҳтимол у кўзнинг физиологик хусусиятларига алоқадор бўлган ҳодисадир.

14.22-расм. Тасвирнинг ёритилганлиги билан буюм равшанлиги ва оптик системанинг параметрлари орасидаги муносабатни келтириб чиқаришга оид.



агар ҳосил бўлаётган токнинг кучи ўлчанса (гальванометр), ёруғлик таъсири вақт бўйича жамланмайди.

Айтиб ўтилган фарқлар туфайли, бу асбобларга ёритилган буюм яқинлаштирилиши уларга турлича таъсир кўрсатади. Фотоэлементга ёруғлик чиқарувчи сирт яқинлаштирилганда ёруғлик оқими ортади ва бинобарин, таъсири ортади. Кўз ва фотокамерада аҳвол бошқача, чунки ёруғлик чиқарувчи сирт яқинлаштирилганда ёруғлик оқимигина эмас, балки тасвирнинг ўлчами ҳам ўзгаради.

Камерага тўғриланган ёки кўз кўриб турган ёруғлик чиқарувчи сирт  $PQ$  бўлсин (14.22-расм),  $O$  — системанинг оптик маркази,  $P'Q'$  — тасвир,  $r = MO \approx OP \approx OQ$  — буюмгача бўлган масофа,  $ON = h$  — тасвиргача бўлган масофа (камера ёки кўз чуқурлиги). Системанинг кириш қорачиғининг (объектив диафрагмаси ёки кўз қорачиғининг) юзини  $S$  билан,  $PQ$  нинг юзини  $\sigma$  билан,  $P'Q'$  нинг юзини  $\sigma'$  билан белгилаймиз. Кўриниб турибдики,

$$\sigma' = \sigma \cos \varphi \frac{h^2}{r^2}.$$

Ёруғлик чиқарувчи сиртнинг равшанлиги  $B$  бўлса (ҳисоб соддароқ бўлиши учун сирт Ламберт қонунига бўйсунди, яъни  $B$  равшанлик йўналишга боғлиқ эмас, деб фараз қиламиз), у ҳолда системага келиб тушаётган оқим

$$\Phi = B \sigma \cos \varphi \cdot \Omega = B \sigma \cos \varphi \frac{S}{r^2} \quad (95.1)$$

бўлади, чунки системага келаётган оқимнинг фазовий бурчаги қуйидагига тенг:

$$\Omega = S/r^2.$$

Шундай қилиб, фотопластинканинг (тўр парданинг) ёритилганлиги қуйидагига тенг:

$$E = \Phi/\sigma' = BS/h^2. \quad (95.2)$$

Кўриб турибмизки,  $S/h^2$  нисбатнинг тайинли қийматида тасвирнинг ёритилганлиги манбанинг равшанлигига пропорционал. Шундай қилиб, кўзнинг кўриш туйғуси масофага боғлиқ эмас, чунки  $r$  ўзгарганда  $h$  деярли ўзгармайди. Масалан, биз узун кўчадаги бир қатор фонарларни кўрганимизда улар биздан ҳар хил масофада турган бўлишига қарамай, кўриш туйғуси бўйича биз уларни бир

хилда равшан деб ҳисоблаймиз (албатта, атмосфера жуда тоза бўлган ҳолда) (қ. 10-машқ). Бу фикр фотокамера учун ҳам тўғри бўлади, фақат буюм  $h$  ни орттириш керак бўладиган даражада яқин келтирилган бўлмаса бас. Буюмлар узоқда бўлганда  $h$  масофа объективнинг  $f$  фокус масофасига деярли тенг бўлади. Шундай қилиб, фотокамерадаги ёритилганлик объективнинг  $(D/f)^2$  ёритиш кучига пропорционал. Равшанлиги кам буюмларни кўришда (фотосуратга туширишда) биз кўзимизнинг қорачиғини нима учун орттиришимизни)  $E = BS/h^2$  муносабат кўрсатади.

Тўр парданинг ёритилганлиги буюмнинг равшанлигига пропорционал бўлгани учун, жуда равшан буюмларни кўриш кўзни оғритади. Равшанликнинг кўз оғримасдан чидайдиган юқориги чегараси  $16 \cdot 10^4$  кд/м<sup>2</sup> чамасида эканлиги тадқиқотлардан аниқланган. Демак, чўғланма лампанинг толасига қарашга кўз ожизлик қилади. Агар ўша толанинг ўзи хира колба ичига қўйилган бўлса, деярли айна ўша оқимни каттароқ сирт юборади ва равшанлик кўп пасаяди. Шундай қилиб, турли ёритиш арматуралари кўзлаган мақсадлардан бири (қ. 7-§) ёруғлик оқимини ва демак, буюмларнинг ёритилганлигини сезиларли даражада пасайтирмаган ҳолда ёруғлик манбаларининг равшанлигини камайтиришдир.

Жуда олисдаги буюмларни кўришда улар тасвирининг ўлчами кўзнинг ажрата олиш қобилиятига алоқадор бўлган лимит қийматига қадар кичраяди. Бундай ҳолда ўртача ёритилганлик буюмнинг равшанлигига боғлиқ бўлмай қолади. Тасвирнинг ўлчами ўзгармас бўлгани учун ёритилганлик кўзга тушаётган ёруғлик оқимига пропорционал бўлади, ёруғлик оқими эса манбанинг ёруғлик кучига ва манбадан кўзгача бўлган масофага боғлиқ. Шунинг учун, масалан, диаметри кўринадиган бурчак (бурчакли диаметри) бир секунддан кичик бўлган юлдузлар кўзни қамаштирмайди, ваҳоланки уларнинг ҳақиқий равшанлиги кўпинча Қуёш равшанлигидан ортиқ; Қуёш диаметри кўринадиган бурчак (32') кўзнинг ажрата олиш чегарасидан (1' дан) анча катта бўлгани туфайли Қуёш кўзни ниҳоятда кучли қамаштиради.

Оптик асбобдан фойдаланганда биз буюмнинг ўзини эмас, балки унинг тасвирини кўрамиз ёки бу тасвир бирор аппаратга таъсир қилади. Бу тасвирнинг равшанлигини аниқлаш учун ундан чиқаётган ёруғлик оқимини, тасвирнинг юзи ва шу оқимни чегаралаб турган фазовий бурчакни ҳисоблаш керак.

$B$  равшанлиги йўналишга боғлиқ бўлмаган (яъни ҳамма йўналишда бир хил бўлган) ёруғлик манбаи бирор оптик система воситасида бузилмасдан (апланатик равишда, 85-§ га солиштиринг) акслансин, деб фараз қилайлик (14.23-расм). Тасвирнинг  $B'$  равшанлигини топамиз.

Манбаининг чизиқли ўлчамлари, юзи ва апертурасини  $u$ ,  $\sigma$  ва  $u_0$  билан, тасвирнинг ўлчамлари, юзи ва апертурасини  $u'$ ,  $\sigma'$  ва  $u_0'$



14.23- расм. Оптик системадаги тасвирнинг равшанлигини ҳисоблашга оид.

билан белгилаймиз;  $\sigma$  юз  $y^2$  га пропорционал,  $\sigma'$  юз эса  $y'^2$  га пропорционал. Манбадан келаётган тўлиқ оқимни ҳисоблаб топиш учун элементар фазовий  $d\Omega$  бурчак орқали ўтаётган оқимни ҳисоблаб топиб, уни бутун апертура бўйича интеграллаймиз. Равшанки (7- § га солиштиринг),  $d\Omega = \sin u \, du \, d\theta$ , бу ерда  $u$  — элементар дастанинг ўқи билан система ўқи орасидаги бурчак,  $\theta$  — азимутал бурчак (система ўқи атрофида). Айни вақтда  $u$  бурчак элементар даста билан  $\sigma$  юзга ўтказилган нормал орасидаги бурчак ҳам бўлгани учун  $\sigma$  юздан ўтаётган элементар оқим  $d\Phi = B\sigma \cos u \, d\Omega = B\sigma \cos u \sin u \, du \, d\theta$  (7- § га солиштиринг),  $u_0$  апертура ичидаги тўлиқ оқим

$$\Phi = \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^{u_0} B\sigma \cos u \sin u \, du = \pi B\sigma \sin^2 u_0.$$

Шунга ўхшаш, тасвирдан келаётган оқим  $\Phi'$  га тенг:

$$\Phi' = \pi B'\sigma' \sin^2 u'_0.$$

Апланатизм шarti (синуслар шarti)

$$n y \sin u_0 = n' y' \sin u'_0$$

ёки

$$n^2 \sigma \sin^2 u_0 = n'^2 \sigma' \sin^2 u'_0,$$

бу ерда  $n$  ва  $n'$  — манба ва тасвир ётган муҳитларнинг синдириш кўрсаткичлари. Системада оқимлар исрофини ҳисобга олмасак,

$$\Phi = \Phi'$$

бўлади. Шундай қилиб, ниҳоят

$$B' = B n'^2 / n^2$$

эканини топамиз. Агар  $n = n'$  бўлса, яъни манба билан тасвир айни бир муҳитда, масалан, ҳавода бўлса, у ҳолда

$$B' = B$$

бўлади. Шундай қилиб, системада ёруғлик оқимининг қайтиш ва ютилиш ҳисобига исроф бўлиши эътиборга олинмаса, шунингдек

тасвир манба турган муҳитда ҳосил бўлса, ҳар қандай системада тасвир ҳосил бўлишида тасвирнинг равшанлиги манбанинг равшанлигига тенг бўлади.

Бу ҳулоса оптик система тасвирнинг ўлчамларини камайтириш билан бирга ёруғлик оқими юбориладиган фазовий бурчакни оширишининг (79-§ га солиштиринг) оқибатидир. Шундай қилиб, биз буюмга оптик система орқали қараганимизда равшанликдан ютмаймиз. Бироқ бу фикр ўлчамлари асбобнинг ажрата олиш чегарасидан катта бўлган буюмларни кузатишдагина тўғри бўлади. Акс ҳолда объективнинг диаметри қанча катта бўлса, кўзнинг тўр пардасида ҳосил бўладиган ўзгармас катталиқдаги тасвир шунча кўп ёруғлик оқими олади. Шундай қилиб, катта телескоп орқали қараганда кўзга бевосита кўринмайдиган юлдузларни кўриш мумкин, чунки улар осмон гумбази фониди кўринмайди. Телескоп орқали қаралганда ўлчами катта бўлган буюм сифатидаги осмон гумбазининг равшанлиги ўзгармайди (ёруғлик оқимининг асбоб ичидаги исрофлари эътиборга олинмаганда), юлдуз тасвирининг равшанлиги (тўр пардадаги тегишли жойнинг ёритилганлиги) эса объектив юзининг қорачиқ юзига нисбати каби, яъни бир печанинг марта ортади. Гарчи оптик система тасвирининг равшанлигини орттира олмасан-да, системага тушаётган оқимни тасвирнинг кичик ёки катта юзига тўплаш орқали тасвирнинг ёритилганлигини анча ўзгартира олади. Равшанлиги кичик буюмларни фотосуратга олишда ёритиш кучи катта бўлган фотообъективларнинг аҳамияти зўр эканлиги ана шундан кўринади (қ. 135-машқ).

Шуни ҳам қайд қилиш керакки, гарчи равшан манбага (Қуёшга) дурбин орқали қараганда тасвирнинг равшанлиги фақат камайсан-да, кўз қамаштиш хавфи кўп ортиб кетади. Бунинг сабаби қуйидагича: тўр парданинг кўзни қамаштирадиган таъсир тушадиган юзи қанча катта бўлса, у шунча кўп зарарланади, чунки киши организми бу зарарли таъсирни нейтраллаб улгуролмайди.

Шундай қилиб, оптик система ўлчами катта бўлган буюмнинг равшанлигини орттира олмайди, ёруғликнинг линзалар сиртидан қайтиши ва шишада ютилиши ҳисобига равшанликни деярли ҳаммиша бирмунча камайтиради. Шунга қарамасдан, буюмлар ёритилганлиги заиф бўлганда оптик система буюмнинг *кўринувчанлигини яхшилаш* жиҳатидан фойда келтириши мумкин. Сабаб буюмнинг тафсилотини яхши ажрата билишдадир. 91-§ да айтиб ўтилганидек, ёритилганлик кам бўлганда кўзнинг ажрата олиш қобилияти пасаяди. Ёритилганлик люкенинг ўн мингдан бир улшуларигача тушиб қолган тунги шароитларда буюмнинг ёритилганлиги фоннинг ёритилганлигидан ўн марта ортиқ бўлганда ҳам кўзнинг ажрата олиш қобилияти  $1'$  дан  $1^\circ$  гача миқдорда ўзгаради. Бундай шароитларда кўриш бурчагини дурбиннинг орттириб бериши буюмнинг дурбинсиз қараган кўз деярли ажрата олмайдиган контури ва кат та-катта қисмларини ажрата олиш учун анча афзаллик ҳисобланад и. Айни

мана шу маънода оптик труба ва дурбинлар тунги шароитда фойдали бўлади; буни биринчи марта М. В. Ломоносов ҳисобга олиб, 1756 йилда биринчи «тунда кўриш трубаси» қурган.

Тунги кузатишларга мўлжалланган трубалар ўзларига келиб тушадиган ёруғлик оқимини тўлиқ ишлатиш шarti билан имкон борича кўпроқ катталаштирадиган бўлиши керак. Шунинг учун бу трубаларда ёруғликнинг қайтиши ҳисобига бўладиган исрофлар максимал равишда камайтирилиши лозим (қайтарувчи сиртлар сони оз ва равшанлашган оптика ишлатиш, қ. 135-§). Бутун ёруғлик оқими кўзга тушадиган бўлиши учун трубанинг чиқиш қорачиғи одам кўзининг қорачиғидан (6—8 мм дан) ортиқ бўлмаслиги керак. Максимал катталаштириш учун объективнинг ўлчамларини чиқиш қорачиғи кўз қорачиғига мос келадиган қилиб имкон борича ортириш мумкин (қ. 92- §).

## XV б о б

### ОПТИК АСБОБЛАРНИНГ ДИФРАКЦИОН НАЗАРИЯСИ

Ҳар қандай оптик система берадиган тасвир интерференция натижасидир, чунки нурлар оптикaсининг ҳамма қонунлари (тўғри чизиқ бўйлаб тарқалиш, синиш, қайтиш қонунлари) оқибатда ёруғлик тўлқинининг турли қисмларининг ўзаро интерференциялашуvidан келиб чиқувчи қонунлардир. Биз бу мулоҳазадан, маслан, синуслар шартини келтириб чиқаришда фойдаландик (қ. 85- §). Шунинг учун оптик тасвирнинг тўла назарияси, бинобарин ҳар қандай типдаги оптик асбобларнинг назарияси ҳам интерференцион назария бўлмоғи лозим. Хусусан ёруғлик тўлқинининг системанинг кириш қорачиғи (оптик система ташкил этувчи линза, кўзгу ва диафрагмаларнинг четлари) ажратиб оладиган нурлар конусининг чегараланган бўлишига боғлиқ бўлган дифракция оқибатида принципал равишда тасвирлар стигматик бўлмай қолади. Будифракцион ҳодисалар туфайли идеал стигматикликнинг бўлиши мумкин эмас: нуқта дифракцион доирача бўлиб тасвирланади ва бу ҳол тасвирнинг жуда нозик тафсилотларини фарқ қилиш имкониятини чеклайди. Шундай қилиб, тасвир тафсилотларининг фарқ қилиниши чегараси (оптик асбобнинг ажрата олиш кучи) ҳақидаги масала — ҳал қилиниши учун оптик системадаги дифракцион процесслар кўриб чиқиши зарур бўлган масаладир.

#### 96- §. Объективнинг ажрата олиш кучи

Трубанинг ёки фотоаппаратнинг объективига чексиз узоқдаги ёруғлик манбаидан, масалан, юлдуздан келаётган ясси тўлқин тушаётган бўлсин. Трубанинг тешигини чегаралаб турган доиравий

гардишнинг четларидаги дифракция оқибатида объективнинг фокал текислигида нуқтанинг стигматик тасвири эмас, балки турли жойлари турлича ёритилган мураккаб тасвири ҳосил бўлади; интенсивлиги тез камая бориб, қоронғи ҳалқага айланиб кетувчи марказий максимум ҳосил бўлади; ҳалқа шаклида кучсизроқ, иккинчи максимум ва ҳоказо ҳосил бўлади (қ. 42-§, 9.7-б расм). Биринчи қоронғи ҳалқанинг радиуси учи объективнинг марказида бўлган  $\varphi$  бурчак остида кўринади. Агар тушаётган ёруғлик монохроматик бўлиб, тўлқин узунлиги  $\lambda$  ва объективнинг диаметри  $D$  бўлса, у ҳолда бу бурчакнинг қиймати

$$D \sin \varphi = 1,22 \lambda \quad (96.1)$$

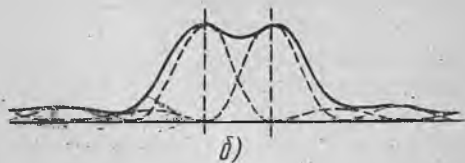
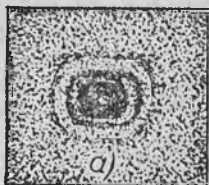
шартдан аниқланади. Объективга оқ ёруғлик туширганда манзара ана шундай монохроматик манзараларнинг қатланишидан иборат бўлади.

Фокал текисликдаги биринчи қоронғи ҳалқанинг  $r$  радиуси  $r = f \operatorname{tg} \varphi$  бўлади, бу ерда  $f$  — объективнинг фокус масофаси.  $\varphi$  бурчак кичик бўлганлиги сабабли,  $r = 1,22 f \lambda / D$ , яъни объективнинг диаметри қанча катта бўлса,  $r$  шунча кичик бўлади\*.

Агар объектив узоқдаги  $S_1$  ва  $S_2$  юлдузларга қаратилган бўлиб, бу юлдузлар орасидаги бурчакли масофа  $\psi$  бўлса, у ҳолда юлдузларнинг ҳар бири фокал текисликда дифракцион доирачалар беради, доирачаларнинг марказлари  $S_1$  ва  $S_2$  юлдузлар тасвирига мос келувчи нуқталарда бўлади (қ. 15.1-а расм).

$S_1$  ва  $S_2$  манбалар когерент бўлмаган нурлар чиқаргани сабабли, кузатувчи кўрадиган манзара иккала доирачанинг ёруғ ва қоронғи ҳалқаларининг устма-уст тушишидан иборат бўлади. Агар доирачаларнинг марказлари бир-бирига яқин бўлиб, радиуслари катта бўлса, у ҳолда устма-уст тушган ҳалқалар системаси айрим-айрим икки тасвир таассуроти ҳосил қилолмаслиги ҳам мумкин, яъни бу ҳолда объектив икки нуқтани (икки ёруғлик манбаини) бир-биридан фарқ қила олмайди (ажрата олмайди). Тасвирнинг тафсилотларини фарқ қилишга тўсқинлик қилувчи ўзаро устма-уст тушишлик даражаси кўзнинг ёки фотопластинканинг контрастларга сезгирлигига боғлиқ, яъни бирмунча ноаниқ катталикдир. Рэлейнинг тақлифига кўра, бир доирачанинг биринчи қоронғи ҳалқаси иккинчи доирачанинг ёруғ марказидан ўтгандаги вазият аниқлик учун ажрата олиш чегараси деб қабул қилинади (қ. 50-§). Бу ҳолда ёритилганлик тақсимотини тасвирловчи чизиқларнинг (15.1-б расм) кесишиш нуқтасидаги ординаталари максимумлар ординаталарининг 0,4 қисмидан кичик бўлади, шунинг учун натижавий чизиқнинг ўртадаги паст жойи ординатаси максимумлар ординатасининг 75%

\* Баён қилинган фикрлар юлқа объективга оид. Умумий ҳолда объектив ҳақида эмас, балки унинг чiqиш қорачиги ҳақида гапириш лозим.



15. 1- расм. а) Орасидаги бурчакли масофа кичик бўлган икки узоқ юлдузани кузатгандаги дифракцион манзаранинг умумий кўриниши. б) Икки нуқтани тасвирлашда ажрата олиш чегараси (Рэлей критерийси.)

ини ташкил этади\*. Нормал кўз ёки фотопластинка, умуман айтганда, ҳатто максимумдан 25% дан кам фарқ қилувчи паст жойни ҳам сеза олади.

Рэлей шартига мувофиқ келадиган вазиятда биринчи қоронғи ҳалқанинг  $\psi$  бурчакли радиуси юлдузлар орасидаги  $\psi$  бурчакли масофага тенг бўлади. Демак, ажрата олинадиган бурчакли масофа

$$\sin \psi = \sin \phi = 1,22 \lambda / D = 0,61 \lambda / R \quad (96.2)$$

шартдан аниқланади, яъни объективнинг диаметри (ёки радиуси) қанча катта бўлса, бу бурчакли масофа шунча кичик бўлади. Одатда  $\phi$  (ва  $\psi$ ) бурчак кичик бўлганлиги сабабли,

$$\psi = \phi = 0,61 \lambda / R. \quad (96.3)$$

деб ёзиш мумкин.

Чегаравий бурчакка тескари бўлган катталиқ ажрата олиш кучи дейилади:

$$\mathcal{A} = 1/\psi = R/0,61 \lambda. \quad (96.4)$$

Худди шунга ўхшаш, бурчакли ўлчами  $\psi$  га (бу бурчак (96.4) формуладан аниқланади) тенг ёки ундан кичик бўлган кичкина манба кузатувчига нуқта бўлиб кўринади, яъни бундай манба труба орқали кузатилганда манбанинг шаклига амалда боғлиқ бўлмаган ва ёруғлик чиқарувчи нуқта ҳосил қиладиган манзарага яқин манзара ҳосил қилади. Шундай қилиб, объективнинг диаметри қанча катта бўлса, унинг ажрата олиш кучи шунча катта бўлади.

Кўзнинг ажрата олиш кучи ҳам дифракцион ҳодисалар туфайли чекланган бўлиб, қорачиғнинг ўлчамларига боғлиқ. Яхши ёритилганда қорачиғнинг диаметри тахминан 2 мм бўлади, бунга (96.3) формулага мувофиқ ажрата олиш бурчагининг  $1'$  чамасидаги чегаравий қиймати тўғри келади. Бу қиймат тўр парданинг тузилишига боғлиқ бўлган ажратиш катталигига мувофиқ келади (91-§). Ёри-

\*  $S_1$  ва  $S_2$  ларнинг интенсивликлари бир хил ва объективнинг гардиши доиравий бўлганда.

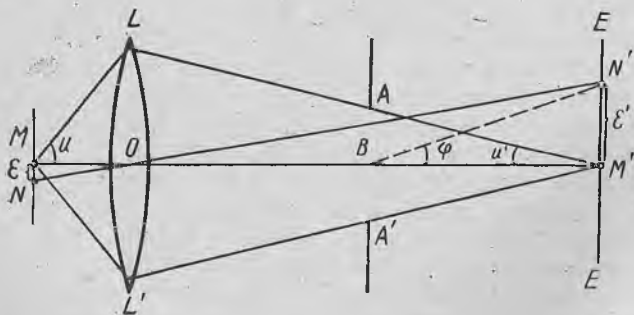


тилганлик кучсиз бўлганда кўз қорачиғи катталашади (8 мм гача), ammo бунда кўзнинг оптик система сифатидаги нуқсонлари кучлироқ таъсир қилади, шунинг учун ҳам системанинг диаметри ортиши билан боғлиқ бўлган ажрата олиш шароити яхшиланмайди. Бунинг устига, 91-§ да эслатиб ўтилганидек, кучсиз ёритилганлик шароитида кўзнинг ажрата олиш қобилияти физиологик сабаблар туфайли пасаяди.

### 97- §. Микроскопнинг ажрата олиш кучи

Нурлар дастасининг чегараланганлиги туфайли содир бўладиган дифракция микроскопда ҳам бўлади ва бу ҳодиса микроскопнинг ажрата олиш кучини чеклаб қўяди. Одатда микроскопнинг тафсилотларни ажрата олиш қобилияти ажрата олинадиган энг майда тафсилотнинг бурчакли катталиги орқали эмас, балки унинг *чизиқли* ўлчамлари орқали ёки микроскоп ёрдамида фарқланиши мумкин бўлган икки нуқта орасидаги минимал масофа орқали ифода қилинади. Ана шундай икки нуқтанинг ўзи когерент бўлмаган тўлқинлар чиқараётган (ўзи ёруғлик чиқарувчи нуқталар) ҳолда масала олдинги параграфда кўриб чиқилган масалага бутунлай ўхшаш бўлади.

Труба (телескоп) даги каби, бизни буюм тасвири текислигидаги дифракцион манзара қизиқтиради. Агар дифракция бурчаги деб, апертура диафрагмаси марказидан қаралганда тасвирлар текислиги нуқтаси кўринадиган бурчакни тушунилса, у ҳолда бу текисликда ҳамма вақт Фраунгофер дифракцияси формулаларини қўлланиш мумкин (қ. 39-§ ва 119-машқ). Бундан ташқари, шу нарсани эътиборга олиш лозимки, буюмнинг  $EE$  тасвири текислиги объектив диаметридан (ёки апертура диафрагмаси диаметридан) анча



15.2- расм. Микроскопнинг ажрата олиш кучини ҳисоблашга доир.

$LL'$  — объектив;  $AA'$  — унинг апертура диафрагмаси. Расмда масштаб бузилган:  $OM$  масофа  $LL'$  (ёки  $AA'$ ) дан тахминан 100 марта катта.

катта масофада (тахминан 160 мм) ётади ва шунинг учун  $u'$  бурчакни жуда кичик деб ҳисобласа бўлади.

Когерент бўлмаган нурланиш чиқарувчи  $M$  ва  $N$  нуқталар орасида ётган ва микроскоп ажрата оладиган энг кичик масофа қуйидаги шартдан топилади:  $EE$  тасвир текислигида олинган икки мустақил дифракцион манзаранинг марказлари бир-биридан Рэлей шартини қаноатлантирувчи масофада ётади, яъни  $e' = M'N'$  масофа  $M'$  ёки  $N'$  тасвирларни ўз ичига олган биринчи қоронғи дифракцион ҳалқанинг радиусига тенг бўлади. Тегишли дифракцион манзаралар  $AA'$  доиравий апертура диафрагмасидаги Фраунгофер дифракцияси оқибатида ҳосил бўлади. Шунинг учун биринчи қоронғи ҳалқанинг бурчакли  $\varphi$  радиуси қуйидаги шартдан аниқланади:

$$AA' \sin \varphi = 1,22 \lambda \text{ ёки } \varphi = \frac{1,22 \lambda}{AA'}$$

(чунки  $\varphi$  бурчак кичкина), бундаги  $AA'$  — апертура диафрагмасининг диаметри. Биринчи қоронғи ҳалқанинг чизиқли радиуси  $\varphi BM'$  га тенг, бунда  $BM'$  — диафрагмадан  $EE$  текисликкача бўлган масофа.

Демак, ажрата олиш шarti

$$e' = \varphi BM' = 1,22 \lambda BM' / AA'$$

кўринишда бўлади. 15.2- расмдан кўриниб турганидек,

$$\frac{AA'}{BM'} = 2u',$$

чунки  $u'$  бурчак кичкина. Шундай қилиб,  $e' = 0,61 \lambda / u'$ , яъни

$$e' \cdot u' = 0,61 \lambda. \quad (97.1)$$

$e'$  билан  $e$  орасидаги муносабатни топиш учун, микроскопда элементни тўғри тасвирлаш учун синуслар шартига риоя қилинмоғи кераклигидан фойдаланамиз (қ. 85- §). Демак,

$$e n \sin u = e' n' \sin u'. \quad (97.2)$$

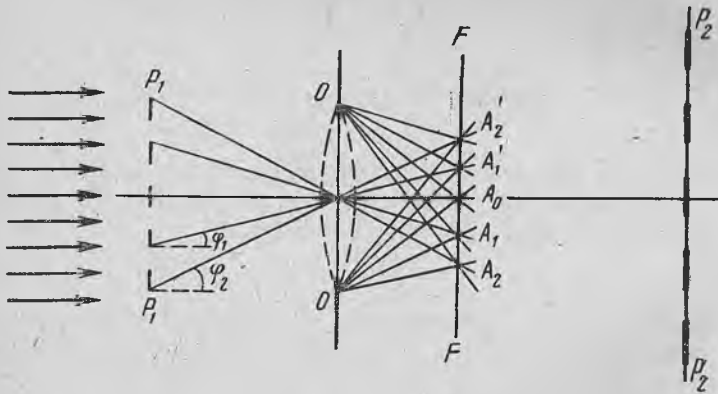
Тасвирлар фазосидаги муҳитнинг  $n'$  синдириш кўрсаткичи бирга тенг, чунки тасвир ҳавода жойлашган;  $n$  бирдан катта бўлиши ҳам мумкин, чунки кўпинча буюм билан объектив орасидаги фазо бирор модда (иммерсия) билан тўлдирилган бўлади. Гарчи  $u$  бурчак катта бўлиши мумкин бўлса-да,  $u'$  бурчак жуда кичик, чунки  $OM' \gg OL$ , бинобарин,  $u' \approx \sin u'$ . (97.1) ва (97.2) дан қуйидагини топамиз:

$$e = e' u' / n \sin u = 0,61 \lambda / n \sin u.$$

Шундай қилиб,  $n \sin u$  ифоданинг қиймати қанча катта бўлса, микроскопнинг ажрата олиш кучи шунча катта бўлади.  $n \sin u$  катталик объективнинг сонли апертураси деб аталган ва одатда  $A$  билан белгиланади.

Буюмнинг нуқталари *когерент бўлмаган* тўлқинлар юборади (буюмнинг ўзи ёруғлик чиқаради), бинобарин, дифракцион манзаралар бир-бирининг устига тушади деган фаразга асосланиб, микроскопнинг ажрата олиш кучи ифодасини топдик. Аммо одатда микроскоп орқали ўзи ёруғлик чиқарувчи буюмлар эмас, балки *ёритилган* буюмлар қаралади. Демак, буюмнинг айрим нуқталари ўзига манбанинг айни бир нуқтасидан келиб тушаётган тўлқинларни сочиб юборади ва бинобарин, буюмнинг ҳар хил нуқталаридан келаётган ёруғлик *когерент* бўлади. Микроскопнинг ажрата олиш кучининг биз чиқарган ифодасини жуда кўп тарқалган бундай холга бевосита татбиқ этиб бўлмайди (қ. 120-машқ). Ёритилган буюмлар ҳоли учун микроскопнинг ажрата олиш кучини аниқлашнинг жуда ажойиб усулини Аббе кўрсатиб берди ва бу ҳолда ҳам ажрата олиш кучи объективнинг сонли апертураси билан аниқланишини топди. Аббе методи қуйидагичадир.

Буюмни ёритувчи ёруғлик буюмнинг қисмларидан сочилгач (дифракциялангач) микроскоп линзасига тушади, демак линзага тушаётган ёруғлик дастасининг тузилиши ана шу буюмга боғлиқ бўлади. Буюмни параллел даста ёритаётган (Фраунгофер дифракцияси) ва буюмнинг шакли\* содда бўлган, масалан, буюм мунтазам панжара, яъни бир-бирдан шаффоф бўлмаган полосалар билан ажралган кетма-кет шаффоф полосалардан иборат бўлган содда ҳолни



15.3- расм. Микроскопнинг Аббе яратган дифракцион назариясига доир.

Расмда масштаб бузилган:  $FF$  дан  $P_2P_2$  гача бўлган масофа объективнинг фокус масофасидан анча катта.

\* Бундай содда буюмлар мисолида олинган хулосаларни 52, 53- § даги мулоҳазалардан фойдаланиб, ҳар қандай кўринишдаги буюмларга ҳам татбиқ этиш мумкин.

кўриб чиқайлик. Панжаранинг  $d$  даври буюм қисмининг характеристикаси бўлади, микроскопнинг ажрата олиш кучи эса шу микроскоп ёрдамида қанчалик майда панжарани, яъни  $d$  нинг минимал қийматини фарқ қила билиш мумкинлигини аниқлайди.

Текшириляётган структурада параллел нурлар дифракцияланиб, объективнинг  $FF$  фокал текислигида бир қатор бош максимумлар беради (15.3- расм), улар орасидаги бурчакли масофалар панжаранинг даврига боғлиқ. Агар тушаётган нурлар буюм сиртига тик бўлиб, системанинг ўқи бўйлаб йўналган бўлса, у ҳолда бу максимумлар вазияти  $d \sin \varphi = m\lambda_0$  шартдан аниқланади, бунда  $m$  — максимумлар тартибини белгиловчи бутун сон. Микроскоп ўқида нолинчи  $A_0$  максимум ( $m = 0$ ) ётади, биринчи тартибли  $A_1$  ва  $A'_1$  максимумлар  $\sin \varphi_1 = \pm \lambda_0/d$  муносабатдан топиладиган йўналишларда ётади, иккинчи тартибли  $A_2$  ва  $A'_2$  максимумлар  $\sin \varphi_2 = \pm 2\lambda/d$  муносабатдан аниқланадиган йўналишларда ётади ва ҳоказо. Барча бу дифракцион максимумлар когерент нурларга тегишли бўлганлиги учун, объективнинг фокал текислиги орқасида бу нурлар учрашишиб, ўзаро интерференциялашади ва  $OO$  объективга нисбатан буюмнинг  $P_1P_1$  текислиги билан қўшма бўлган  $P_2P_2$  текисликда буюмнинг тасвирини ҳосил қилади. Шундай қилиб,  $FF$  текисликдаги дифракцион максимумлар тўплами ҳам,  $P_2P_2$  текисликда объектив ҳосил қилган натижавий манзара ҳам буюмга боғлиқ бўлади ва унинг тасвири бўлади.

Аббе объективнинг фокал текислигидаги манзарани буюмнинг *бирламчи тасвири* деб,  $P_2P_2$  текисликдаги манзарани эса *иккиламчи тасвири* деб атаган. Баъзан  $FF$  даги манзара (панжара ва структураларнинг одатдаги қўлланишига ўхшатиб) *спектр* деб,  $P_2P_2$  даги манзара эса буюмнинг *тасвири* деб аталади.

Буюмнинг тўғри тасвирини олиш учун  $P_2P_2$  текисликдаги тасвир барча  $A_1, A'_1, A_2, A'_2$  ва ҳоказо максимумлардан келаётган нурларнинг ўзаро таъсири оқибатида ҳосил қилиниши лозим эканлигини кўриш осон. Ҳақиқатан ҳам,  $A_1, A'_1, A_2, A'_2$  ва ҳоказо максимумлардан келаётган барча нурларни бирор тўсиқ тўсиб қолиб, фақат  $A_0$  дан келаётган ёруғликнигина ўтказиб юборади, деб фараз қилайлик. Бундай ҳолда  $P_2P_2$  экрандаги тасвир дифракцион спектри (бирламчи тасвири) биргина марказий максимумдан иборат бўлган буюмни акс эттиради. Аммо бундай ҳол параллел даста буюмда ҳеч дифракцияланмагандагина, яъни буюм бўлмаган ва  $P_2P_2$  текисликда ҳеч қандай тасвирсиз текис ёритилганлик ҳосил бўлганидагина ўринли. Агар барча тоқ тартибли максимумлар ( $A_1, A'_1, A_3, A'_3$  ва ҳоказо) тўсиб қолинса эди, у ҳолда иккиламчи тасвир  $A_0, A_2, A'_2, A_4, A'_4$  ва ҳоказо максимумлардан, яъни  $P_1P_1$  да икки марта кичик даврли панжара мавжуд бўлганида ҳосил бўладиган максимумлар тўпламидан иборат бирламчи тасвирга мос келар эди: биз  $P_2P_2$  экранда ҳа-

қиқатда бор панжарадан *майдароқ* панжаранинг тасвирини кўрган бўлар эдик.

Фақат дифракцион максимумларнинг тўла тўпламигина буюмга мос иккиламчи тасвирни аниқлайди. Дарвоқе, марказдан бир томонда жойлашган (масалан, мусбат  $m$  ларга мос келувчи) максимумлар тўплами барча тафсилотларни акс эттириш учун кифоя қилади, чунки қолган максимумлар манзаранинг тафсилотларини бузмагани ҳолда фақат равшанликни кучайтиради, халос. Биринчи тартибли максимумлар алоҳида аҳамиятга эга, улар кичик бурчак остида жойлашган ва асосан реал буюмнинг қиёфасини белгиловчи йирикроқ ва одатда муҳимроқ тафсилотларга боғлиқ бўлади. Катта бурчаклар остида жойлашган максимумлар асосан буюмнинг майдароқ қисмлари (тафсилотлари) билан аниқланади, бу тафсилотлар жуда характерли бўлиши мумкин. Масалан, буюм чексиз панжара шаклида бўлган ҳолда биринчи тартибли спектрлар мунтазам даврли даврий структура кўринишида тасвир ҳосил қилиш учун етарлидир, лекин бу тасвирда ёруғ жойлардан қоронғи жойларга силлиқ ўтилади\*. Структуранинг фақат даврийлигини эмас, балки биз текшираётган панжара учун характерли бўлган ёруғдан қоронғига кескин ўтишни тўғри акс эттириш учун, тасвир ҳосил қилишда юқори тартибли спектрлар ҳам қатнашини зарур. Жуда майда тафсилотлар (структуранинг тўлқин узунлиқдан кичик элементлари) умуман кузатилиши мумкин эмас, чунки бундай элементларда дифракцияланган тўлқинлар объектив апературасининг мумкин бўлган катта  $u = 90^\circ$  қийматида ҳам  $P_2P_2$  экранга етиб бормайди. Тафсилотини ажрата олишнинг  $d \geq \lambda = \lambda_0/n$  чегарасини аниқлаш учун шу мулоҳазадан фойдаланиш мумкин, буида  $\lambda_0$  — вакуумда тўлқин узунлиги,  $n$  эса буюм қўйилган муҳитнинг синдириш кўрсаткичи.

$FF$  текисликда тешиклари тегишлича жойлашган экранлар қўйиб, яъни фақат  $A_0$  ни ёки фақат жуфт максимумларни ва ҳоказоларни ўтказиб,  $P_2P_2$  текисликда тасвирнинг тавсифланган нуқсонларини ёки ҳатто тасвирсиз текис ёритилишни осон кузата оламиз. Аббе қилиб кўрган бу тажрибалар унинг муҳокама юритиш усулини жуда яхши тушуниб олишга ёрдам қилади.

Баён қилинганлардан шу нарса аёнки, тўғри тасвир олиш учун микроскопнинг объективи орқали ва ундан нари барча йўналишли дифракцион дасталар ўтиши керак. Одатда микроскоп ичига ҳеч қандай тўсиқ қўйилмайди, шунинг учун фақат кириш қорачиғи бўлмиш гардишгина (объективнинг гардиши) хавфли бўлади,

\* Чунки Рэлей панжарасида юз берган дифракцияда (қ. 51- § ва 76- машқ) фақат биринчи тартибли спектрлар ҳосил бўлади. Тегишли буюмни кўз билан кузатганда фақат ўтказиш коэффициентининг силлиқ ўзгариши ҳақида мулоҳаза юрита оламиз; фаза алмашиниши билан боғлиқ эффект эса бевосита кузатилмайди.

чунки у объективнинг ишловчи тешигини чеклайди\*. Буюм ёки унинг  $d$  элементи қанча кичик бўлса, дифракция бурчаклари шунча катта бўлади ва объективнинг тешиги шунча кенг бўлиши керак. Объективнинг тешиги фокус яқинида жойлашган буюмдан объективнинг четларига борувчи четки нурлар орасидаги  $2u$  бурчак билан аниқланади. Бу бурчакнинг ярмини *апертура* дейилади. Агар апертура биринчи тартибли спектрларга мос келувчи  $\varphi_1$  дифракцион бурчакдан кичик бўлса, яъни  $\sin u < \sin \varphi_1 = \lambda_0/d$  бўлса, у ҳолда микроскоп ичига фақат марказий максимумдан келаётган нурларгина киради ва биз  $d$  катталиқ билан аниқланувчи элементларга мувофиқ келувчи тасвирни кўрмаймиз, яъни биз текшираётган панжара ҳолида экран текис ёритилган бўлади. Шундай қилиб,  $\sin u \geq \lambda_0/d$  шарт  $d$  элементларни ажрата олиш учун зарур шартдир.  $\sin u = \lambda_0/d$  бўлган чегаравий ҳолда юқори тартибли максимумлар иштирок этмайди, яъни айтиб ўтилганидек, тасвирнинг сифати бирмунча ёмонлашади.  $\lambda_0/d$  га нисбатан  $\sin u$  қанча катта бўлса, тасвир ҳосил қилишда юқори тартибли спектрлар шунча кўп иштирок этади, яъни кузатилаётган буюм шунча аниқ акс этирилади.

Агар буюм билан объектив орасидаги муҳитнинг синдириш кўртаткичи  $n$  бўлса, у ҳолда формулада  $\lambda_0$  ўрнига  $\lambda = \lambda_0/n$  киради ва ажрата олиш шarti қуйидагича бўлади:

$$d \geq \frac{\lambda_0}{n \sin u}. \quad (97.3)$$

Одатда буюм фақат ўқ бўйлаб борувчи дасталар билангина эмас, балки ўққа оғма бўлган дасталар билан ҳам ёритилади. Бу ҳол ажрата олиш шароитини яхшилайди.

Агар ёритувчи даста микроскоп ўқи билан  $\alpha$  бурчак ташкил этса ва  $\alpha_0$  бурчак остида дифракцияланса (15.4- расм), у ҳолда максимумлар шarti (қ. 47- §) қуйидагича бўлади:

$$\sin \alpha_0 - \sin \alpha = m \lambda / d. \quad (97.4)$$

Ҳеч бўлмаганда биринчи спектрнинг объективга тушишининг шarti

$$\alpha = -u, \quad \alpha_0 = u, \quad m = +1. \quad (97.5)$$

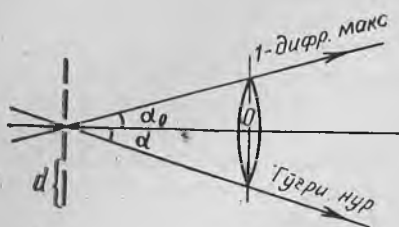
Ажрата олиш шarti

$$2 \sin u \geq \frac{\lambda}{d} = \frac{\lambda_0}{nd} \quad (97.6)$$

ёки

$$d \geq \frac{1 \lambda_0}{2n \sin u} = \frac{0,5 \lambda_0}{n \sin u} \quad (97.7)$$

\* Кучли объективларда махсус апертура диафрагмаси ишлатилади, у қорачиқнинг ўлчамини белгилайди.



15.4- расм. Микроскопнинг ажрата олиш қобилиятини оширишда оғма дасталарнинг аҳамияти.

кўринишда ёзилади. Демак,

$$d \geq \frac{0,5 \lambda_0}{n \sin u} = \frac{0,5 \lambda_0}{A}, \quad (97.8)$$

бундаги  $A = n \sin u$  юқоридагидек объективнинг сонли апертурасидир.

Шундай қилиб, ёришувчи буюмлар учун ҳам, ўзи ёруғлик чиқарувчи буюмлар учун ҳам микроскопнинг ажрата олиш ку-

чи сонли апертурага ( $A$  га) боғлиқдир.

Микроскопнинг ажрата олиш қобилиятини ошириш учун қисқароқ (ультрабинафша) тўлқинларни қўллаш ва сонли апертурани орттириш фойдалидир. Сонли апертурани орттириш мақсадида *иммерсион* системалар қўлланади; уларда буюм билан объектив орасидаги фазо синдириш кўрсаткичи  $n > 1$  бўлган муҳит билан тўлдирилган бўлади.  $n$  ни тахминан 1,5 қилиб олиб (кедр мойи), сонли апертурани оширибгина қолмасдан, қатор бошқа афзаликларга ҳам эга бўламиз (қ. 92-§). Ҳозирги замон микроскоп объективларининг сонли апертураси анча каттадир. «Қуруқ» системалар учун  $n = 1$  ва  $\sin u$  амалда 0,95 га етади, бинобарин, ёруғлик тўлқини узунлигининг ярмича келадиган қисмларни ажрата олиш мумкин. Иммерсион системалар билан эса бир ярим марта кўп ажрата олиш мумкин.

Аббе методи ёритилувчи буюмлар учун ажрата олиш қобилияти қийматини келтириб чиқариш имконини берибгина қолмасдан, балки микроскоп орқали кузатишнинг натижалари кузатиш шароитига кўп боғлиқ бўлишини ҳам кўрсатади. Аббенинг хулосалари алоҳида амалий аҳамиятга эгадир, чунки Л. И. Мандельштам бу хулосаларнинг фақат ёритилувчи буюмлар (когерентлик) учунгина эмас, балки ўзи ёруғлик чиқарувчи буюмлар учун ҳам тўғри эканлигини кўрсатишга муваффақ бўлди. Объективнинг чиқиш қорачиғида юз берадиган дифракцияни текшираётиб, Мандельштам қуйидагини кўрсатди: худди Аббенинг ёритилувчи буюмлар учун яратган назариясида бўлганидек, буюмнинг қиёфасига нисбатан унинг тасвирида баъзан намён бўладиган баъзи нуқсонлар қорачиқнинг ўлчами ва шаклига ёки қандайдир янги чекловчи диафрагмаларнинг киритилиш-киритилмаслигига боғлиқдир. Мандельштам тўлқин узунлигига нисбатан қўпол бўлган структураларда ўзи ёруғлик чиқарувчи буюмлар ҳамма томондан текис ёритилган буюмларга тамомила эквивалент бўлишини топди. Мандельштамнинг буюмлар сифатида олинган чўғлантирилган ва ёритилган тўрлар билан ўтказган тажрибалари юқоридаги хулосаларни тасдиқлади.

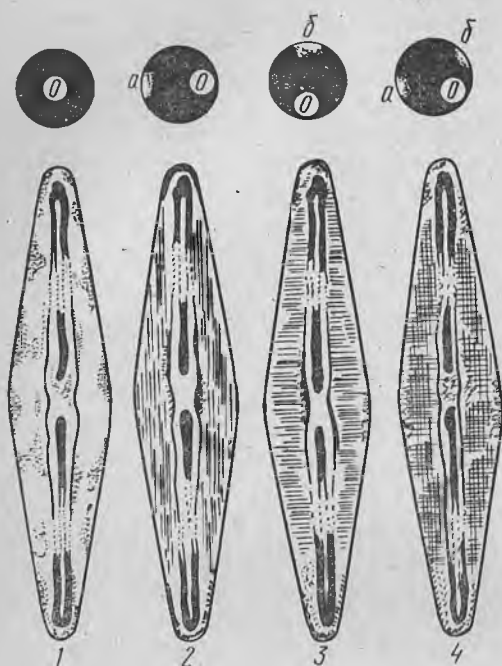
Бу хулосаларни ўзи ёруғлик чиқарувчи буюмларга (когерентлик йўқ) жорий қилиш айниқса муҳимдир, чунки буюм ёритилган ҳолларда ҳамма вақт ҳам тўла когерентлик бўлавермайди. Ёритилувчи буюмнинг нуқталари етарлича когерент ёруғлик юбориши учун манбанинг бурчакли ўлчамлари етарли даражада кичик бўлиши, яъни буюм турган жойдан манбанинг кўриниш бурчаги  $\lambda/d$  га нисбатан кичик бўлиши лозим, бундаги  $\lambda$  — ёруғлик тўлқини узунлиги,  $d$  — буюмнинг ёритилувчи нуқталари орасидаги масофа. Ҳақиқатан ҳам, бу ҳолда манбанинг турли нуқталаридан ёритилувчи нуқталарга келаётган тўлқинлар  $2\pi$  га нисбатан кичик бўлган фазалар фарқига эга бўлади (қ. 129-машқ), оқибатда ёритилган нуқталар сочиб юборувчи тўлқинлар интерференцияси, ёритувчи тўлқин манбанинг қайси нуқтасидан келганидан қатъи назар, бир хил эффект беради (когерентлик). Аксинча, манбанинг бурчакли ўлчамлари  $\lambda/d$  дан катта бўлган ҳолда манбанинг турли нуқталаридан ёритилаётган нуқталарга келаётган ёруғлик нолдан  $2\pi$  гача бўлган ҳар турли фазалар фарқига эга бўлади ва бинобарин, ёритилган нуқталар сочиб юборган тўлқинлар турли-туман интерференцион манзаралар ҳосил қилиши мумкин (когерентлик йўқ). Манбанинг ўлчамлари  $\lambda/d$  га таққосланарли бўлгандаги оралиқ ҳолда когерентлик кўпроқ ёки озроқ даражада амалга ошади. Реал шароитда микроскопда буюм нурларнинг кенг дасталари билан ёритилади ва тўла когерентлик жуда кам ҳоллардагина бўлади.

Айтилган бу мулоҳазаларни 22-§ да бажарилган ҳисоблар тасдиқлайди; бу ҳисобларга мувофиқ, ёритилувчи буюм текислигида когерентлик соҳасининг ўлчами  $2l_{\text{ког}} = \lambda/\theta$  бўлади, бундаги  $\theta$  — манбанинг бурчакли ўлчамлари. Агар  $2l_{\text{ког}}$  ажрата олинадиган минимал  $d$  интервалдан кичик бўлса, у ҳолда биз когерент бўлмаган ёритилиш билан иш кўраётган бўламиз; акс ҳолда  $2l_{\text{ког}} = \lambda/\theta \gg d$  бўлади ва ажрата олинадиган масофа когерентлик соҳаси ичида бўлади ва ёритилишни когерент деб ҳисобласа бўлади. Бинобарин, бундай мулоҳаза юритиш усули билан ҳам юқорида чиқарилган хулосаларга келамиз.

Микроскопда буюмлар ёритилишининг қисман когерент бўлиши роли ҳақидаги масалани Д. С. Рождественский батафсил текширган\*, у фазовий когерентлик даражаси деб аталувчи  $\gamma_{12}$  фактор (қ. 22-§) ёрдамида (унинг чегаравий қийматлари — ноль ва бир) ҳодисаларнинг миқдорий тавсифини берди. Бу нуқтаи назардан микроскопик кузатишларда рационал ёритиш масаласини текшириб, Д. С. Рождественский бу муҳим масалани тушунтириб берди ва ҳатто энг кучли объективлар бўлгани ҳолда кичик қувватли манба билан равшан ёритилган кўриш майдонининг энг қулай шароитини ҳосил қилувчи ёритгич ишлаб чиқди.

\* Д. С. Рождественский, Избранные труды, «Наука», 1964, 197-бет





15.5- расм. Ёритиш характерининг микроскопдаги тасвирга кўсатадиган таъсири.

лама структурага эга; 3 — марказий (0) ва битта юқориги дифракцион максимум (б) ўтади — қалқон кўндаланг структурага эга; 4 — марказий (0) ва биттадан а ва б максимумлар ўтади — қалқон тўр кўринишидаги структурага эга.

Шундай қилиб, қалқоннинг структураси тўрға ўхшайди, лекин кузатиш методига қараб у силлиқдек бўлиб, ёки бўйлама ё кўндаланг полосали бўлиб кўриниши ҳам мумкин. Ваҳоланки, илгари ботаниклар уларни диатомли сув ўсимлигининг турли хиллари деб ҳисоблаб келганлар.

### 98-§. Электрон микроскоп

Сонли апертурани кўп ошириш мумкин бўлмаганлиги учун микроскопнинг ажрата олиш қобилиятини оширишнинг бирдан-бир йўли қисқароқ тўлқинлар қўллашдир.

Ультрабинафша нурларнинг қўлланиши микроскоп оптикасини тегишли материаллардан (кварц, флюорит) тайёрлашни ёки

Я. Е. Элленгорн микроскопик кузатиш натижаларини тўғри талқин қилишнинг нақадар аҳамиятли эканлигини кўрсатувчи ажойиб мисол келтирди\*. 15.5-расмда айти бир препаратнинг (диатомли сув ўсимлиги қалқонининг) турли ёритиш усулларида микроскопда ҳосил қилган тасвирларининг тўртта расми кўрсатилган.

Ҳар бир расмнинг устида объективнинг фокал текислигидан ўтувчи ёруғлик дастасининг шакли кўрсатилган. 1-расм — фақат марказий максимум (0) ўтади, қалқон тафсилотсиз, силлиқдек кўринади; 2 — марказий (0) ва битта ён дифракцион максимум (а) ўтади — қалқон бўй-

\* Я. Е. Элленгорн, Ботанический журнал, 1940.

қайтарувчи оптикадан фойдаланишни талаб қилади; бунда қўлланадиган нурларнинг тўлқин узунлиги 250—200 нм орасида бўлиши керак, чунки кузатилиши керак бўлган буюмларнинг кўпчилиги қисқа ультрабинафша нурларни кучли ютади. Шундай қилиб, ажрата олиш кучини бу йўл билан икки мартача ошириш мумкин; ҳозирги замон ультрабинафша микроскопларида ана шундай қилинган, бунда албатта фотографик кузатиш методидан фойдаланиш зарур.

Ультрабинафша нурларни қўлланишнинг яна бир муҳим афзал томони бор. Кўп буюмлар, айниқса биологик препаратларнинг барча қисмлари кўринувчи ёруғлик учун бирдай шаффоф бўлади, шу туфайли бундай буюмларни кўринувчи ёруғликда кузатиш қийин. Лекин ультрабинафша ёруғлик учун буюм (препарат)нинг турли қисмларининг ютиш кўрсаткичи турлича бўлади, бинобарин тегишли микрофотографиялар етарлича контрастли бўлади. Е. М. Брумберг турли тўлқин узунликларнинг ютилишидаги фарқдан жуда яхши фойдаланиш имконини берадиган жуда ажойиб система ишлаб чиқди. Препаратни тўлқин узунликларнинг учта группасида расмга олиб ва учала расмни тўлқин узунликларнинг бу уч группасидаги фарқни тегишли равишда акс эттирадиган учта ёруғлик фильтрига эга бўлган махсус асбобда бир вақтда қараб, биз Брумберг методи бўйича расмга олишда қўлланилган ёруғликнинг энг қисқа тўлқин узунлигига мос келадиган даражада ажратилган тафсилотларга бой тасвир оламиз.

Микроскопнинг ажрата олиш қобилиятини янада ошириш учун Рентген нурлари билан тажриба қилиш керак эди. Аммо Рентген нурларида тасвир ҳосил қилиш учун керак бўлган оптика тайёрлаш жуда катта қийинчиликларга дуч келади.

Аммо ҳозирги замон назарий физикасининг ривожланиши, худди ёруғлик оқимининг тарқалиши тўлқин қонунларига бўйсунганидек, ҳар қандай моддий зарралар оқимининг тарқалиши ҳам тўлқин қонунларига бўйсунди, деган фикрга олиб келди. Бу эса кучлар таъсирида зарралар ҳаракати тўғрисидаги масаланинг аниқ ечими тегишли тўлқинларнинг тарқалишини текшириш йўли билан олинади, демакдир. Бу тўлқинларнинг табиатига тўхталмасдан, уларнинг узунлиги ҳаракатланаётган зарраларнинг  $m$  массасига ва  $v$  тезлигига  $\lambda = h/mv$  формула (де Бройль, 1923 й.) орқали боғланганлигини кўрсатиб ўтамиз холос, бундаги  $h = 6,624 \cdot 10^{-34}$  Ж  $\cdot$  с бўлиб, Планк доимийси дейилади. Формуладан кўринишича, зарранинг  $m$  массаси қанча катта ва  $v$  тезлиги қанча катта бўлса, тўлқин узунлиги шунча кичик бўлади. Лекин ҳатто унча катта бўлмаган тезликда ҳаракатланаётган энг кичик массали зарралар — электронлар учун ҳам ( $m \approx 0,9 \cdot 10^{-27}$  г) тегишли тўлқин узунлик жуда кичик. Масалан, 150 В кучланиш

билан тезлаштирилган электронлар учун  $\lambda = 1 \text{ \AA}^*$ . Тезроқ ҳаракатланувчи электронлар учун, шунингдек атомлар, молекулалар ёки янада каттароқ массали жисмлар учун тўлқин узунлиги анча қисқа бўлади. Шундай қилиб, ҳатто энг енгил зарраларнинг (электронларнинг) тарқалиш қонунлари жуда қисқа тўлқинларнинг тарқалиш қонунларига мос келади.

Бу ҳолда масаланинг тўлқиний назария асосида олинган аниқ ечими геометрик оптика методи бўйича олинган ечимдан амалда фарқ қилмайди. Тўлқинлар синиш кўрсаткичларининг муҳит хоссаларига, яъни электрон ҳаракатланаётган куч майдонларига қандай боғланганлигини аниқлағач, биз электроннинг ҳаракатини геометрик оптика қоидалари бўйича ҳисоблаб чиқишимиз мумкин. Иккинчи томондан, электронга таъсир қилувчи кучларни билган ҳолда электроннинг ҳаракатини механиканинг одатдаги қонунлари бўйича ҳисоблаб чиқиш мумкин. Механик масалани оптика нуқтаи назаридан қараб чиқиш имконияти аллақачон кўрсатиб ўтилган эди. Бундан тахминан 150 йил аввал Гамильтон (1830 й. агрофида) механика тенгламаларини геометрик оптика тенгламаларига ўхшаш кўринишга келтириш мумкинлигини кўрсатди. Механика тенгламалари энг кичик таъсир принципини (Мопертюи принципи; Ньютон механикаси тенгламалари Мопертюи принципидан олиниши мумкин) ифодаловчи муносабат тарзида, геометрик оптика тенгламалари энг қисқа оптик йўл принципини (Ферма принципи, қ. 69-§; геометрик оптика қонунлари Ферма принципидан келтириб чиқарилади) ифодаловчи муносабат тарзида тасвирланиши мумкин. Агар синдириш кўрсаткичи *тушунчаси тегишли равишда киритилса*, бу иккала принцип бутунлай айний ифодага эга бўлади. Ҳозирги замон назарияси берадиган ажойиб натижа шундан иборатки, бу назариядан келтириб чиқариладиган синдириш кўрсаткичи билан зарра ҳаракатланаётган куч майдонларини характерловчи параметрлар орасидаги муносабат энг кичик таъсир принципи билан Ферма принципининг айнан бир хил бўлиши учун талаб қилинган муносабатнинг *худди ўзгинасидир*. Масалан, ҳозирги замон назариясига мувофиқ,  $W$  потенциал билан характерланувчи куч майдонида ҳаракатланаётган зарра учун муҳитнинг синдириш кўрсаткичи

$$n = \sqrt{2(E - W)/mc^2}$$

кўринишда бўлади, бундаги  $E$  — ҳаракатланаётган [зарранинг энергияси,  $m$  — унинг массаси ва  $c$  — ёруғлик тезлиги; Гамильтоннинг фикрича, худди шундай боғланиш мавжуд бўлганида зарранинг йўли ёруғлик нури билан бир хил бўлади.

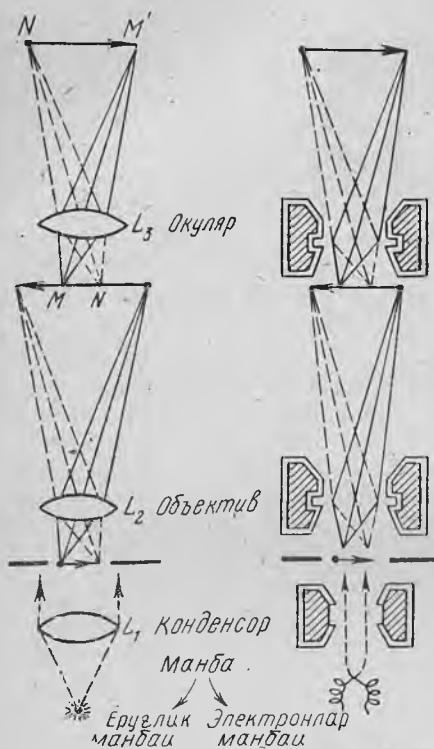
\* Электроннинг тўлқин узунлигини ҳисоблаш учун де-Бройль формуласига  $\lambda = 12,24/\sqrt{V}$  (ангстрем) кўриниш бериш қўлай, бундаги  $V$  кучланиш вольт ҳисобида ифодаланган.

Механика методлари ёки геометрик оптика методлари қўлланилишидан қатъи назар, электромагнитик майдонларда электрон йўлларини ҳисоблаш усуллари бирор нуқтадан (манбадан) чиққан электронларнинг қандай шароитда яна бирор нуқтада тўпланишини (стигматик тасвир) аниқлаш имконини беради. Бундай тасвир олиш учун электрон ҳаракатлиниши керак бўлган электр ёки магнит майдонлари тўплами «электрон линзалар» (магнит линзалар ёки электростатик линзалар) бўлиши керак. Геометрик оптикада оддий линзалар қандай роль ўйнаса, «электрон линзалар» электронлар оптикида шундай роль ўйнайди\*. Тегишли шароитда (параксиал дасталар ёки тегишлича ҳисоблаб ишланган «тузатилган» электрон линзалар) электронлар манбаи етарлича яхши тасвир бериши мумкин.

Бу тасвирни фотография қилиш мумкин (агар электронлар фотопластинкага тушса) ёки бевосита кўз билан кузатиш мумкин (агар электронлар уларнинг зарбидан ёруғлик чиқарувчи флюоресценцияловчи экранга тушса). Ҳозирги замон техникасида муҳим роль ўйновчи кўп электрон-оптик системалар ана шу принцип асосида қурилган. 15.6-расмда схематик тасвирланган электрон микроскоп шундай системаларнинг биридир. Электрон микроскопнинг одатдаги оптик микроскопни ташкил этувчи қисмларга бутунлай эквивалент бўлган қисмлардан тузилганлиги расмдан кўриниб турипти. Буюм «ўзи ёруғлик чиқарадиган» — ўзи электронлар манбаи бўлиши (чўғланган катод ёки ёритилувчи фотокатод) ёки «ёритилган» бўлиши — одатда чўғланган катоддан чиққан электронлар оқими тушаётган препаратдан иборат бўлиши мумкин; албатта, электронларнинг препарат орқали паррон ўтиши ва «оптик» системага кириши учун препарат етарлича юпқа бўлиши, электронлар эса етарлича тез ҳаракат қиладиган бўлиши керак. Дарвоқе, одатдаги оптик микроскопда қараладиган препаратларга ҳам худди шунга ўхшаш «шаффоф бўлиш» талаби қўйилади.

Электрон микроскопни геометрик оптика қоидалари бўйича ҳисоб қилиш табиийдир, чунки, кўриб ўтганимиздек, электронларга мос келувчи тўлқин узунлик жуда кичикдир. Бу узунлик нанометрнинг мингдан бир улушларининг бир нечтаси тартибида бўлади, чунки одатда анча катта (40—60 кВ тезлаштирувчи кучланишга мос келувчи) тезликли электронлар ишлатилади. Аммо 97-§ да кўрганимиздек, микроскопнинг ажрата олиш кучи тўғрисидаги асосий масалани қараб чиқишда тўлқин узунлигининг чексиз кичик эмаслигини эътиборга олиш керак.  $d \geq \lambda_0/A$  формулани татбиқ этиб, электрон микроскопнинг ажрата олиш кучини оддий

\* Электр ва магнит майдонларининг электронлар йўлига кўрсатадиган таъсири (фокусловчи таъсир) электрга бағишланган дарсликларда баён этилган (масалан, С. Г. Қ а л а ш н и к о в, Электр, «Ўқи тувчи», 1979, 208—210 §§.).



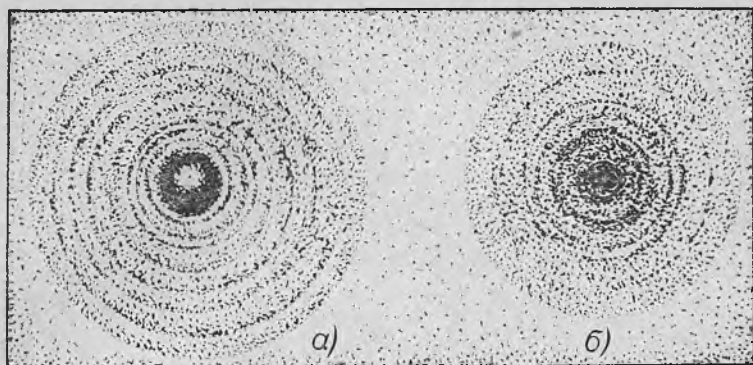
15.6- расм. Электрон микроскоп тузилишининг схемаси. Таққослаш учун ёнида оптик микроскопнинг схемаси тасвирланган.

микроскопникига қараганда беқиёс катта қилиш мумкин эканлигини топамиз. Ҳақиқатан ҳам, электрон микроскопда тўлқин узунлиги оддий микроскопдагидан 10 000 — 100 000 марта кичик; шунинг учун ҳозирча электрон «объективлар»нинг сонли апертураси унча катта бўлмаса ҳам ( $A \approx 0,01-0,1$ ) ҳар ҳолда электрон микроскопнинг назарий ажрата олиш кучи оптик микроскопникидан бир неча минг марта ортиқдир. Бошқача айтганда, агар биз оптик микроскопда 200—300 нм чамасидаги тафсилотларни ажрата оладиган бўлсак, электрон микроскоп ёрдамида 0,1 нм чамасидаги буюмларнинг тасвирини олишга, яъни атом ва молекулаларни кўришга умидвор бўлиш мумкин эди.

Ҳозирги вақтда мавжуд бўлган электрон микроскоплар 0,1 нм чамасидаги ажрата олиш кучига эга.

СССРда биринчи марта жуда такомиллашган-электрон микроскоплар акад. А. А. Лебедев раҳбарлигида қурилган.

Электрон микроскопнинг ажрата олиш кучини принципиал жиҳатдан чекловчи сабаб, албатта, худди одатдаги оптик микроскоп ҳолидагидек, дифракцион ҳодисалардир, булар электронларнинг тўлқин табиати туфайли юз беради. Агар тажриба шароити юқорида баён қилинганга мувофиқ қилиб танлаб олинса, яъни муҳитнинг ораларидан электронлар ўтадиган фазовий биржинслимасликларининг чизиқли ўлчамлари шу электронларнинг тўлқин узунлиги билан таққосланадиган бўлса, бу ҳолда бундай электронлар дифракциясини бевосита кузатиш мумкин. Электронларнинг тўлқин узунлиги Рентген нурларининг тўлқин узунлигига яқин бўлгани учун, электронлар дифракциясини кузатиш шароити Рентген нурлари дифракциясини кузатиш шароитига ўхшаш бўлади.



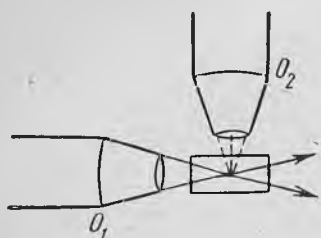
15.7. расм. Металл фольга орқали Рентген нурлари (а) ва электронлар дастаси (б) ўтганда олинган дифракцион ҳалқалар.

Ҳақиқатан ҳам, Девиссон билан Жермер (1927 й.) ва Г. П. Томсон (1928 й.) электронлар дифракциясига оид тажрибаларни қилиб кўрдилар, бу тажрибалар Рентген нурлари дифракциясига оид тажрибаларга бутунлай ўхшаш экан. Юпқа олтин арағидан Рентген нурлари (а) ва электронлар дастаси (б) ўтганида ҳосил бўладиган дифракцион манзаранинг тасвирлари (Дебай—Шерер ҳалқалари, қ. 118-§) 15.7-расмда кўрсатилган. Шунга ўхшаш дифракцион тажрибалар молекулалар дасталари билан ҳам, нейтронлар дасталари билан ҳам қилиб кўрилган.

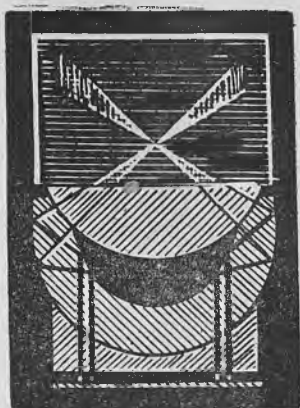
### 99-§. Қоронғи майдон методи (ультрамикроскопия). Фазавий тафовут (контраст) методи

Микроскопнинг ажрата олиш қобилиятини аниқловчи формула микроскоп ёрдамида кўриш ёки фотосуратга олиш мумкин бўлган энг кичик зарранинг ўлчамини кўрсатиб беради, яъни тасвири ҳақиқий шаклини тўғри акс эттирадиган заррани кўрсатади. Бундан ҳам кичик зарраларнинг тўғри тасвирини олиш мумкин эмас. Аммо бундай ультрамикроскопик кичик зарраларнинг мавжудлиги, уларнинг вазияти ва ҳаракати микроскоп ёрдамида махсус усулда кузатиш йўли билан аниқланиши мумкин. Бу усул ёруғликнинг кичик зарраларда сочилиш ҳодисасига асосланган.

Асбобларнинг жойлашиш схемаси 15.8-расмда кўрсатилган. Кучли ёруғлик дастаси ультрамикроскопик зарралар бўлиши тахмин қилинган камерага  $O_1$  объектив ёрдамида йиғилади. Агар бундай зарралар ва улардан каттароқ зарралар камерада бўлмаса, у ҳолда  $O_1$  объективдан келаётган ёруғлик горизонтал йўналишда



15.8- расм. Энг содда ультрамикроскоп схемаси.



15.9- расм. Қоронғи майдон методини амалга оширадиган махсус конденсорнинг кесими.

кетаверади, юқориги  $O_2$  объективга тушмайди\*. Агар нурлар йўлида зарралар бўлса, зарралар ёруғликни сочиб юборади, сочилган ёруғлик  $O_2$  объективга тушади ва вертикал микроскопда дифракцион манзара ҳосил қилади; бу дифракцион манзара ультрамикроскопик зарранинг вазияти ва ҳаракати тўғрисида хулоса чиқаришга имкон беради, аммо унинг шакли тўғрисида жуда ҳам ноаниқ тасаввур бера олади. Жуда майда зарралар (масалан, металлларнинг  $5 \cdot 10^{-6}$  мм ўлчамли коллоидал зарралари) қора фонда ялтировчи юлдузчалар тарзида кўринади.

Ультрамикроскопда қоронғи майдон принципи амалга оширилган, бу принцип қуйидагидан иборат: кўриш майдонига тўғри нурлар киритилмай, фақат дифракцияланган нурларгина кузатилади. Бу принцип қатор мосламаларда амалга оширилади. Хусусан, микроскоп столчасидаги препаратни объективга бевосита тушмайдиган оғма нурларнинг кучли дастаси билан ёритадиган махсус конденсорларнинг (15.9- расм) қўлланиши ана шу принципга асосланган. Марказий нурларни шаффоф бўлмаган махсус парда тутиб қолади, ён нурлар эса тўла ички қайтиб, сўнг кўзгусимон сиртдан қайтади ва препаратда тўпланади. Бу ён нурлар объективга тушмайдиган йўналишда тарқалади, фақат буюмда дифракцияланган (буюм сочиб юрган) нурларгина объективга тушиши мумкин. Агар буюмлар анча йирик ( $\lambda/2$  дан катта) бўлса, бу ҳол-

\* Ёруғликнинг ҳатто ёт зарралар бўлмаган бутунлай тоза бир жинсли муҳитда юз берадиган молекуляр сочилиши жуда кучсиз бўлади, шунинг учун биз уни ҳисобга олмаямиз.

да турли тартибли дифракцион спектрлар бир вақтда объективга тушади ва биз буюм шаклидаги тасвирни кўрамиз. Агар дифракцияланган дасталарнинг анча қисми объективга тушмай қолса, у ҳолда буюм шаклидан сезиларли фарқ қилувчи тасвир ёки ҳатто буюмнинг шакли ҳақида ҳеч қандай тасаввур бермайдиган қора фондаги фақат ёруғ нуқта кузатилиши мумкин. Турли системадаги шунга ўхшаш конденсорлар (параболоид-конденсор, кардиоид-конденсор) микроскопияда кенг қўлланилади. Ультрамикроскопик кузатиш методини такомиллаштириш тўғрисида 45-§ да гапирилган эди.

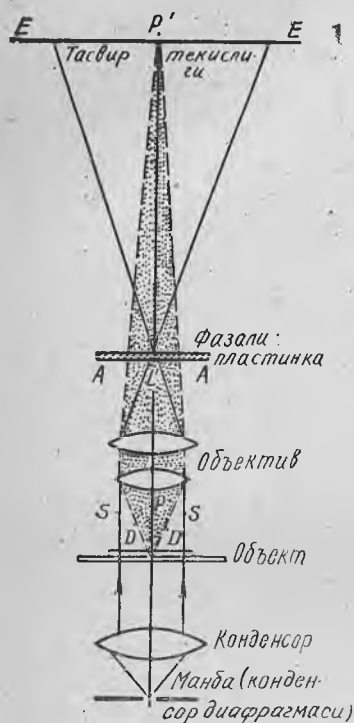
Баён қилинган микроскопик методлар атрофидаги муҳитга қараганда ёруғликни бошқачароқ ютиш қобилияти туфайли бутун кўриш майдони фонда ажралиб кўринувчи буюмлар учун (абсорбцион структуралар) жуда қулай бўлиши мумкин. Микроскопик ишда, масалан, биологияда атрофдаги муҳитдан асосан ўзининг синдириш кўрсаткичи билан фарқ қилувчи буюмлар (рефракцион структуралар) кўп кузатилади. Бу метод махсус кўриб чиқишга арзийди.

48-§ да кўрсатиб ўтилганидек, ўтувчи тўлқиннинг амплитудасини эмас, балки фазасини ўзгартирувчи рефракцион структуралар жуда яхши ифодаланган дифракция беради (масалан, фазавий дифракцион панжаралар). Бироқ бундай структураларни бевосита қараб ёки фотосуратга олиб бўлмайди, чунки қабул қилувчи асбоблар фазани эмас, балки рефракцион структуранинг турли қисмларидан ўтишда ўзгармай қолаверадиган амплитудани (интенсивликни) қайд қилади. Бу натижа Аббенинг текшириш методини рад қиладигандек бўлиб кўринади: бирламчи тасвирлар (спектрлар) бир хил бўлгани ҳолда иккиламчи тасвирлар мутлақо турлича бўлади. Бу қийинчиликнинг сабаби содда: ҳар хил структураларнинг дифракцион спектрлари бир-бирдан амплитуда жиҳатидан тафовут қилмаслиги мумкин, лекин рефракцион структуралар ҳолида нолинчи спектрнинг фазаси бошқа тартибли спектрлар фазасидан  $\pi/2$  қадар фарқ қилади. Бу эса барча спектрлар йиғилишидан ҳосил бўладиган иккиламчи тасвирларнинг фарқли бўлишига олиб келади. Бироқ нолинчи спектрнинг фазасини  $\pi/2$  қадар ўзгартирсак, у ҳолда биз абсорбцион ва рефракцион структуралар берадиган дифракцион манзаралар орасидаги фарқни бартараф қилган бўламиз ва рефракцион структураларни кўра оламиз. Бунда нолинчи спектрдаги қўшимча фаза фарқининг  $+\pi/2$  ёки  $-\pi/2$  га тенг бўлишига қараб структуранинг фазани кўпроқ ўзгартирадиган жойларини қоронғи ёки ёруғ қилиш мумкин.

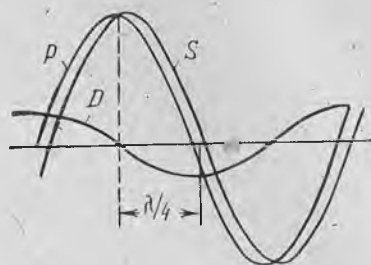
Қуйидаги содда мулоҳазалар тўғри ёруғлик (нолинчи максимум) билан сочилган ёруғлик (бошқа тартибли дифракциялар ёруғлиги) орасидаги фаза фарқини тушунишга имкон беради.

Бир жинсли шаффоф муҳит кўринишидаги буюмни тасаввур қилайлик, унинг шаффоф бўлган айрим қисмлари бир-бирдан син-





15.10- расм. Рефракцион структурани кузатиш схемаси.



15.11- расм. Рефракцион структурани кузатишда дифракцияланган  $D$  тўлқин ҳосил бўлиши.

дириш кўрсаткичи бўйича бир оз фарқ қиладиган бўлсин (рефракцион структура). Буюм  $\xi$  конденсор ёрдамида ёруғликнинг параллел дастаси билан ёритилган (15.10-расм). Агар буюмнинг қисми билан атрофдаги муҳит синдириш кўрсаткичлари жиҳатидан бир-бирдан фарқ қилмаганида эди, ёруғлик препарат орқали оғишмасдан ўтиб оғишмаган  $P$  тўлқин берар эди. Синдириш кўрсаткичлари фарқли бўлганда бир қисм ёруғлик сочиб юборилади (дифракцияланади) ва оғишган  $D$  тўлқин беради, ёруғлик-

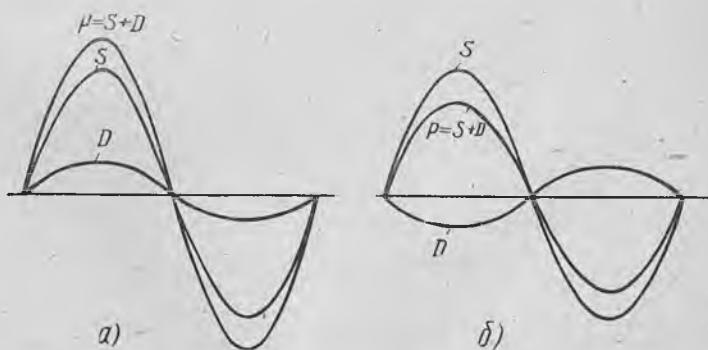
нинг катта  $S$  қисми эса дастлабки йўналишда ўтади (нолинчи тартибли спектр), лекин  $P$  тўлқинга нисбатан фаза бўйича бир-мунча силжийди; масалан, агар бу қисмнинг синдириш кўрсаткичи атрофдаги муҳитникидан каттароқ бўлса, у ҳолда бу  $S$  тўлқин фаза бўйича кечикади.

15.11-расмдаги график оғишмаган  $P$  ва «кечиккан»  $S$  тўлқинлар орасидаги шу кичик фаза силжишини кўрсатади. Бу икки тўлқин айирмаси дифракцияланган  $D$  тўлқиндан иборат бўлади.  $P$  ва  $S$  тўлқинлар амплитуда бўйича бир-бирига яқин, фаза бўйича озгина фарқ қилгани учун  $D$  тўлқин кичик амплитудали бўлиб,  $S$  тўлқинга (бинобарин,  $P$  тўлқинга ҳам) нисбатан фаза бўйича  $\pi/2$  қадар (чорак тўлқин қадар) силжиган бўлади.

Одатдаги микроскопда тасвир ҳосил қилишда  $S$  ҳам,  $D$  ҳам иштирок этиб, биргаликда структуранинг қўшни жойлари берадиган тўлқиндан фарқ қилмайдиган  $P$  тўлқинни беради, чунки абсорбция йўқ деб фараз қилинади. Шундай қилиб, одатдаги микро-

скоп рефракцион структуранинг турли қисмларини фарқ қилишга имкон беради.  $S$  тўлқинни тўсиб қолсак, қоронғи майдонли микроскоп ҳосил бўлади; бу микроскопда энди дифракцияланган  $D$  тўлқин мавжудлиги туфайли рефракцион структура кузатилиши мумкин.  $S$  нинг фазасини  $\pm \frac{\pi}{2}$  қадар ўзгартириб,  $S$  ва  $D$  лар қўшилгач, ё  $P$  нинг интенсивлигига нисбатан кучли интенсивлик (кучайиш) берадиган (агар  $S$  ва  $D$  ларнинг фазалари тенглашса) ёки  $P$  никига нисбатан кучсиз интенсивлик (сусайиш) берадиган (агар  $S$  ва  $D$  ларнинг фазалари қарама-қарши бўлиб қолса) қиламиз, яъни атрофдаги майдонда ёруғ ёки қоронғи бўлган *контрастли тасвир* оламиз (15.12а, б расм).

$S$  ва  $D$  тўлқинларнинг амплитудалари кўп фарқланганлиги туфайли энг катта контрастли тасвир олиш учун ютувчи фильтр ёрдамида  $S$  нинг (шу билан бирга  $P$  нинг ҳам) интенсивлигини  $D$  нинг интенсивлигига тенглашгунча сусайтириш фойдалидир. Бу ҳолда интерференцион эффект  $P$  тўлқиннинг интенсивлиги камайиши туфайли вужудга келган фондаги тасвирда (буюмнинг тасвирида) сезиларли кучайиш ёки деярли тўла сусайиш беради. Шунинг учун  $S$  нинг фазасини  $+\pi/2$  ёки  $-\pi/2$  қадар ўзгартиришга мўлжалланган пластинка одатда бир вақтнинг ўзида  $S$  ни тегишлича сусайтириш учун ҳам ишлатилади. Сусайтириш коэффициенти турлича бўлган шундай пластинкалар тўпламига эга бўлган ҳолда кузатишнинг энг яхши амалий шароитини танлаб олиш мумкин. Шундай сусайтирувчи ва фазани ўзгартирувчи пластинканинг қаерга жойланишини 15.10-расмдан кўриш осон. Агар препарат (буюм) параллел даста билан ёритилган бўлса, бу ҳолда оғишмаган ( $S$  ёки  $P$ ) тўлқин объективнинг  $AA$  фокал текислигида йиғилади ва ундан



15.12- расм. Фазавий контраст методи принципи .

а —  $S$  ва  $D$  тўлқинлар фазаси бир хил; б —  $S$  ва  $D$  тўлқинлар фазаси қарама-қарши.

нари бутун  $EE$  тасвир текислиги бўйича ёйилиб кетади. Дифракцияланган (оғишган)  $D$  тўлқин  $EE$  текисликда тасвир ҳосил қилади;  $EE$  текислик микроскоп объективига нисбатан буюм текислигига қўшма текисликдир.

$S$  ни (ва  $P$  ни) сусайтирувчи ва қўшимча фазалар фарқи ҳосил қилувчи фазавий пластинка объективнинг  $AA$  фокал текислигига жойлашиши керак.

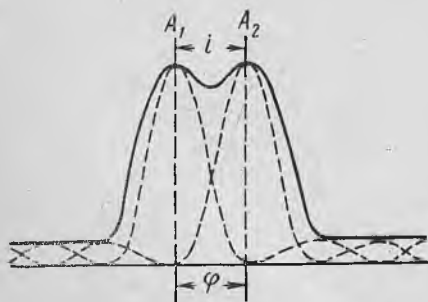
Фазавий пластинка шаффоф материалдан ясалган пластинка бўлиб, унинг нолинчи максимум тўғри келадиган жойи тегишлича қалинроқ ёки юпқароқ бўлади. Пластинканинг шу қисми бирор абсорбцион қобилиятли ютувчи қатлам билан қопланади.

Нолинчи максимум ёруғлик манбаининг конденсор ва объектив ҳосил қилган тасвиридир. Одатда конденсорнинг фокал текислигига жойлашган диафрагма манба хизматини ўтайди. Бу диафрагма тешигининг шакли нолинчи максимумнинг шаклини ва бинобарин фазавий пластинканинг қалинроқ (юпқароқ) қисмининг шаклини белгилайди. Қатор мулоҳазаларга кўра, диафрагманинг тешиги кичик ҳалқа кўринишида ишланади.

Шаффоф буюмлар тасвири контрастлигини яхшилашнинг баён қилинган методи фазавий контраст методи деб аталган (Цернике, 1935 й.). Ҳозирги вақтда фазавий контраст методидан фойдаланадиган микроскопларни саноат ишлаб чиқаради ва улар биологик тадқиқотларда кенг қўлланилади.

### 100-§. Спектрографларда бўладиган дифракцион ҳодисалар (хроматик ажрата олиш кучи)

Спектрографлардаги дифракцион ҳодисалар жуда катта аҳамиятга эга. Агар аппаратнинг тор тирқишини узоқда жойлашган кичкина ёруғлик манбаи (яъни деярли параллел даста) ёритиб турган бўлса, коллиматор объективига жуда ингичка ёруғлик дастаси тушади. Бундай ҳолда объективнинг жуда кичик қисми

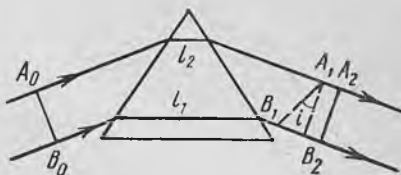


15.13- расм. Бир-бирига яқин икки спектрал чизик устма-уст тушганда интенсивлик тақсимооти.

ишлар эди, бу эса унинг ажрата олиш қобилияти жуда кичик бўлишига мос келар ва, бинобарин, фотопластинкада тирқишнинг тасвири кескин бўлмас эди. Аммо, тирқишда ёруғлик дифракцияланади, оқибатда коллиматор тирқишнинг ўлчамларига мувофиқ равишда ёруғликка тўлади.

Тирқиш тор бўлганида коллиматор объективининг апертураси объектив дифрак-

цион манзаранинг марказий максимумини ҳам, анчагина ён максимумларни ҳам ўткази оладиган даражада етарлича катта бўлиши керак; юқори тартибли дифракцион максимумларнинг диафрагма борлиги туфайли муқаррар тўсиб қолиниши оқибатида тирқишнинг тасвири бирмунча кенгайган бўлиб чиқади, бунда коллиматор объективининг апертураси қанча кичик бўлса, тирқишнинг тасвири шунча кўп кенгайди. Аммо, одатда, спектрограф коллиматорининг ҳам, камерасининг ҳам объективлари призмали системанинг кўндаланг кесимиغا нисбатан каттароқ ўлчамли қилиб ишланади. Шунинг учун тирқиш тасвирининг дифракцион кенгайишида призма туфайли ҳосил бўладиган чеклаш асосий аҳамиятга эга. Иккинчи томондан, призмали системанинг дисперсияси анча катта бўлгани туфайли тушаётган монохроматик бўлмаган ясси тўлқин fronti призмадан ўтгандан сўнг турли тўлқин узунликлар учун турли бурчакка бурилади ва оқибатда призматик спектр ҳосил бўлади (Ньютон). Икки яқин тўлқин узунликлар орасида дисперсия туфайли ҳосил бўлган бурчакли масофа (чизиқлар тасвирларининг дифракцион кенгайиши уларни тўлиқ босиб кетмагунча) бу чизиқларни фарқ қилишга имкон беради. Шундай қилиб, бу ҳолда ҳам дифракция спектрал аппаратнинг яқин тўлқин узунликларни фарқ қилиш қобилиятига чек қўяди, яъни аппаратнинг *хроматик ажрата олиш қобилиятига* чек қўяди.



15.14- расм. Спектрографнинг ажрата олиш кучини ҳисоблашга доир.

Интенсивлиги бир хил бўлган икки яқин монохроматик спектрал чизиқнинг устма-уст тушишидаги интенсивлик тақсимоти 15.13-расмда туташ чизиқ билан схематик тасвирланган.

Бу манзарада иккита дискрет тўлқин узунликни фарқ қилиш имконияти маълум даражада шартлидир (50,96-§ ларга таққосланг). Рэлейнинг фикрича, агар икки чизиқ максимумлари орасидаги  $A_1 A_2$  масофа (бурчак ўлчовида бу масофа  $i$  орқали ифодаланади) максимумдан энг яқин минимумгача бўлган бурчакли  $\varphi$  масофадан катта ёки унга тенг бўлса, яъни  $i \geq \varphi$  бўлса, бу икки чизиқ ажралган чизиқлар ҳисобланади.  $\mathcal{A} = \lambda/\delta\lambda$  катталик аппаратнинг ажрата олиш қобилияти дейилади, бу ерда  $\delta\lambda$  юқоридаги шартни қаноатлантирувчи энг яқин икки чизиқнинг тўлқин узунликлари фарқи.

Ҳисоб содда бўлиши учун энг кўп қўлланидиган схемани, яъни призма минимал оғдириш вазиятида турган схеманигина кўриб чиқамиз, бунда ёруғлик дастаси призма ичида унинг асосига параллел йўналишда боради.

15.14-расмда  $A_0B_0$  — иккала тўлқиннинг минимал оғдириш вазиятида турган призмага тушишидан олдинги фронтининг вазиятини билдиради.  $A_1B_1$  ва  $A_2B_2$  эса  $\lambda_1$  ва  $\lambda_2$  ларнинг призмада синишдан сўнгги фронтлари вазиятини билдиради.  $i$  бурчак —  $A_1B_1$  билан  $A_2B_2$  орасидаги бурчак.

15.14-расмдан қўйидагини топамиз:

$$i \approx \operatorname{tg} i = \frac{B_1B_2 - A_1A_2}{A_2B_2},$$

лекин

$$A_1A_2 = l_2 (n_1 - n_2) = l_2 \delta n,$$

$$B_1B_2 = l_1 (n_1 - n_2) = l_1 \delta n,$$

бундаги  $l_1$  ва  $l_2$  — призманинг юқориги ва пастки қисмидаги йўл узунлиги,  $\delta n = n_1 - n_2$  катталиқ —  $\lambda_1$  ва  $\lambda_2$  учун синдириш кўрсаткичлари фарқидир, чунки призмадан ўтишдаги кечикиш туфайли  $\lambda_1$  тўлқиннинг fronti  $\lambda_2$  тўлқиннинг фронтдан орқада қолади; тўлқинлар  $n_1$  ва  $n_2$  ларнинг ҳар хил бўлиши ва призмада босиб ўтиладиган қатлам қалинлиги ҳар хил бўлиши туфайли кечикади.

Шундай қилиб,  $(l_1 - l_2)\delta n$  ифода  $\lambda_1$  ва  $\lambda_2$  тўлқинлар орасидаги йўл фарқи бўлиб, бу фарқ призманинг ичида  $(l_1 - l_2)$  йўлда дисперсия туфайли пайдо бўлади. Ёруғлик дастасининг  $A_0B_0 = A_2B_2$  кенглигини  $h$  билан белгиласак,

$$i = \frac{l_1 - l_2}{h} \delta n.$$

Дастанинг  $h$  кенглиги чизиқнинг дифракцион кенгайишини аниқлайди.  $\lambda_1$  ва  $\lambda_2$  бир-бирига яқин бўлганлиги учун, бу кенгайишни иккала чизиқ учун ҳам бир хил ва  $h \sin \varphi = \lambda$  ёки

$$\varphi = \lambda/h$$

шартдан аниқланади деб ҳисоблаш мумкин, бу ерда  $\varphi$  — дифракция бурчаги.

Демак,  $\lambda$  га яқин иккита чизиқни ажрата олиш шarti қўйидагидир:

$$i = \varphi$$

ёки

$$\lambda = \delta n (l_1 - l_2). \quad (100.1)$$

Ёруғлик дастаси *бутун* призмани қоплагандаги ҳол аниқ қулай ҳолдир. Бу ҳолда  $l_2 = 0$  ва  $l_1 = b$ , бундаги  $b$  — призма асосининг кенглиги; минимал оғдириш вазиятида ёруғлик шу асос бўйлаб боради. Бу ҳолда

$$\lambda = b \delta n \text{ ва } \mathcal{A} = \frac{\lambda}{\delta \lambda} = b \frac{\delta n}{\delta \lambda}. \quad (100.2)$$

Шундай қилиб, призманинг хроматик ажрата олиш қобилияти призма асосининг кенглиги билан синдириш кўрсаткичининг нисбий дисперсияси кўпайтмасига тенг.

Бир материалдан ( $\delta n / \delta \lambda$  бир хил) ясалган бир нечта призмалари бўлган спектрографларда  $b$  миқдор барча призмалар асосларининг йиғиндисига тенг. Масалан, ҳар бир призмасининг асоси 7 см чама-сида бўлган уч призмали чоғроқ ИСП-51 спектрографи спектрнинг нисбий дисперсия  $\delta n / \delta \lambda = 0,0001 \text{ нм}^{-1}$  бўлган бинафша қисмида  $\lambda = 20\,000$  назарий ажрата олиш кучига эга, яъни асбоб бир-биридан 0,02 нм дан кам фарқ қиладиган иккита бинафша чизиқни ажратиб беролмайди. Тирқиш кенглигининг чекли бўлиши, шунинг-дек спектрограф оптикасининг нуқсонлари ва фотоэмульсияларнинг донадор бўлиши туфайли ҳақиқий ажрата олиш кучи назарий ажрата олиш кучидан бирмунча кам бўлади.