TÜRKMENISTANYŇ BILIM MINISTRLIGI

Jora Öwlüýägulyýew
Ýaňybaý Baratow
Gurbanmuhammet Ataýew
Abdyrahman Çaryýew

Optika

Türkmenabat - 2007 ý.

Sözbaşy

Garaşsyz, baky Bitarap Türkmenistan täze galkynyşlar, özgerişler zamanasynda hormatly Prezidentimiz Gurbanguly Berdimuhamedowyň baştutanlygynda täze ösüşlere, sepgitlere tarap batly gadamlar bilen ynamly öňe barýar. Döwlet Baştutanymyzyň bilim ulgamyny düýpli kämilleşdirmek, özgertmekhakyndaky resminamalary Altyn asyryň altyn nesillerini döwruň talabyna laýyklykda ylym, bilim we terbiýe bermäge uly badalga berdi.

Hormatly Prezidentimiz Gurbanguly Berdimuhamedow ýurdumyzyň geljegi bolan türkmen ýaşlarynyň ylymly, bilimli we dünýä ülňülerine laýyk gelýän derejede sowatly bolmagy uçin Atalyk aladasyny edýär. Bu bolsa her bir bilim işgäriniň Watan öňündäki şahsy jogapkärçiligini hasda artdyrýar.

Bilim ulgamynyň ähli basganҫaklarynda mugallymlary we terbiýeҫileri, talyplary we okuwҫylary dünýä standartyna laýyk gelýän okuw maksatnamalary, okuw kitaplary we gollanmalary bilen üpjün etmek gaýra goýulmasyz, dowlet ähmiýetli wezipeleriň biridir. Çünki bu ýurdumyzda bilim ulgamyny belende galdyrmagyň, öz işine ussat hünärmenleri taýýarlamagyň ilkinji zerur şerti hasap edilýär

Bu hödürlenýän kitap mugallymçylyk institutynda umumy fizika dersiniň maksatnamasynyň esasynda ýazyldy. Kitap umumy fizika dersiniň optika bölümini öz içine alýar. Kitabyň mazmuny birnäçe ýyllaryň dowamynda türkmen dilinde okalan umumy sapaklaryň baý iş tejribesini ulanmak bilen nazary maglumatlary baýlaşdyrylan görnüşde düzüldi.

Optika boýunça bu taýýarlanylýan kitap girişden we sekiz bapdan ybarat.

Girişde optika dersine giriş, ýagtylyk baradaky taglymatyň ösüşiniň gysgaça taryhy barada maglumatlar berylýär

Birinji bapda – ýagtylygyň elektromagnit nazaryýetine degişli maglumatlar berýär.

Ikinji bapda – ýagtylygy häsiýetlendirýän ululyklar we olaryň ölçeg birlikleri baradaky maglumatlar berilýär.

Üçünji bapda – ýagtylygyň interferensiýa hadysasy we onuň ulanylyşy baradaky maglumatlar berilýär.

Dördünji bapda - ýagtylygyň difraksiýa we onuň bilen baglanyşykly meselelere seredilýär.

Bäşinji bapda – geometrik optika we optiki abzallar barada maglumatlar berilýär.

Altynjy bapda – ýagtylygyň polýarlanmasy, ikilenen şöhle döwülme, polýarlaýjy abzallar we olaryň ulanylyşy barada maglumatlar berilýär.

Ýedinji bapda – ýagtylygyň dispersiýasy, siňdirilmesi we pytramasy barada maglumat berilýär.

Sekizinji bapda – optikada relýatiwistik hadysalar we hereketli gurşawlarda ýagtylygyň ýaýrama tizligi baradaky maglumatlar berilýär.

Kitap taýýarlanylanda optika degişli adalgalar mümkin bolan derejede türkmen dilinde atlandyryldy.

Giriş.

1. Optikanyň esasy meselesi

Optika dersi ýagtylyk baradaky ylym bolup, ol ýagtylygyň şöhlelenmesiniň, siňdirilmesiniň we ýaýramasynyň kanunalaýyklyklaryny öwredýär. Umuman ýagtylyk düşünjesi görüş duýgusyny oýandyryjy hökmünde kesgitlenilýär.

Elektromagnit meýdany baradaky ylmyň ösmegi bilen ýagtylygyň tebigatynyň elektromagnit taglymaty döredi. Bu taglymata görä ýagtylyk wakuumda kesgitli (299793 km/s) tizlik bilen ýaýraýan, çalt üýtgeýän elektromagnit meýdanydyr. Görüş duýgusyny oýandyrýan elektromagnit tolkunlary tolkun uzynlygy boýunça kesgitli çäge [(0,4÷0,76)mkm] eýedir. Elektromagnit şöhlelenmesi 0-dan ∞-ge çenli tolkun uzynlyklara eýe bolup bir-birinden ýygylyklary bilen tapawutlanýan radiotolkunlardan, infragyzyl, görünýän, ultramelewşe, rentgen we gamma – şöhlelerden ybaratdyr. Elektromagnit şöhlelenmäniň optika degişli çäklerini kesgitlemek esasy mesele bolup durýar.

Ýagtylygyň kwant nazaryýetinde islendik çeşmäniň şöhlelendirýän fotonlary bir-birinden energiýasy arkaly tapawutlandyrylýar.

Elektromagnit şöhlelenmede optiki şöhleleriň çägini kesgitlemek üçin ilki çeşmäniň tebigatyndan ugur almaklyga synanyşyk edildi. Belli bolşy ýaly atomlar, molekulalar, elementar bölejikler we kondensirlenen maddalar radiotolkunlardan tä gamma-şöhlelere çenli çäkdäki elektromagnit tolkunlaryny şöhlelendirýärler. Şoňa görä optiki şöhleleri, şöhlelendirijileriň tebigatyna esaslanyp, kesgitlemek mümkin däl bolup çykdy. Şeýle-de optiki şöhleleriň çägini elektromagnit tolkunlaryny kabul edijileriň tebigatynyň esasynda hem anyklamak mümkin däldigi belli boldy.

Optikanyň esasy häsiýetli aýratynlygy onuň usullary ähli ýagdaýlarda nähilidir bir jisimiň (predmetiň) şekilini döretmek bilen baglanyşyklydyr. Bu bolsa öz gezeginde optiki ulgamlaryň kömegi bilen kesgitli ugra gönükdirilen elektromagnit tolkunlarynyň dessesini (şöhle görnüşli akymyny) döretmek bilen baglanyşyklydyr. Optiki ulgam diýilende aýnalardan (zerkalo), linzalardan, prizmalardan, difraksiýa gözeneklerinden utgaşdyrylyp döredilýän gurnamalar göz öňünde tutulýar. Olara mysal hökmünde teleskoplary, mikroskoplary, spektroskoplary we ş.m-leri görkezmek bolar. Bu optiki ulgamlaryň ählisi ýiti şöhle dessesini döretmek ukybyna eýedirler. Başgaça aýdanymyzda şekil döretme we fokuslaýjylyk ukybyna eýe bolýar.

Optiki ulgamlaryň bu häsiýeti elektromagnit tolkunlarynyň tolkun frontunyň ölçegleri (***D***) onuň tolkun uzynlygyndan (λ) has uly bolan şerti kanagatlandyrýan ýagdaýlarynda saklanýar, ýagny $\left(\frac{\lambda}{D}\right)$<<1.

Hazirki döwürde ösen tehnikanyň hasabyna elektromagnit tolkunlarynyň ýeterlik derejede inçe ugrukdyrylan akymyny tolkun uzynlyklary 0,1Å-den 1 sm çenli çäkde almak mümkinçiligi bar. Başgaça aýdanymyzda spektri 0,1Å-den 1 sm çenli bolan elektromagnit tolkunlarynyň kömeginde jisimleriň(predmetleriň) şekilini almak mümkin.

Şeýlelikde gelejekde "ýagtylyk" diýilende tolkun uzynlyklary 0,1Å-den 1 sm çenli çäkde bolan, ýaýraýan elektromagnit meýdany göz öňünde tutulmalydyr. Emma optiki şöhlelenmä goýulan bu çägiň şertli kabul edilendigini bellemek ýerliklidir.

Ylmyň ösmegi bilen alnan netijeler fizikanyň dürli bölümleriniň arasyna kesgitli anyk araçäk goýmak mümkin däldigini görkezýär. Fizikanyň dürli bölümlerinde peýdalanylýan usullar bir-biriniň üstüni doldurýar, baýlaşdyrýar. Ýokarda bellenenleriň esasynda optika dersiniň esasy mazmuny kesgitlenilýär.

Şeýlelikde optika dersine ýagtylygyň tebigatyny anyklamak, ugrukdyrylan akym dessesini döretmek, ýagtylygyň maddalar bilen özara täsirini (şöhlelenme, pytrama, siňdirilme hadysalary) öwrenmek, ýagtylygyň ýaýrama tizligini ölçemek we optiki abzallaryň (teleskop, mikroskop, spektroskop we ş.m) işleýşini esaslandyrmak degişlidir.

Elektromagnit tolkunlarynyň optiki spektri şu wagta çenli belli bolan maddalaryň ähli görnüşleri bilen özara täsirleşýändigine görä optikanyň derňew usullary beýleki usullardan tapawutlylykda unwersal häsiýete eýedir. Bu bolsa ýagtylyk baradaky taglymaty maddanyň gurluşyny öwrenmek baradaky taglymatyň düýpli bölümine öwürýär.

2. Optikanyň ösüşiniň gysgaça taryhy

Ýagtylygyň terbigaty baradaky ilkinji düşünjeler has gadymydyr. Biziň eýýamymyzdan öň 582-500-nji ýyllarda ýaşap geçen Grek pelsepeçisi we matematigi Pifagor we onuň ylmy mekdebi görüş duýgusy gözden çykýan “gyzgyn bugarmanyň” jisimleriň üstüne düşmegi netijesinde döreýär diýip çak edipdirler. Bu garaýşyň soňky ösüşi Ýewklidiň (b.e.ö 300ý) “görüş şöhlesi” baradaky düşünjesiniň döremegine getirdi.

Bu garaýyşda gözden çykýan “görüş şöhlesiniň” uçlary jisime galtaşmagynyň netijesinde görüş duýgusy döreýär diýip hasap edilýar. Ýewklid ýagtylygyň göniçyzykly ýaýramasy baradaky taglymaty esaslandyrýar. Ol ýagtylygyň aýnadan (zerkalo) serpikme kanunyny açýar. Bu kanun häzirkizaman geometriki optikasynda hem öz ähmiýetini ýitirmän gelýär.

Aýnalar (zerkalo) bilen baglanyşykly ýagtylyk hadysalary Arhimed (b.e.ö.287-212ý) tarapyndan hem öwrenilýär. Empedokl (b.e.ö 492-432ý) görüş duýgusy barada çaklamasyny teklip edip, kesgitli öňe gidişlik döretdi. Onuň çaklamasyna görä ýagtylanýan jisimlerden çykýan akym göze gönükdirilýär, gözden çykýan akym jisime gönükdirilýär. Bu iki akym duşuşanda görüş duýgusy döreýär. Görnükli grek pelsepeçisi, atomistik garaýyş girizen Demokrit (b.e.ö 460-370ý) gözden çykýan “görüş şöhlesi” düşünjesinden doly ýüz öwürip öz çaklamasyny teklip etdi. Demokrit jisimlerden çykýan ownujak atomlaryň göze düşmegi netijesinde görüş duýgusy döreýär diýen garaýşy teklip edýär. Soňy bilen bu garaýşy Epikur (b.e.ö 341-270) hem goldaýar. “Görüş şöhlesi” baradaky çaklama düýpgöter garşy çykanlaryň biri görnükli gerek pelsepeçisi Aristoteldir.

Antika döwründe tejribede tassyklanan düýpli esaslanma bolmandyr. Şoňa görä gadymýetiň fizikasynda ýagtylygyň tebigaty baradaky garaýyşlar ýönekeý gözegçiliklere esaslanan pikir ýöretmelrdir. Oňa garamazdan gadymýetiň çaklamalarynyň optikanyň ösmeginde özüniň oňyn täsirini ýetirendigi anykdyr.

Orta asyrda optikanyň ösüşi

Orta asyryň ilkinji döwründe (b.e 150-700ý) optika degişli düýpli açyşlar bolmady. Biziň eýýamymyzyň 700-nji ýyllarynda araplarda ylmy öňe gidişlikler ýüze çykyp başlaýar.

Arap fizigi Algazen (1038) öz derňewlerinde optika degişli işleri amala aşyrmagy başarypdyr. Ol gözüň gurluşyny we ýagtylygyň döwülmesini hem-de oýuk (zerkalo) aýnalarda serpikmesini öwrenmek bilen meşgullanypdyr. Algazen ýagtylygyň döwülmesini öwrenmek bilen ýagtylygyň düşme burçy bilen döwülme burçunyň proporsional däldigini subut etdi. Ol sferik aýnalaryň (zerkalo) predmetiň şekilini ulaltmak häsiýetiniň bardygyny ýüze çykarýar we şöhlelenýän jisimlerden çykýan şöhleler göze düşüp, görüş duýgusyny döredýär diýen dogry garaýyşa eýeripdir. Algazen ýagtylyk kesgitli tizlik bilen ýaýraýandyr diýip hasap edipdir. Ol Aýyň we Günüň ölçegleri dik depedäki ýagdaýdan kese gözýetimde görünýän mahaly uly bolup görünmegi görüş duýgusynyň aldawy diýip düşündirýär.

Orta asyrlaryň dowamynda ylmyň ösmegi üçin oňaýly şertler bolmandyr. Şoňa görä bu döwürde ýagtylygyň tebigatyna degişli ylmy derňewler ýok diýen ýalydyr.

Dikeldiş döwründe optikanyň ösüşi

XIV- ýüzýyllykdan XVII- ýüzýyllygyň birinji ýarymyna çenli döwürde tebigaty öwreniş ylmynda tejribe usullary peýda bolup başlaýar. Bu döwürde optika degişli köp sanly örän wajyp açyşlar amala aşyrylýar. Fransisko Mowrolik (1494-1575ý) äýnegiň täsirini dogry düşündirmegi başarýar. Ol uzakdan görme hem-de şowa körlügiň sebäbini gözüň hrustaljygynyň ýagtylygy kadaly döwmeýänliginiň netijesidigini ýüze çykarýar.

Mawrolik gün şöhleleri kiçijik deşikden geçirilende Günüň şekiliniň alnyşyny dogry düşündirmegi başarýar.

1589-njy ýylda italýan alymy Port (1538-1615) obekur kamerasyny oýlap tapýar. Soňy bilen bu açyş fotoapparatyň döremegine getirdi.

1590-njy ýylda golland oýlaptapyjysy Z.Ýansen mikroskopy döredýär. 1608-1610-njy ýyllarda golland optikleri Z.Ýansen, Ýa.Mesus we G.Lippersgeý görüş turbalaryny ýasap başladylar. Optiki abzallaryň döremegi astronomiýada we biologiýada uly açyşlara getirdi. Nemes fizigi we astronomy I.Kepler (1571-1630) optiki abzallaryň nazaryýetine we fiziologiki optika degişli düýpli işleri amala aşyrdy.

Fransuz fizigi P.Ferma (1601-1665ý) geometrik optikada uly ähmiýete eýe bolan düzgüni teklip etdi. Bu düzgüne laýyklykda giňişligiň iki nokadynyň arasynda ýagtylyk iň gysga wagtda geçilýän ýol boýunça ýaýaraýar. Bu ýerden ýagtylygyň gutarnykly tizlik bilen ýaýraýandygy gelip çykýar.

Mark Antoniý de Dominis (1566-1624ý) ýagtylygyň reňki we älemgoşar bilen gyzyklanyp içi suwdan doldurylan aýna togalaklarda (şarlarda) ýagtylygyň döwülmesini öwrenýär.Bu döwrüň açyşlarynyň iň saldamlysy Grimaldi (1618-1683) tarapyndan ýagtylygyň difraksiýa hadysasynyň ýüze çykarylmasydyr. Ol ýagtylyk şöhlesi örän kiçi deşikden ýa-da germewiň gyrasyndan geçende göni çyzykly ýaýramasyndan gyşarýandygyny tejribede görýär. Mundan başgada ol ýagtylyk şöhleleriniň goşulyşyna gözegçilik etmek bilen interferensiýany ýüze çykarýar. Emma Grimaldi ýagtylygyň tebigaty barada hiç hili teklip girizmeýär.

XVII we XVIII ýüzýyllyklarda optikanyň ösüşi

Ýagtylygyň tebigaty barada Nýutonyň korpuskulýar nazaryýeti

Ýagtylygyň tebigaty barada Gýuýgensiň tolkun nazaryýeti

Bu döwürdäki uly ylmy açyşlar görnükli iňlis alymy Isaak Nýuton (1643-1727) bilen baglanşyklydyr. Nýuton 1666-njy ýylda üçgranly prizmadan ýagtylyk geçende dispersiýa hadysasynyň ýüze çykýandygyny tejribede amala aşyrdy. Nýuton ak ýagtylyk dessesi üçgranly prizmadan geçende tükeniksiz köp dürli reňkli şöhleleriň toplumyna öwrülip tutuş spektr emele getirýändigini ýüze çykardy. Nýutonyň bu geçiren tejribeleriniň netijesinde ak ýagtylygyň çylşyrymly şöhlelenmedigi belli boldy. Nýuton prizmadan geçen reňkli şöhleleri linzanyň kömegi bilen jemläp ýene-de ak ýagtylygy almagy başardy.

Nýuton tejribeleriň esasynda reňkler baradaky nazaryýetini döretdi. Reňkler baradaky nazaryýetine laýyklykda jisimleriň reňki olaryň serpikdirýän şöhleleriniň spektri bilen kesgitlenip, beýlekileri jisim tarapyndan siňdirilýändir.

Bu açyşlar bilen birlikde ýagtylygyň difraksiýasyna we interferensiýasyna degişli işler hem Nýuton tarapyndan seredilýär. Ol soňy bilen Nýutonyň halkalary diýen ada eýe bolan interferensiýa şekilini tejribede almagy başardy. Bu kanunalaýyklyk interferensiýa hadysasyndaky mukdar gatnaşyklaryny esaslandyrdy. Nýutonyň çaklamasyna görä ýagtylyk şöhlelenýän (ýagtylanýan) jisimler tarapyndan göýberilýän adatdan daşary ownuk bölejeikleriň akymydyr. Şeýlelikde Nýuton ýagtylygyň korpuskulýar nazaryýetini esaslandyrdy. Nýutonyň bu nazaryýetine “akym nazaryýeti” hem diýilýär.

Nýuton ýagtylyk bölejikleri dürli ölçeglerde bolýar diýip hasap edýär: gyzyl reňkli spektre uly bölejikler, melewşe reňkli spektre kiçi bölejikler, aralykdakylar reňkleriň üznüksiz spektrini döreder ýaly şerti kanagatlandyrýan ölçeglerde bolmaly. Nýutonyň akym nazaryýeti spektriň reňklerinden başgada ýagtylygyň döwülme we ýaýrama kanunlaryny gowy düşündirmegi başarýar. Emma bu nazaryýet ýagtylygyň serpikme, difraksiýa we interferensiýa ýaly hadysalaryny düşündirmekde düýpli kynçylyklara sezewar bolýar. Muňa garamazdan akym nazaryýeti XVIII ýüzýyllygyň dowamynda we XIX ýüzýyllygyň birinji çärýeginde hökmürowanlygyny saklady.

Ýagtylygyň tebigatynyň tolkun nazaryýeti iňlis fizigi Robert Gukuň (1629-1703) we Gollandiýaly alym Hristiýan Gýugensiň (1629-1695) ylmy işlerinde ýüze çykarylyp başlanýar.

Gukuň çaklamasyna görä ýagtylyk – bu ýagtylyk çeşmesiniň ýerleşen gurşawyndaky giňişlikde, sferik tolkun görnüşinde ýaýraýan, çalt yrgyldaýan hereketdir (impulsdyr). Bu çalt yrgyldylar häsiýetleri boýunça tapawutly aýratynlyklara eýe bolan älemi dolduryp duran “efir” diýlip atlandyrylan gurşawda amala aşýar. Guk ýagtylyk tolkunlaryna kese tolkunlar hökmünde seredip, şonuň esasynda ýuka gatlaklaryň reňkini kesgitlemek we ony esaslandyrmak boýunça derňew işleri bilen meşgullanýar. Emma gutarnykly netijä gelip bilmeýär.

Gýuýgens tolkuny kinematiki taýdan jikme-jik seljermäge we dürli kanunalaýyklyklary döretmäge mümkinçilik berýan düzgüni teklip etdi. Gýuýgens öz düzgüniniň esasynda ýagtylygyň serpikme we döwülme kanunlaryny şeýle-de kristallarda ýüze çykýan ýagtylygyň ikileýin şöhle döwülmesini düşündirmegi başarýar. Gýuýgens ikileýin şöhle döwülmäni öwrenmek bilen kristallarda ýagtylygyň polýarlanmasyny açýar. Gýuýgens ýagtylyga boý tolkuny hökmünde seredýänligi sebäpli polýarlanma, reňk nazaryýetine şeýle-de ýagtylygyň gönüçyzykly ýaýramasyna takyk düşündiriş berip bilmeýär.

XIX ýüzýyllykda optikanyň ösüşi. Ýagtylygyň tebigatynyň tolkun nazaryýetiniň ýeňişi

XIX asyrda fizikanyň taryhynda örän ajaýyp waka ýagny ýagtylygyň tebigatynyň tolkun nazaryýetiniň ýeňişi boldy. Bu babatda iňlis fizigi Tomos Ýungyň hyzmaty uludyr. Ol tolkunlaryň interferensiýasyna degişli derňew işlerini geçirýär. Bu bolsa ýuka gatlaryň reňkini (hususy halda Nýutonyň halkalaryny) düşündirmäge mümkinçilik berdi. Ýunguň ýagtylyk tolkunlaryna boý tolkuny hökmünde garamagy sebäpli polýarlanma hadysasyny düşündirip bilmedi. Ýagtylygyň tolkun nazaryýetiniň ýeňişi görnükli fransuz fizigi Freneliň (1788-1827) işleri bilen baglanşyklydyr. Frenel Gýuýgensiň düzgünine täzeçe seredip, ony Ýunguň interferensiýa üçin teklip eden düzgüni bilen utgaşdyryp, ýagtylygyň difraksiýasynyň ykjam matematiki nazaryýetini döredýär we şonuň esasynda ýagtylygyň gönüçyzykly ýaýramasyny düşündirýär. Mundan başgada Frenel tarapyndan Nýutonyň akym nazaryýetini puja çykarýan we ýagtylygyň tolkun tebigatyny tassyklaýan köpsanly ajaýyp tejribeler amala aşyrylýar. Ýagtylygyň interferensiýasyna we polýarlanmasyna degişli geçirilen tejribeler ýagtylyk tolkunlarynyň diňe kese tolkun görnüşinde boljakdygyny tassyklaýar.

Nemes fizigi Kirhgof (1824- 1887) 1882-nji ýylda Gýuýgensiň-Freneliň düzgünini matematiki taýdan esaslandyryp, Freneliň nazaryýetiniň käbir bärden gaýtmalaryny aýyrdy. Kirhgofyň teoremasy diftaksiýanyň nazaryýetiniň matematiki esasy bolup durýar. Ýagtylygyň tolkun nazaryýetiniň mundan soňky ösüşinde görnükli amerikan alymy Maýkelsonyň (1852-1931) saldamly goşandyny görkezmek bolar. Ol iki şöhleli interfereometri oýlap tapyp, uzynlyk ölçeg birligi metriň ülňüsini (etalonyny) ýagtylygyň tolkun uzynlygynyň üsti bilen ölçemegi amala aşyrdy (1824). Spektral çyzyklaryň aşa inçe gurluşy ilkinji gezek Maýkelson tarapyndan öwrenildi. Has soňky seljermeler bu hadysanyň atom ýadrosynyň gurluşy we himiki elementleriň izotop düzümi bilen berk baglanyşyklydygyny görkezdi. 1890-njy ýylda nemes fizigi Winer durujy ýagtylyk tolkunlaryny aldy.

Ýokarda getirilen ylmy açyşlar, oýlanyp tapylan abzallar, ýagtylygyň tolkun nazaryýetiniň ösüşiniň has wajyp pursatlardyr. Mundan başgada köpsanly bir-biriniň üstüni doldurýan ylmy açyşlara ýagtylygyň tolkun nazaryýetiniň üstünlikli ýeňişi hökmünde seretmek mümkin.

Ýöne welin bu döwürde ýüze çykarlan flýuoressensiýa, fosforesensiýa, şeýle-de ýagtylygyň şöhlelenmesi we siňdirilmesi ýaly hadysalar ýagtylygyň tolkun nazaryýetinde öz düşündirişini tapyp bilmedi.

Optikanyň XX ýüzýyllykda ösüşi

XIX ýüzýyllygyň ahyry XX asyryň başy fizikada köpsanly hadysalaryň açylmagy netijede tebigaty öwrenmekde düýpli öwrülişige getirendigi bilen häsiýetlendirilýär. Bu öwrülişik maddanyň gurluşy barada hem-de wagt we giňişlik barada öňden gelýän garaýyşdan ýüz öwürmekden başlanýar. Hereketiň tizligine baglylykda üýtgeýän massa düşünjesiniň girizilmegi şol döwrüň köp sanly görnükli alymlarynda hem bir bada kanagatlanarly ynam döredip bilmedi.

1895-nji ýylda nemes fizigi Rentgen (1845-1923) örän güýçli geçirijilik ukybyna eýe bolan X-şöhleleri tapdy. Soňy bilen X-şöhleler rentgen-şöhleleri diýen ada eýe boldy.

1886-njy ýylda fransuz fizigi Anri Bekkerel (1852-1908) radioaktiwlik hadysasyny açdy. Soňy bilen bu hadysa atom we ýadro fizikasynyň döremegine getirdi. 1900-njy ýyl ýagtylygyň tebigaty baradaky täze taglymatyň, eýýamyň başlangyjy boldy. Görnükli nemes fizigi Maks Plank 1900-njy ýylda ýagtylygyň kwant nazaryýetini döretdi we ýagtylygyň şöhlelenmesini hem-de siňdirilmesini düşündirdi. Plank kwant nazaryýetiniň esasynda absolýut gara jisimiň şöhlelenme kanunyny açdy.

1912-nji ýylda M.Laue rentgen şöhleleriniň kristallardaky difraksiýasyny aldy we şonuň esasynda rentgen şöhleleriniň hem ýagtylyk şöhlelerine meňzeşdigini, ýagny örän gysga tolkun uzynlykly elektromagnit tolkunlarydygyny subut etdi. Ýagtylygyň nusgawy elektromagnit taglymatyndan tapawutlylykda kwant nazaryýeti şöhle göýberme we şöhle siňdirme hadysalaryna üznükli aýry-aýry gutarnykly ülüşli hadysa hökmünde seredýär. Şöhle göýbermede jisimleriň oýandyrlan bölejigi bir kwant elektromagnit energiýany göýberýär, şöhle siňdirmede bolsa (gutarnykly gymmata eýe bolan) bir kwant energiýany ýuwudýar. Şeýlelikde ýagtylygyň Plank tarapyndan teklip edilen nazaryýeti onuň korpuskulýar taglymatynyň täze görnüşidir. Şunlukda köpsanly optiki hadysalar ýagtylygyň elektromagnit taglymatynyň esasynda doly düşündirilip, ýene-de birgiden hadysalar ýagtylygyň kwant taglymatynda öz düşündürişini tapýar, ýagny ýagtylyk şol bir wagtyň özünde tolkun we bölejik görnüşinde ýüze çykýar. Bu bolsa tebigatyň bitewüliginiň esaslandyrylmasydyr.

1905-nji ýylda A.Eýnşteýn diňe şöhle göýberme we şöhle siňdirme kwant häsiýete eýe bolman, eýsem ýagtylyk giňişlikde ýaýranda-da ýagtylyk kwantarynyň ýagny aýry-aýry fotonlaryň akymy görnüşinde ýaýraýar diýen çaklamany teklip etdi. Kwant nazaryýetinde ýagtylygyň tolkun häsiýeti hem saklanýar: ýagny her bir fotonyň energiýasynyň mukdary ýagtylyk tolkunynyň ýygylygynyň üsti bilen aňladylýar. Ýagtylygyň kwant nazaryýeti şöhle göýberme, şöhle siňdirme, flýuoressensiýa, fotohimiýa, fotoeffekt we ş.m. hadysalary düşündirmekde taýsyzdyr.

1905-nji ýylda A.Eýnşteýn mikrodünýäniň çaginde energiýanyň saklanma kanunynyň esasynda, fotoeffektiň nazaryýetini döretdi. 1913-nji ýylda daniýaly fizik N.Bor atomyň gurluşynyň we atomyň şöhlelenmesinmiň nusgawy däl nazaryýetini döretdi. Bu nazaryýetiň esasynda erkin atomlaryň şöhlelenme spektrleri düşündirildi.

Atomyň şöhlelenmesiniň we spektrleri bilen bir hatarda atomyň gurluşy we himiki elementleriň periodiki sistemasynyň nazaryýeti döredildi.

1924-nji ýylda fransuz fizigi Lui de Broýl hereket edýän her bir elementar bölejige tolkun häsiýet mahsusdyr diýip, elementar bölejige maddy tolkun hökmünde seretmekligi teklip etdi. 1927-nji ýylda amerkan fizikleri Dewisson we Džermer elektronlaryň difraksiýasyny tejribede ýüze çykaryp, hakykatdan hem elektronlaryň tolkun häsiýete eýedigini subut etdiler. Geçirilen köpsanly tejribe we nazary derňewleriň netijesinde elementar bölejikleriň dünýäsine degişli ähli bölejiklere tolkun häsiýetiň mahsuslygy, ýagny şol bir wagtyň özünde olaryň tolkun we bölejik görnüşde bolýandygy esaslandyryldy.

1927-1928-nji ýyllarda nazary fizikanyň görnükli alymlary de Broýl, Geýzenberg, Şredinger, Dirak we beýlekiler tarapyndan elementar bölejikleriň dünýäsiniň kwant nazaryýeti, kwant mehenikasy we kwant elektrodinamikasy döredildi. Bu nazaryýetler şöhlelenme, şöhle siňdirme, pytrama we köpsanly ýagtylygyň madda bilen özara täsiri bilen baglanyşykly hadysalary ylmy esasda jikme-jik düşündirmegi başardy.

XX-asyryň ikinji ýarymynda optikanyň ösüşi bilen baglanyşykly fizikanyň täze bölümleri, ýagny elektromagnit şöhlelenmäniň fizikasy – kwant radiofizikasy, kwant elektronikasy, şeýle-de kogerent optika we çyzykly däl optika ýaly bölümler döredi. Häzirki döwürde bu bölümler güýçli depgin bilen ösýär. Lazerleriň we mazerleriň fizikasynyň mundan beýläk ösüşleri güýçli depginde ösýän tehnalogiýalary döretmek bilen çäklenmän, eýsem ýagtylygyň tebigaty baradaky esasy meseläniň gutarnykly çözüwini berer diýmeklige ynam döredýär.

Birinji bap

Ýagtylygyň elektromagnit taglymaty

1.1 Ýagtylygyň elektromagnit tebigaty

Optika tebigat baradaky ylymlaryň iň gadymylarynyň biri bolmagyna garamazdan onuň esasy meselesi, ýagny ýagtylygyň tebigaty baradaky mesele diňe XIX asyryň ikinji ýarymynda we XX asyryň birinji ýarymynda öz çözgüdini tapdy.

Iňlis fizigi D.K.Makswel (1831-1879), elektrik we magnit hadysalaryna degişli kanunlary umumylaşdyrmak bilen ýagtylyk, elektromagnit tebigata eýedir diýen netijä gelýär. Bu netijä gelinmeginiň sebäbi wakumdaky elektromagnit meýdany üçin Makswelin deňlemeler ulgamy bilen baglanşyklydyr:

$$div\vec{D}=0 \quad (1) \qquad rot\vec{E}=-\frac{\partial\vec{B}}{\partial t} \quad (2) \qquad div\vec{B}=0 \quad (3) \qquad rot\vec{H}=\frac{\partial\vec{D}}{\partial t}. \quad (4) \qquad (1.1)$$

Bu deňlemeler ulgamy käbir özgertmelerden soň elektrik we magnit meýdanlarynyň güýjenmesiniň wektory üçin tolkun deňlemä getirilýär. Deňlemeleriň çözülişi giňişlikde ýagtylygyň wakuumda ýaýrama tizligine deň bolan

$$c=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}=3\cdot10^8\,\frac{m}{s}$$

tizlik bilen ýaýraýan tolkunyň (hadysanyň) tolkun funksiýasyny berýär.

Hakykatdan hem (1.1) deňlemeler ulgamynyň (2) deňlemesine rotor alamatyny ulanyp, ýagny

$$rotrot\vec{E}=-\frac{\partial rot\vec{B}}{\partial t} \quad (1.2)$$

wakum üçin $\vec{D}=\varepsilon_0\vec{E}$ we $\vec{B}=\mu_0\vec{H}$ deňlikler almak mümkin. Onda (1.1) deňlemeler ulgamynyň (4) deňlemesini

$rotrot\vec{E}=graddiv\vec{E}-\nabla^2\vec{E}$ gatnaşygy we $graddiv\vec{E}=0$ bolýandygyny göz öňüne tutup,

$$\nabla^2\vec{E}-\mu_0\varepsilon_0\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}=0 \quad (1.3)$$

deňlemäni alarys. Bu deňlemäniň çözülişiniň

$$f(t \pm \frac{\vec{r}\vec{m}}{c}) = f(t \pm \frac{x\cos\alpha + y\cos\beta + z\cos\gamma}{c}) \quad (1.4)$$

bolýandygyna göra oňa tolkun funksiýanyň deňlemesi diýilýär.

(1.4) deňlemede $\vec{r}$ –koordinata başlangyjyndan meýdanyň berlen nokadyna geçirilen radius-wektor; $\vec{m}$ -tolkunyň ýaýraýan ugruna ugrukdyrylan birlik wektor. (1.4)-i (1.3)-e goýmak bilen (f) funksiýanyň we şuňa meňzeş funksiýalaryň islendik çyzykly utgaşmasynyň $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}$ şert ýerine ýetende tolkun funksiýasyny kanagatlandyrýandygyna göz ýetirmek bolar.

f(t,r) funksiýa islendik görnüşde bolup biler. Hususy halda ony garmoniki görnüşde aňlatmak bolýar. Bu bolsa aýratyn oňaýlylygy döredýär, sebäbi köp fiziki gurluşlar meýdany wagta baglylykda garmoniki üýtgeýän ululyk görnüşinde hasaba alýar. Mundan başgada Furýeniň teoremasyna görä fizikada ulanylýan islendik funksiýa kesgitli ýygylyga, amplituda we başlangyç faza eýe bolan garmoniki funksiýalaryň jemi görnüşinde aňladylyp bilner. Mysal üçin $\vec{E} = \vec{E}_0 \cos\left[\omega\left(t \pm \frac{z}{c}\right)\right]$ görnüşdäki tekiz tolkuny aňladýan funksiýa (z-iň artýan ugruna ýaýraýan $\left[\omega\left(t - \frac{z}{c}\right)\right]$ argumentli funksiýa ýa-da z-iň kemelýän ugruna ýaýaraýan $\left[\omega\left(t + \frac{z}{c}\right)\right]$ argumentli funksiýa) hökmünde ýazylyp bilinýär. Şeýle çözüliş $\vec{H}$ magnit meýdanynyň güýjenmesiniň wektory üçin hem alynýar. $\vec{E}$ we $\vec{H}$ wektorlar ýagtylygyň ýaýraýan ugruna perpendikulýar ugrukdyrylýar. Şeýlelikde erkin giňişlikde elektromagnit tolkunlarynyň kese tolkunlardygy gelip çykýar. Dielektrik gurşaw üçin $\vec{D} = \varepsilon\varepsilon_0\vec{E}$, $\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}$ bolýandygyna görä (1.1) deňlemeler ulgamynyň çözülişi $\vec{E} = \vec{E}_0 f\left(t - \frac{z}{\vartheta}\right)$ görnüşe eýe bolar. Bu ýrde

$$\vartheta = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}} \qquad (1.6)$$

bolup, ε we μ degişlilikde gurşawyň dielektrik we magnit syzyjylyklary; $\vec{E}_0$- elektrik wektorynyň amplituda bahasy.

$\frac{c}{\vartheta}=n$ gurşawyň absolýut döwme görkezijisi bolup, para ýa-da diamagnit häsiýetli optiki gurşawlar üçin $\mu \approx 1$ bolýandygyna görä (1,6)-dan $n=\sqrt{\varepsilon}$ deňlik gelip çykýar.

Şeýlelikde ýagtylygyň elektromagnit nazaryýeti tejribede barlanmak mümkinçiligi bolan, optiki ululyk (absolýut döwme görkezijisi n) bilen elektrik ululygyň (dielektrik çyzyjylygyň ε) baglanyşygyny berýär.

Tolkunyň giňişlikde ýaýrap, käbir t wagt pursatynda baryp ýeten üstüne tolkun fronty diýilýär.

Eger tolkun fronty sfera görnüşli bolsa, onda tolkunyň deňlemesi sferik koordinata ulgamy arkaly aňladylyp, $\vec{E}=\frac{\vec{E}_0}{\rho}$ bolýar. Bu ýerde ρ tolkun frontynyň egrilik radiusy. Eger tolkun fronty slindir görnüşli bolsa onda tolkunyň deňlemesi slindrik koordinata ulgamy arkaly aňladylyp $\vec{E}=\frac{\vec{E}_0}{\sqrt{\rho}}$ bolýar. Beýle edilmegi degişli tolkunlaryň ýaýramasynda energiýanyň saklanma kanunynyň ýerine ýetmegi üçin zerurdyr.

Elekrodinamikanyň deňlemesinden alynýan iň ähmiýetli we örän wajyp netije elektromagnit meýdanynyň tizlenmeli hereket edýän zarýadyň töwereginde döräp, soňra onuň giňişlikde ýagtylygyň tizligi bilen ýaýramasy üçin zarýadyň zerur bolmazlygydyr. Elektromagnit meýdanyň ýagtylyk geçiriji diýlip hasap edilýän, çaklamanyň çägindäki “efir” düşünjesinden ýüz öwürmäge esas döretdi. Elektromagnit tolkunlary üçin hiç hili gurşawyň geregi ýok, ol materiýanyň maddy görnüş bilen bir hatarda ýüze çykýan fiziki meýdan görnüşidir.

Ýagtylygyň ýaýrama tizligi ýagtylyk çeşmesiniň tizligine bagly däldir we bir inersial hasaplama ulgamyndan beýleki hasaplama ulgamyna geçende inwariantdyr (üýtgewsizdir). Bu hakykat göräligiň ýörite nazaryýetinden has öň ýüze çykarlan hem bolsa Makswelıň deňlemeleri bilen doly ylalaşýar. Makswelıň deňlemeler ulgamy Lorensiň özgertmelerinde inwariant bolup çykdy.

Şeýlelikde ýagtylygyň wakuumda ýaýrama tizligi düpli (fundamental) hemişelikleriň biri bolup, tebigatdaky özara täsirleriň geçirilişiniň iň uly tizligidir.

Makswelıň ýagtylygyň elektromagnit tebigaty baradaky çaklamasy 1887-nji ýylda nemes fizigi G.Gers tarapyndan tejribede tassyklanyldy. Ol ilkinji gezek ýygylygy $\nu \approx 10^{7} Gs$ bolan elektromagnit tolkunlaryny almagy başardy. Soňra rus fizigi P.N.Lebedew geçiren tejribelerinde ýygylygy $\nu \approx 10^{10} Gs$ bolan elektromagnit tolkunlary ýüze çykardy.

Makswelıň çaklamasynyň dogrudygyny barlamak üçin ýagtylyk tolkunyny “elektrik” usuly bilen döretmek gerekdi. Bu ugurdaky ilkinji işler XX asyryň 20-nji ýyllarynda A.A.Glagolewa-Arkadýewa tarapyndan amala aşyryldy. Ol Gersiň gurnamasyndan kiçijik dipollar bolup hyzmat edýän metal gyryndylarynda elektromagnit yrgyldylaryny oýandyrýan birnäçe şöhlelendirijileri döredýär. Metal gyryndylar zarýadsyzlanma netijesinde ýanýar we şol pursatda täzesi bilen çalşyrylýar. Şöhlelenme gowşak we monohromatik däl hem bolsa, ýygylygy $5 \cdot 10^{12}$Gs – e çenli bolan uzyn tolkunly infragyzyl (IG) şöhlelenmäni ýüze çykarýar.

Soňy bilen sinhron tizlendirijilerde elektrony relýawitistik tizlige çenli tizlendirip, sikliki traýektoriýa boýunça hereket etdirilende ýagtylyk şöhlelendirilýänligi ýüze çykaryldy.

Elektromagnit tolkunlary bilen geçirilen tejribeler görüş duýgusyny döredýän şöhlelenmeleriň ýygylyklary $4 \cdot 10^{14}$ Gs-den $8 \cdot 10^{14}$ Gs-e çenli bolan elektromagnit tolkunlardygyny görkezdi.

Özüniň fiziki tebigaty boýunça infragyzyl (uly tolkun uzynlykly şöhlelenme) we ultramelewşe (UM) (kiçi tolkun uzynlykly şöhlelenme) şöhlelenmeler bir-birinden tapawutlanmaýar. Şoňa görä IG, UM we görünýän ýagtylyk şöhlelenmelerine umumy ýagdaýda optiki şöhlelenme diýilýär.

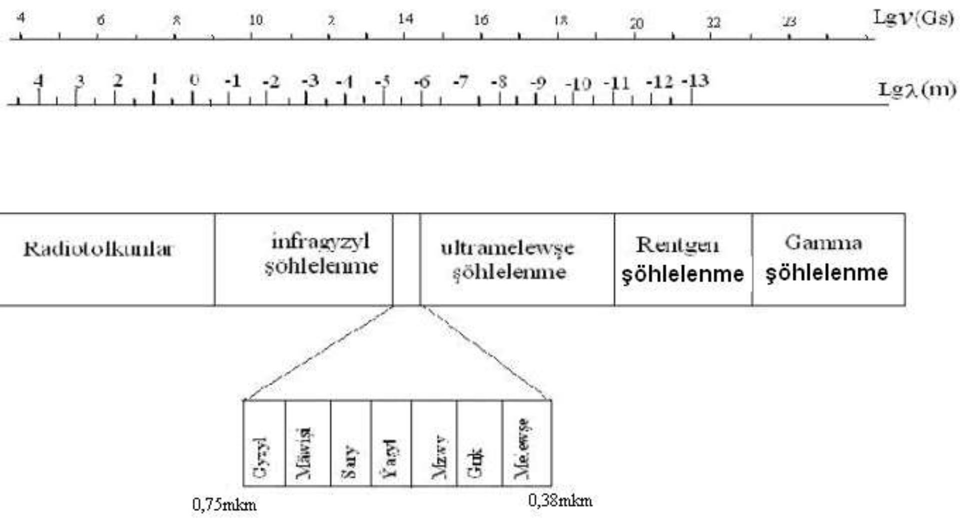
Häzirki döwürde infragyzyl şöhlelenme diýlende ýygylyklary $4 \cdot 10^{14}$ Gs-den $8 \cdot 10^{12}$ Gs-e çenli we ultramelewşe şöhlelenme diýlende ýygylyklary $8 \cdot 10^{14}$ Gs-den 10^{17} Gs-e çenli aralykda bolan elektromagnit tolkunlary göz öňünde tutulýar.

1895-nji ýylda nemes fizigi W.Rentgen çalt hereket edýän elektronlaryň akymynyň metal üste urlup haýallamasy netijesinde döreýän ýokary ýygylykly şöhlelenmäni ýüze çykardy. Bu şöhlelenmä (10^{17}Gs-den 10^{19} Gs-e çenli) alymyň hatyrasyna rentgen şöhlelenmesi diýlip atlandyrylýar. Şuňa meňzeş we ondan has ýokary ýygylykly (10^{19}Gs-den 10^{23} Gs-e çenli) şöhlelenmeler ýadro reaksiýalarynda elementar bölejikleriň özara öwrülişmelerinde döreýärler beýle şöhlelenmä gamma-şöhlelenme diýlip atlandyrylýar. Aşa ýokary ýygylykly şöhlelenmeler Ýere kosmos giňişliginden gelýär.

Optikada tolkun uzynlygy köplenç angstremlerde aňladylýar

$$(\acute{Å}):1\acute{Å}=10^{-4}\,mkm=10^{-10}\,m.$$

1.1-nji çyzgyda elektromagnit tolkunlarynyň giň köplügi ýygylygynyň we tolkun uzynlygynyň logarifmirlenen tertibi şekillendirilen.

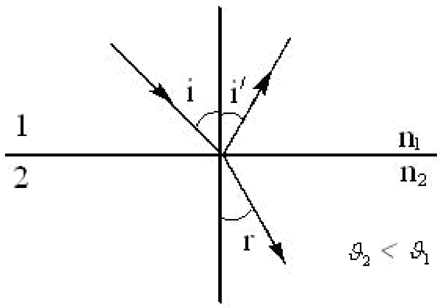


1.1-nji çyzgy

1.2 Ýagtylygyň ýaýrama kanunlary. Gýugensiň düzgüni. Fermanyň düzgüni

Maksweliň ýagtylygyň elektromagnit nazaryýetini döreden döwrüne çenli ýagtylygyň ýaýramasyna degişli köp sanly kanunalaýyklyklar bellidi. Uzak ýyllaryň dowamyndaky gözegçilikler we tejribe derňewleriniň esasynda ýagtylyk giňişlikde köplenç inçe desse görnüşinde – ýagtylyk şöhleleriniň toplumy görnüşinde tolkun frontuna perpendikulýar ugurda ýaýraýandygy subut edildi. Ýagtylyk baradaky taglymatyň ösüş taryhynda ýagtylygyň şöhle düşünjesi onuň tolkun düşünjesinden has öň dörän düşünjedir. Optikanyň ilkinji kanunlary hem ýagtylyk şöhlesiniň ýaýramasyna degişli bolup aşakdaky ýaly beýan edilýär.

1. **Ýagtylygyň gönüçyzykly ýaýrama kanuny**. Birjynsly izotop gurşawda ýagtylyk şöhlesi göni boýunça ýaýraýar;
2. **Ýagtylyk şöhleleriniň baglanşyksyzlyk kanuny**. Ýagtylyk şöhleleri giňişlikde biri-birine baglanyşyksyzlykda ýaýraýarlar. Şöhleleriň kesişmesi olaryň ýaýrama häsiýetini üýtgetmeýär;
3. **Ýagtylygyň serpikme kanuny**. Iki gurşawyň araçägine düşýän şöhle, araçäkden serpigen şöhle we şöhläniň düşýän nokadyna inderilen perpendikulýar, düşme tekizligi diýilip atlandyrylýan tekizlikde ýaýraýar. Şöhläniň düşme burçy i serpikme i' burçuna deňdir (1,2-nji çyzgy);



1.2-nji çyzgy

4. **Ýagtylygyň döwülme kanuny**. Iki gurşawyň araçägine düşýän şöhle, araçäkde döwülen şöhle we şöhläniň düşýän nokadyna inderilen perpendikulýar düşme tekizligi diýilýän şol bir tekizlikde ýatýarlar (1.2-nji çyzgy). Şöhläniň düşme burçunyň sinusynyň döwülme burçunyň sinusyna bolan gatnaşygy bu gurşawlardaky ýagtylygyň ýaýrama tizlikleriniň gatnaşygyna deňdir:

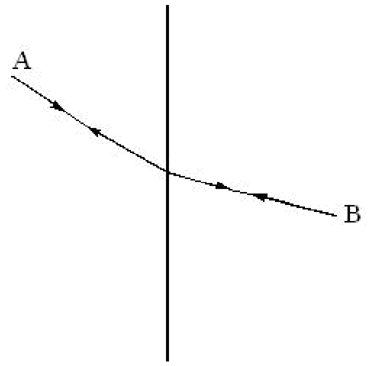
$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = n_{1,2}. \qquad (1.7)$$

Bu ýerde $n_{1,2}$ ululyga ikinji gurşawyň birinji gurşawa görä ýagtylyk şöhlesini göräli döwme görkezijisi diýilýär.

5. **Ýagtylyk şöhlesiniň öwrülme kanuny**. Eger ýagtylyk şöhlesi A nokatdan B nokada käbir AB ýol bilen ýaýraýan bolsa onda ol B nokatdan A nokada, ýagny

garşylykly ugra ýaýranda hem onuň ýaýrama tarapa traýektoriýasy üýtgemän öňküligine galýar (1,3-nji çyzgy).

Ýagtylyk şöhlesiniň özüni alyp barşynyň tejribede kesgitlenen kanunalaýyklyklaryny umumylaşdyrmak maksady bilen fransuz fizigi P.Ferma (1601-1665) özüniň iň gysga wagt düzgünini teklip edýär.



1.3-nji çyzgy

P.Fermanyň düzgünine görä giňişligiň iki nokadynyň arasynda ýaýraýan ýagtylyk şöhlesi iň gysga wagtda geçilýän yoly saýlap alýar. Fermanyň düzgüniniň esasynda ýagtylygyň serpikme, döwülme we öwrülme kanunlaryny aňsatlyk bilen almak bolýar.

Ýagtylygyň ýokarda sanalyp geçilen kanunlaryny umumylaşdyrmak üçin edilen ýene-de bir synanyşyk gollandiýaly fizik H.Gýuýgense (1629-1698) degişlidir. Gýuýgensiň düzgüniniň esasynda wagta baglylykda tolkun frontunyň ýagdaýynyň üýtgeýşi kesgitlenilýär we şonuň esasynda ýagtylyk şöhlesiniň serpikme we döwülme kanunlary getirilip çykarylýar.

Emma Fermanyň we Gýuýgensiň düzgünlerinde iki gurşawyň araçäginde serpigen we döwülen şöhlelerde energiýanyň paýlanmasy barada şeýle-de serpikmäniň we döwülmäniň ýagtylygyň yýgylygyna edýän täsiri barada hiç zat aýdylmaýar.

Mundan başga-da, bu düzgünlerde, ýagtylyk maddada ýaýranda tizliginiň onuň ýygylygyna baglylykda üýtgemek mümkinçiligi barada hiç hili görkezme ýok.

Ýokarda görkezilen kemçiliklerden ýagtylygyň elektromagnit nazaryýeti halasdyr.

1.3 Ýagtylyk baradaky Makseweliň nazaryýeti we optikanyň esasy kanunlary. Freneliň aňlatmalary

Makseweliň nazaryýeti ýagtylygyň ýaýramasyna degişli esasy kanunlary getirip çykarmaga mümkinçilik berýär. Onuň üçin elektromagnit meýdanyň nazaryýetinden gelip çykýan netijelere seredip geçeliň.

1. Gönüburçly koordinata ulgamynyň oklary bilen degişlilikde α,β we γ burç emele getirýän ugur boýunça giňişlikde ýaýraýan tekiz elektromagnit tolkunyň deňlemesi aşakdaky görnüşde ýazylýar:

$$\vec{E} = \vec{E}_m \cos\left[\omega\left(t - \frac{x\cos\alpha + y\cos\beta + z\cos\gamma}{\vartheta}\right)\right] \qquad (1.8)$$

ýa-da

$$\vec{E} = \vec{E}_m \cos\left[\omega\left(t - \frac{\vec{m}\vec{R}}{\vartheta}\right)\right]. \qquad (1.9)$$

Bu ýerde $\vec{R}$ - koordinata başlangyjyndan tolkun frontunyň koordinatalary x,y,z bolan nokadyna geçirilen radius-wektor; $\vec{m}$ - koordinata oklary bilen degişlilikde α,β we γ burç emele getirýän birlik wektor.

Optikada köplenç $\vec{m}$ birlik wektoryň ýerine $\vec{k}$ tolkun wektory hem peýdalanylýar:

$$\vec{k} = \frac{2\pi}{\lambda}\vec{m}. \qquad (1.10)$$

Onda (1.9) aňlatma

$$\vec{E} = \vec{E}_m \cos\left(\omega t - \vec{k}\vec{R}\right) \qquad (1.11)$$

görnüşe eýe bolar.

2. Elektromagnit tolkunynyň $(\varepsilon; \mu = 1)$ dielektrikde ýaýrama tizligi $\vartheta = \frac{c}{n}$; $n = \sqrt{\varepsilon}$, bu ýerde $c = 3\cdot 10^8 \frac{m}{s}$ - ýagtylygyň wakuumda ýaýrama tizligi.

3. Elektromagnit tolkunynda elektrik we magnit meýdanlarynyň güýjenme wektorynyň amplitudalary aşakdaky ýaly baglanyşyga eýedir:

$$\vec{H}_m = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}\sqrt{\varepsilon}\vec{E}_m = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}n\vec{E}_m . \qquad (1.12)$$

4. Tekiz tolkunyň S üstden bir period wagtyň dowamynda geçirýän kuwwaty

$$\rho = \frac{1}{2}E_m H_m S\cos\alpha = \frac{1}{2}E_m^2\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}nS\cos\alpha = IS\cos\alpha . \qquad (1.13)$$

Bu ýerde α-üste inderilen perpendikulýar bilen üste düşýän şöhläniň arasyndaky burç; I-amplitudanyň (E_m) kwadratyna proporsional bolup, tolkunyň depginini aňladýar.

5. Iki dielektrigiň $(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \mu_1 = \mu_2 = 1)$ araçäginde elektromagnit meýdanynyň $\vec{E}$ we $\vec{H}$ wektorlarynyň

$\vec{E}_{\tau 1} = \vec{E}_{\tau 2}$, $\vec{H}_{\tau 1} = \vec{H}_{\tau 2}$, $\varepsilon_1\vec{E}_{n1} = \varepsilon_2\vec{E}_{n2}$ tangensiýal we normal düşünjeleri üçin gyra şertler ýerine ýetýär.

Goý, elektromagnit tolkunynyň ýaýraýan ugry (ýagtylyk şöhlesiniň ýaýraýan ugry) ordinata okuna perpendikulýar bolsun we tolkun iki dielektrigiň YOZ tekizlige gabat gelýän tekiz araçägine düşýän bolsun. Bu ýagdaýda ýagtylyk şöhlesiniň bölekleýin serpikmesi we döwülmesi ýüze çykýar.

Bu ýagdaýda tolkuny çyzykly polýarlanan hasap edip (birjynsly izotrop dielektrikde tolkunyň $\vec{E}$ wektory öz ugruny üýtgetmän saklaýar) $\vec{E}$ wektory iki düzüjä dargadyp (tolkunyň düşme tekizligine perpendikulýar ($\vec{E}_1$) we oňa parallel ($\vec{E}_{II}$) ugurlara) olaryň her birine aýratynlykda seredip bileris. Onda düşýän tolkun (0 indeksli), serpikýän tolkun (1 indeksli) we döwülýän tolkun (2 indeksli) üçin (1.11) aňlatmalary ýazyp hem-de gyra şertleriň esasynda islendik wagt pursaty üçin

$$\omega_0 = \omega_1 = \omega_2 \qquad (1.15)$$

ýygylyklaryň deňlik şertini alarys.

Iki dielektrigiň araçäginde $x = 0$ $(\cos\beta = 0)$ onda (1.8) aňlatmanyň argumenti diňe z koordinata bagly bolup galýar:

$$\frac{\cos\gamma_0}{\vartheta_1} = \frac{\cos\gamma_1}{\vartheta_1} = \frac{\cos\gamma_2}{\vartheta_2}, \qquad (1.16)$$

bu ýerden $$\gamma_0 = \gamma_1 \qquad (1.17)$$

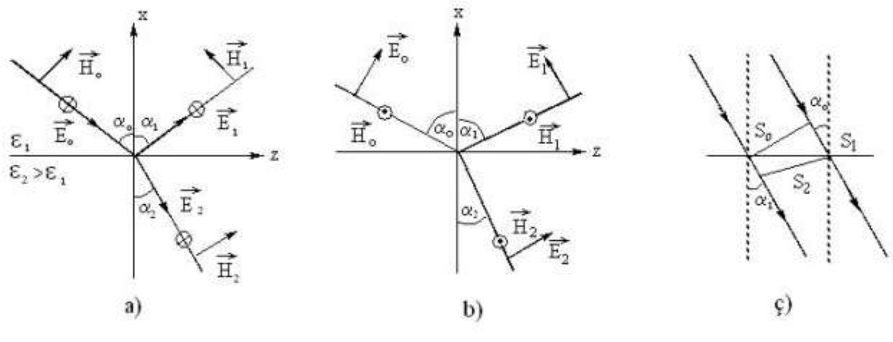
deňdigi gelip çykýar, ýagny serpikme kanuny (serpigen şöhle düşme tekizliginde ýatýar) alynýar.

α we γ burçlaryň baglanyşygy α + γ=90 görnüşde bolýandygyna görä (1.17) aňlatmany α_0 düşme we α_1 serpikme burçlary bilen aňlatmak amatlydyr. (goýan şertimize görä) $\alpha_0 = \alpha_1$, ýagny onda (1.16)-dan alynýan $\frac{\cos\gamma_0}{\vartheta_1} = \frac{\cos\gamma_2}{\vartheta_2}$ aňlatmany hem döwülme kanuny arkaly aňlatmak amatly bolar:

$$n_1 \sin\alpha_0 = n_2 \sin\alpha_2 .$$

Düşýän, serpikýän we döwülýän tolkunlaryň amplitudalarynyň gatnaşyklaryny tapmak üçin ilki düşme tekizligine perpendikulýar ($\vec{E}_1$) elektrik wektoryna seredeliň (1.4-nji a çyzgy)

$\vec{E}$ we $\vec{H}$ wektorlaryň položitel ugry saýlanyp alynyp ($\vec{E}$,$\vec{H}$, $\vec{\vartheta}$ wektorlar sag üçlügi emele getirýändigini ýatlamak ýeterlikdir) gyraky şertler ulanylanda



1.4-nji çyzgy

$$E_0 + E_1 = E_2 \qquad H_0\cos\alpha_0 - H_1\cos\alpha_1 = H_2\cos\alpha_2 \qquad \text{ýa-da} \qquad E_0 - E_1 = E_2\frac{n_2\cos\alpha_2}{n_1\cos\alpha_1}$$

bu deňlemeleriň goşulmagyndan aşakdaky aňlatmany alarys:

$$2E_0 = E_2\left(1 + \frac{n_2}{n_1}\frac{\cos\alpha_2}{\cos\alpha_1}\right) = E_2\frac{\sin\alpha_1\cos\alpha_2 + \sin\alpha_2\cos\alpha_1}{\sin\alpha_2\cos\alpha_1}.$$

bu aňlatmadan geçirmekligiň amplituda koeffisiýenti

$$d_\perp = \frac{E_2}{E_0} = \frac{2\sin\alpha_2\cos\alpha}{\sin(\alpha_1+\alpha_2)}_\perp . \qquad (1.18)$$

E_2-ni kesgitläp serpikmäniň amplituda koeffisiýentini taparys

$$r_{\perp} = \frac{E_1}{E_0} = 1 - \frac{E_2}{E_0} = \frac{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)_{\perp}} . \qquad (1.19)$$

Düşýän, serpikýän we döwülýän tolkunlaryň kese-kesikleriniň meýdanlarynyň gatnaşygy (1.4-nji ç çyzgy)

$S_0 = S_1 = S\cos\alpha_1$; $S_2 = S\cos\alpha_2$ onda srpikmäniň energetik koeffisiýenti

$$R_{\perp} = \left(\frac{E_1}{E_0}\right)^2 = r_{\perp}^2 = \frac{\sin^2(\alpha_1 - \alpha_2)}{\sin^2(\alpha_1 + \alpha_2)_{\perp}} . \qquad (1.20)$$

(1.13) aňlatmadan peýdalanyp geçirmäniň energetik koeffisiýentini taparys:

$$D_{\perp} = d_{\perp}{}^2 = \frac{n_2 S_2}{n_1 S_1} = \frac{4\sin\alpha_1 \sin\alpha_2 \cos\alpha_2}{\sin^2(\alpha_1 + \alpha_2)} . \qquad (1.21)$$

Şeýlelikde energiýanyň saklanma kanuny ýerine ýetmelidir: $R_{\perp} + D_{\perp} = 1$.

Indi elektromagnit tolkunynyň düşme tekizligine parallel ýagdaýyna seredeliň. Onda 1.4-nji b çyzgynyň esasynda

$$E_0 + E_1 = \frac{n_1}{n_2} E_2 = \frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2} E_2 , \qquad (1.22)$$

$$E_0 - E_1 = \frac{\cos\alpha_1}{\cos\alpha_2} E_2 . \qquad (1.23)$$

Bu deňlemeleri goşmak arkaly geçirmäniň amplituda koeffisiýentini alarys.

$$d_{II} = \frac{E_2}{E_0} = \frac{2\sin\alpha_2 \cos\alpha_1}{\frac{1}{2}(\sin 2\alpha_1 + \sin 2\alpha_2)} = \frac{2\sin\alpha_2 \cos\alpha_1}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)\cos(\alpha_2 - \alpha_1)} . \qquad (1.24)$$

(1.22) we (1.23) aňlatmalaryň gatnaşygyndan $\frac{E_0 - E_1}{E_0 - E_1} = \frac{\sin 2\alpha_1}{\sin 2\alpha_2}$ deň bolmagyna görä serpikmäniň amplituda koeffisiýenti

$$r_{II} = \frac{E_1}{E_0} = \frac{\sin 2\alpha_1 - \sin 2\alpha_2}{\sin 2\alpha_1 + \sin 2\alpha_2} = \frac{tg(\alpha_1 - \alpha_2)}{tg(\alpha_1 + \alpha_2)} . \qquad (1.25)$$

Degişlilikde serpikmäniň we geçirmäniň energetik koeffisiýentleri

$$R_{II} = r_{II}^2 = \frac{tg^2(\alpha_1 - \alpha_2)}{tg^2(\alpha_1 + \alpha_2)} , \qquad (1.26)$$

$$D_{II} = d_{II}{}^2 = \frac{n_2\cos\alpha_2}{\cos\alpha_1} = d_{II}^2 \frac{\sin\alpha_1\cos\alpha_2}{\cos\alpha_1\sin\alpha_2} = \frac{4\sin 2\alpha_1 \sin 2\alpha_2}{(\sin 2\alpha_1 + \sin 2\alpha_2)^2} . \qquad (1.27)$$

$\vec{E}$ wektoryň parallel düzüjüsi üçin hem energiýanyň saklanma kanuny ýerine ýetýär:

$$R_{II} + D_{II} = 1.$$

(1.18), (1.19), (1.24), (1.25) aňlatmalar Makswel tarapyndan ýagtylygyň mehaniki tolkun nazaryýetiniň teklip edilmezinden has öň Frenel tarapyndan alnan we Freneliň aňlatmalary diýilip atlandyrylýar.

(1.24) deňlemeden $\alpha_1 + \alpha_2 = 90^0$ şertde örän ajaýyp netije alynýar:

$$tg\alpha_1 = \frac{n_2}{n_1} = \sqrt{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}},$$

ýagny iki dielektrigiň araçäginde serpikme ýüze çykmaýar. Bu kanuna Brýusteriň kanuny diýilýär.

Indi ýagtylyk tolkuny iki dielektrigiň araçäginde dik (normal boýunça) düşýän ýagdaýyna seredeliň ($\alpha \to 0$). Bu ýagdaýda ýagtylygyň polýarlanma tekizligi kesgitsiz bolýar. (1.18) aňlatmany aşakdaky görnüşde ýazyp çäk ýagdaýa geçeliň:

$$r_{\perp} = -\frac{\sin\alpha_1\cos\alpha_2 - \cos\alpha_1\sin\alpha_2}{\sin\alpha_1\cos\alpha_2 + \cos\alpha_1\sin\alpha_2} = -\frac{\frac{n_2}{n_1}\cos\alpha_2 - \cos\alpha_1}{\frac{n_2}{n_1}\cos\alpha_2 + \cos\alpha_1},$$

$$\lim_{\alpha_1,\alpha_2\to 0} r_{\perp} = -\frac{\frac{n_2}{n_1} - 1}{\frac{n_2}{n_1} + 1} = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}; \qquad \lim_{\alpha_1,\alpha_2\to 0} R_{\perp} = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}\right)^2.$$

Edil şu usul bilen R_{II} - alyp, $R_{\perp} = R_{II} = R$ bolýandygyny subut etmek mümkin, bu bolsa garaşylýan netijä gabat gelýändigini görkezýär. Eger $n_1 < n_2$ bolsa $r_{\perp} < 0$ bolýar. Bu bolsa düşýän tolkun bilen serpikýän tolkunyň fazasynyň garşylyklydygyny görkezýär. Başgaça aýdanymyzda serpikmede elektrik tolkuny “ýarym tolkunyny ýitirýär” ýagny serpikmede tolkun böküş arkaly fazasyny π ululyga üýtgedýär.

Gurşaw $n = \frac{n_2}{n_1} > 1$ şerti kanagatlandyrýan bolsa oňa optiki taýdan dykyz gurşaw diýilýär.

Eger tolkun wakuumdan gurşawa (n=1) düşýan bolsa onda

$$R = \left(\frac{n_2 - 1}{n_2 + 1}\right)^2 \qquad (1.28)$$

ululyga gurşawyň serpikdirme ukyby diýilýär. Şoňa degişli

$$D = \frac{4n_2}{(n_2 + 1)^2} \qquad (1.29)$$

ululyga maddanyň üst durulygy diýilýär.

Şeýlelikde Maksweliň nazaryýeti diňe ýagtylygyň ýaýrama kanunlaryny düşündirmek bilen çäklenmän, eýsem Fermanyň we Gýuýgensiň düzgünleriniň başarmaýan soraglaryna hem kanagatlanarly jogap berýär.

1.4 Ýagtylygyň tolkun we korpuskula (bolejik) häsiýeti

Elektromagnit tolkunlarynyň optika degişli bölegi öwrenilende olaryň käbir häsiýetli aýratynlygy ýüze çykýar. Birnäçe hadysalarda ýagny interferensiýada, difraksiýada, polýarlanmada, kristallaryň optiki anazitroplygynda, ýagtylyk iki dürli gurşawlaryň araçäginde döwülende onuň tolkun häsiýete eýedigi ýüze çykýar. Beýleki birnäçe: fotoelektrik, absolýut gara şöhlelenme, atomlaryň we molekulalaryň kesgitli spektrli şöhle göýberme hadysalarynda ýagtylyk bolejikleriň akymy görnüşinde, ýagny her biri kesgitli $\varepsilon = \hbar\nu$ energiýa we impulsa $\vec{p} = \hbar\vec{k}$ eýe bolan fotonlaryň akymy görnüşinde ýüze çykýar. Bu ýerde $\hbar = \frac{h}{2\pi}$, $h = 6{,}64 \cdot 10^{-34} J \cdot s$ Plankyň hemişeligi, ω - ýagtylygyň aýlaw ýygylygy, $\vec{k}$ - ýagtylygyň tolkun wektory. Hadysalaryň üçünji topary: ýagtylygyň serpikmesi, basyşy, dispersiýasy onuň tolkun we korpuskulýar häsiýetleriniň ikisi bilenem düşündirilip bilinýär. Ýagtylygyň dürli hadysalarda özüni alyp barşynyň düýpli tapawutlanmasy örän täsindir, nusgawy nukdaýnazardan beýle ýagdaý ýol bererlik däldir.

Hakykatdanam eger ýagtylyk elektromagnit tolkuny bolsa onda şeýle tolkuna degişli fiziki meýdan giňişlikde deňölçegli paýlanyp, wagta baglylykda üýtgemelidir. Netijede ýagtylyk tolkunlarynyň giňişligiň käbir nokadynda jemlenmäge mümkinçiligi bolmaýar. Emma ýagtylygyň korpuskulýar tebigaty şöhle energiýasynyň bir nokatda (bölejikde) bolmalydygyna esaslanýar. Başgaça aýdanymyzda fiziki mysaly şekilleri bilen düýpli tapawutlanýan tolkun we bölejik bir-birini ret edýär we nusgawy nukdaýnazardan beýle ýagdaýyň bolmagy mümkin däl. Emma ýagtylygyň we mikrobölejikleriň dünýäsindäki bolejikleriň (çyzykly ölçegleri $10^{-10} \div 10^{-15} m$ bolan bölejikler) has takyk derňewler arkaly öwrenilmegi nusgawy garaýyşyň nädogrudygyny görkezdi. Elementar bölejikleriň we ýagtylygyň bölejik we tolkun mysaly şekilleri bir-birini ret etmän gaýtam olaryň özüni alyp barşyny beýan etmekde bir-birini doldurýarlar. Mikrobölejikleriň dünýäsindäki bölejikleriň bir wagtyň özünde tolkun we bölejikdigi tejribelerde doly tassyklanylýar. Käbir bölejikleriň tolkun häsiýeti has aýdyň ýüze çykýan bolsa, käbiriniň bölejik häsiýeti has aýdyň ýüze çykýar.

Mikrodünýädäki ownujak bölejikler anyk görnüşdäki tolkun ýa-da bölejik däldir. Ýagtylyga we ownujak bölejiklere bolan şeýle garaýyş N.Bor (1885-1962), S.I.Wawilow (1891-1951), M.Born (1882-1970), P.Dirak (1902-1982) we beýleki alymlar tarapyndan döredilip, häzirki wagtda doly ykrar edilen garaýyşa öwrüldi.

1.5 Ýagtylygyň tolkun we korpuskula häsiýetleriniň özara baglanşygy

Ýagtylygyň elektromagnit nazaryýeti ony tolkunyň esasy häsiýetnamalary bolan ýygylyk, tolkun uzynlyk, amplituda we ş.m ululyklar arkaly beýan edýär. Ýagtylygyň kwant nazaryýeti ony fotonlaryň sany, fotonyň energiýasy hem-de impulsy we ş.m. düşünjeler arkaly beýan edýär.

Eger elektromagnit tolkuny ginişlikde

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos\omega\left(t - \frac{x}{\vartheta}\right) \qquad (1.30)$$

görnüşde ýaýraýan bolsa, onda

$$W = \frac{1}{4\pi}\int_{V} \varepsilon E^2 dV = \frac{1}{4\pi}\int_{V} \mu H^2 dV \qquad (1.31)$$

aňlatma laýyklykda bu tolkuna degişli bolan V göwrüm üçin (V-göwrümi taraplary x_0, y_0, z_0 bolan parallellopiped diýip kabul etsek) energiýanyň deňlemesini aşakdaky görnüşde ýazmak bolýar:

$$W = \frac{\varepsilon E_0^2}{4\pi}\int_0^{x_0}\int_0^{y_0}\int_0^{z_0}\cos^2\omega\left(t-\frac{x}{\vartheta}\right)dxdydz\,, \qquad (1.32)$$

bu integraly çözsek aşakdaky aňlatmany alarys:

$$W = \frac{\varepsilon E_0^2}{8\pi}V + \frac{\varepsilon E_0^2 x_0 y_0 z_0 \vartheta}{8\pi\omega}\sin\frac{\omega x_0}{\vartheta}\cos 2\omega\left(t-\frac{x_0}{2\vartheta}\right). \qquad (1.33)$$

Elektromagnit energiýasynyň wagta görä orta bahasy

$$\overline{W} = \frac{\varepsilon E_0^2}{8\pi}V \qquad (1.34)$$

deň bolar. Kwant nazaryýetinde bu energiýa V göwrümdäki fotonlaryň orta sany $\overline{N}_V$ arkaly aňladylýar:

$$\overline{W} = \overline{N}_V V\hbar\omega\,. \qquad (1.35)$$

(1.34) we (1.35) deňeşdirmek bilen alarys:

$$E_0 = \sqrt{\frac{8\pi\hbar\omega}{\varepsilon V}N_V}\,. \qquad (1.36)$$

Eger elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň ýerine onuň täsir edýän bahasyny $E^0 = \frac{E_0}{\sqrt{2}}$ ululygy we $N = \frac{N_V}{V}$ göwrüm birligindäki foton sany diýip belläp hem-de waka wakuumda bolup ($\varepsilon = 1$) geçýär diýsek, onda güýjenmäniň täsir edýän bahasy üçin

$$E^0 = \sqrt{4\pi\hbar\omega N} \qquad (1.37)$$

aňlatmany alarys.

(1.36) aňlatma ýagtylygyň meýdan häsiýetnamalary (yrgyldynyň amplitudasy we aýlaw ýygylygy bilen korpuskulýar häsiýetnamasyny (göwrüm birligindäki fotonlaryň sany) özara baglanyşdyrýar. Şu ýerden hem ýagtylyk tolkunynyň elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň amplitudasynyň kwantlanýan ululykdygy gelip çykýar. Kwantlanýan amplitudaly tolkunyň (wakuum üçin) deňlemesi

$$\vec{E} = \vec{E}_1\sqrt{8\pi\hbar\omega}\sqrt{N}\cos\omega\left(t-\frac{x}{c}\right) \qquad (1.38)$$

görnüşde ýazylyp bilinýär. Bu ýerde $\vec{E}_1$-elektrik meýdanyň güýjenmesiniň birlik wektory. Bu aňlatmadan $\vec{E}$ elektromagnit meýdanynyň amplitudasynyň göwrüm birligindäki fotonlaryň sanynyň artmagy ýa-da kemelmegi bilen üýtgeýändigi gelip çykýar.

Eger elektromagnit meýdany köpsanly dürli monohromatik tolkunlardan ybarat bolsa onda ony jem görnüşinde aňlatmak bolaýr:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 \sum_{\iota} \sqrt{8\pi\hbar\omega_\iota}\sqrt{N_\iota}\cos\omega_\iota\left(t - \frac{x}{c} + \varphi_\iota\right). \qquad (1.39)$$

Bu ýerde $\omega_\iota, \varphi_\iota, N_\iota$- degişlilikde ι-nji monohromatik tolkunyň töwerek ýygylygy, başlangyç fazasy, göwrüm birligindäki fotonlaryň sany. Her biri kesgitli ugurda ýaýraýan tekiz monohromatik tolkunlaryň topluny üçin elektromagnit meýdanynyň wektorynyň deňlemesini umumy görnüşde aňlatmak amatlydyr:

$$\vec{E} = \sum_{\iota} \vec{E}_{1\iota}\sqrt{8\pi\hbar\omega_\iota N\iota}\cos\omega_\iota\left(t - \frac{\left(\vec{N}_\iota\vec{R}\right)}{c} + \varphi_\iota\right). \qquad (1.40)$$

Bu ýerde $n_\iota - \iota$-nji tekiz tolkunyň üstüne inderilen normalyň birlik wektory; $\vec{E}_{1\iota} - \iota$-nji ýagtylyk tolkunynyň elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň birlik wektory; $\vec{R}$- koordinata başlangyjyndan meýdanyň gözegçilik edilýän nokadyna geçirilen radius-wektor. Ýygylyklaryň spektrleriniň üznüksiz bolan ýagdaýynda (1.40) aňlatmadaky jem ω bagly üýtgeýän integral bilen çalşyrylýar.

Elektrodinamikanyň kwant nazarýeti elektromagnit meýdanyň amplitudasyna fotonlaryň sanyna baglylykda kwant-mehaniki funksiýa täsir edýän operatorlar hökmünde seredýär. Bu operatorlary ulanmak arkaly şöhlelenmäni, siňdirmäni, pytramany we ş.m. hadysalary mukdar taýdan beýan etmäge mümkinçilik döredýän fotonlaryň sany bilen baglanyşykly anyk görnüşdäki funksiýalary berýän kwant-mehaniki differensial deňlemeler alynýar. Fizikanyň kwant nazaryýetinden alynýan wajyp netijeleriň biri, energiýanyň aňlatmasynda N_i-iň ýerine $N_i + \frac{1}{2}$ ululygyň alynýanlygydyr. Şonuň esasynda göwrüm birligindäki energiýanyň aňlatmasy aşakdaky görnüşde aňladylýar:

$$W = \sum_i \hbar\omega_i \left(N_i + \frac{1}{2} \right). \qquad (1.41)$$

Şeýlelikde, berlen göwrümde hakyky fotonlar ýok (N_i) mahalynda-da elektromagnit meýdan nola deň däldir. Bu ýagdaýda elektromagnit meýdanyň energiýasy

$$W_0 = \sum_i \frac{\hbar\omega_i}{2} \qquad (1.42)$$

ululyga eýedir.

Bu energiýa elektromagnit (foton) wakuumynyň nolunjy energiýasy diýlip atlandyrylýar. Berlen göwrüm (V) we spektriň kesgitli $\Delta\omega$ çägi üçin i-nji gymmatlaryň sanyny hasaplamak bilen ΔW_0 energiýanyň üýtgemesini tapmak mümkin. Elektromagnit meýdanyň impulsy

$$\vec{P} = \sum_i \hbar\vec{k}_i N \qquad (1.43)$$

görnüşde aňladylýar.

Bu ýerde $\vec{k}_i = \frac{2\pi}{\lambda_i}\vec{n}_i - i$-nji elektromagnit tolkunynyň tolkun wektory. Nolunjy energiýa eýe bolan meýdanyň nolunjy impulsy nola deňdir. Ahyrda, impulsyň momenti

$$\vec{L} = \sum_i \hbar\vec{k}_{1,i} \{ N_{i,1} - N_{i,-1} \}. \qquad (1.44)$$

$\vec{k}_{1,i}$- birlik tolkun wektory; $N_{i,1}$ spini $l_{i,1} = \hbar\vec{n}_i$ bolan fotonlaryň sany; $N_{\iota,-1}$ spini $l_{i,-1} = -\hbar\vec{n}_i$ bolan fotonlaryň sany. Bu ýeden görnüşi ýaly nolynjy impulsynyň momenti nola deňdir.

Ýokarda alnan netijelerden görnüşi ýaly ýagtylygyň tolkun we korpuskulýar häsiýetlerini baglanyşdyrýan ýeke-täk nazaryýeti döretmek elektromagnit meýdanynyň fizikasynyň esasy we düýpli meselesi bolup durýar. Şu meselä degişli soraglaryň agramly bölegi kwant elektrodinamikasynda öz çözülişini tapan hem bolsa, häzire çenli ýeke-täk nazaryýeti döredilmedik.

1.6 Ýagtylyk çeşmeleri

Görünýän ýagtylygyň şöhlelenmesiniň esasy mehanizmi atomlaryň ýa-da molekulalaryň bir energetik haldan beýleki energetik hala geçmegi bilen energiýasynyň üýtgetmesiniň netijesidir. Atomlaryň elektronlary aşaky energetik derejä geçende energiýasyny ýitirip töweregindäki giňişlikde elektromagnit tolkunyny oýandyrýar. Köpsanly tejribeleriň netijesinde atomlaryň şöhlelenmesini elektrodinamikada beýan edilýän, dipolyň şöhlelenmesine meňzeş diýlip kabul edilse uly ýalňyşlyk göýberilmeýändigi belli boldy. Bu bolsa atom ýadrosy bilen elektronyň çylşyrymly özara täsirinde ýagtylyk şöhlelenmesiniň döreýşiniň mysaly şekilini nusgawy elektrodinamikada kemsiz öwrenilen dipolyň özüni alyp barşy ýa-da dipol momenti wagta baglylykda periodiki üýtgeýän ossilýator görnüşinde gurmaklyga mümkinçilik berýär.

Şeýle mysaly şekile laýyklykda ýagtylyk çeşmesi – bir-birine baglanyşyksyzlykda, suglar diýlip atlandyrylýan elektromagnit tolkunlaryny göýberýän, elementar dipollaryň toplumydyr. Tolkun sugy diýlende dowamlylygy atom ossilýatorynyň gowulygy bilen kesgitlenilýän wagt boýunça çäklenen ýönekeý (garmoniki) tolkunyň “parçasyna” (obrywok) düşünilýär.

Elektrodinamikada subut edilişine görä atom ossilýatorynyň gowulygy (dobrotnosty) $Q \approx 10^7$-ä deňdir. Bu bolsa şöhlelenme wagtynyň dowamynda elektromagnit meýdanyň takmynan 10^7 yrgyldysynyň boljakdygyny görkezýär, ýagny suguň dowamlylygy $\tau = QT_0$ boljakdygyny görkezýär.

Bu ýerde T_0 yrgyldynyň periody bolup, $T_0 = \dfrac{2\pi}{\omega_0} = \dfrac{1}{\nu_0}$ ýaly aňladylýar, ν_0- yrgyldynyň ýygylygy; Q-ossilýatoryň gowulygy bolup, $Q = \dfrac{\omega_0}{\Delta\omega}$ ýaly aňladylýar. Onda

$$\tau \cdot \Delta\omega = 2\pi \qquad \text{ýa-da} \qquad \tau \cdot \Delta\nu = 1. \qquad (1.45)$$

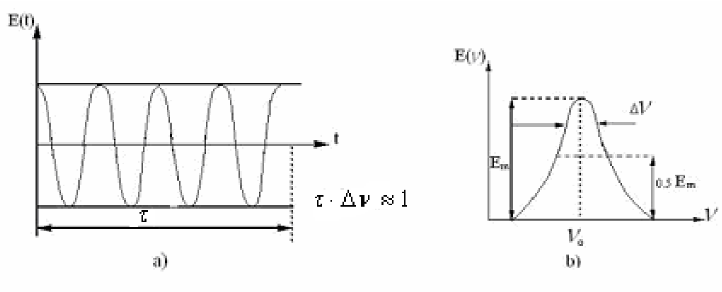
Bu ýerde $\Delta\nu$-şöhlelenen suguň ýygylyklar zolagy. (1.45) gatnaşyk wagt boýunça çäklenen periodiki hadysalaryň örän ajaýyp häsiýetini aňladýar, ýagny hadysanyň dowamlylygynyň ýygylyklar zolagynyň giňligine köpeldilmegi takmynan bire deň.

τ wagt dowamynda wakuumda elktromagnit yrgyldysynyň ýaýraýan aralygyna $(l = \tau \cdot c)$ suguň uzynlygy diýilýär.

$\tau\Delta\nu = 1$ we $|\Delta\nu| = \frac{c}{\lambda^2}|\Delta\lambda|$ aňlatmalardan suguň uzynlygy üçin

$$l = \frac{c}{\Delta\nu} = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda} \equiv m\lambda \qquad (1.46)$$

aňlatmany alarys. Bu ýerde $\Delta\lambda$ $(\Delta\nu)$ spektriň giňligine degişli tolkun uzynlygyň çäklenen ululygy; $m = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$ interferensiýanyň tertibini aňladýar, ýagny interferensiýa zolaklarynyň iň uly san bahasy.



1.5-nji çyzgy

Adaty ýagtylyk çeşmelerinde ýagtylyk köpsanly atomlaryň şöhlelenmesi bilen döredilýär. Eger ýagtylyk kadaly şertde we gaz molekulalary tarapyndan şöhlelendirilýän bolsa, onda her kub santimetrde 10^{19} sany atomyň energetiki halynyň üýtgemesi bolup geçýär. Eger atomlar bir-birine baglanyşyksyzlykda ýagtylyk şöhlelendirýan bolsalar, onda her suga degişli yrgyldylaryň fazasy özara baglanşyp bilmeýär. Şeýle yrgyldylaryň bir-biriniň üstüne düşmegi bilen döredilýän meýdanyň depgini goşulýan yrgyldylaryň depginleriniň jemine deň bolýar. Şöhlelenmäniň spektriniň ini aýratyn şöhlelenijileriň spektrleri arkaly kesgitlenilýär. Şöhlelenmäniň spektral çyzyklarynyň emele getirýän egrisi her bir atomyň şöhlelendirýän spektriniň emele getirýän egrisine meňzeşlikde gaýtalanýar.

1.5-nji a) çyzgyda tolkun parçasy, 1,5-nji b) çyzgyda tolkun parçasynyň spektrniň ini şekillendirilen. $\tau \cdot \Delta\nu \approx 1$

Bu ýagdaýda ýagtylyk çeşmesiniň spektral çyzyklarynyň giňelmesiniň birjynslylygy barada gürrüň edilýär, ýagny ýagtylyk çeşmesiniň jemleýji meýdany ähli elementar şöhlelendirijileriň deň derejedäki goşantlary bilen döredilýär. (1.45) aňlatma arkaly kesgitlenilýän spektral çyzyklaryň giňligine tebigy giňlik diýilýär.

Emma her bir atomyň merkezi ýygylygynyň bir-birinden tapawutlanýan ýagdaýy hem gabat gelýär. Beýle ýagdaý gazlarda hereket edýan atomlarda Dopler effektiniň esasynda ýüze çykýar. Bu ýagdaýda spektral çyzyklaryň emele getirýän ergisiniň görnüşi diňe her bir atomyň şöhlelendirýän spektrine bagly bolman atomlaryň tizlik boýunça paýlanmasyna hem bagly bolýar. Beýle ýagdaýda spektral çyzyklaryň giňelmesi birjynsly däl giňelme diýilip atlandyrylýar.

Belli boluşy ýaly atomlaryň görünýän ýagtylygy şöhlelendirýän wagtynyň dowamlylygy takmynan $\tau \cong 10^{-8} s$ bolýandygyna görä spektriň tebigy giňligi $\Delta\nu \approx 10^{8} Gs$ bolýar. $\frac{\Delta\nu}{\nu_0} << 1$ şerti kanagatlandyrýan şöhlelenmä kwazimonohromatik şöhlelenme diýilýär. Atomlaryň özara çaknyşmalarynyň netijesinde atomyň şöhlelenme wagtynyň dowamlylygy kiçelýär we şöhlelenme spektri giňelýär. Mundan başgada şöhlelenme spektiriniň giňelmesi Dopler effettiniň netijesinde hem bolup bilýär. Mysal üçin otag temperaturasynda $(18^0 C \div 20^0 C)$ wodorod atomynyň spektral çyzyklarynyň ini onuň tebigy ininden 500 esse uludyr.

Şöhlelenme spektriniň inini kiçeltmek üçin şöhlelenýän ulgamyň gowulygyny ýokarlandyrmaly ýa-da aýry-aýry atomlaryň özara ylalaşykly şöhlelenmesini üpjün etmäge synanyşmaly. Optiki şöhlelenmäniň monohromatikligini ýokarlandyrmak lazerlerde amala aşyrylýar. Lazer şöhlelendirijilerde alynýan tolkun parçasynyň uzynlygy aýratyn atomlaryň şöhlelenmesine esaslanan çeşmeleriň tolkun parçasyndan has uludyr. Ýörite lazer arkaly ini takmynan $10^3 Gs$-e çenli bolan spektral çyzyklary almak mümkin. Beýle şöhlelenmeleriň tolkun parçasynyň uzynlygy ýüz kilometre ýetýär. Deňeşdirmek üçin Günüň şöhlelendirýän ýagtylygynyň tolkun parçasynyň uzynlygynyň 10 mkm-den geçýandigini bellemek ýerliklidir.

1.7 Ýagtylygy kabul edijiler

Elektromagnit yrgyldylary wakuumda ýaýramak bilen, akymy Umowyň – Poýntindiň wektory $\vec{S} = \left[\vec{E}, \vec{H}\right]$ arkaly kesgitlenilýän energiýany geçirýär. Elektromagnit meýdanynyň madda bilen özara täsirinde birnäçe häsiýetli aýratynlyklara eýe bolan hadysalar ýüze çykýar. Bu hadysalar ýagtylyk akymyny ölçemä mümkinçilik berýär. Bu hadysalara mysal hökmünde jisime ýagtylyk düşende gyzýandygyny, içki we daşky fotoelektrik hadysalary görkezmek bolar. Optiki şöhlelenmäniň madda bilen özara täsiriniň aýratynlygy onuň kwant häsiýetliligi bilen baglanyşyklydyr. Madda düşýän ýagtylyk şöhleleriniň häsiýetli täsiri ýagtylyk tolkunynyň elektrik meýdanyň güýjenmesi arkaly kesgitlenmän, eýsem maddanyň atomlary bilen özara täsire girýän fotonlaryň sany arkaly kesgitlenýändigindedir. Fiziki meýdandaky fotonlaryň sany bolsa elektromagnit meýdanyň depginine baglydyr. Maddanyň şöhlelenmäniň täsirinde özüni alyp baryşynyň esasynda elektromagnit meýdanynyň depgini kesgitlenilýär. Optiki şöhlelenmäni kabul edijiler ýa-da detektorlar ýokarda beýan edilen effektleriň esasynda işleýärler. Islendik kabul ediji kesgitli inertlilige eýe bolýandygyna görä ähli kabul edijiler ýagtylygyň ortaça depginini duýýarlar. Şoňa görä tegeleklemek arkaly kesgitlenilýän wagt kabul edijiniň inertlilik wagty bilen kesgitlenilýär. Başgaça aýdanymyzda ýagtylygyň depgininiň üýtgemesini hasaba almak mümkin bolan iň kiçi wagt dowamlylygy Δt_p bilen kesgitlenilýär. Bu wagt dowamlylygy kabul edijini depgini garmoniki kanun boýunça (modulirlenen) üýtgeýän Ω ýygylykly ýagtylyk şöhlesi bilen ýagtylandyrmak arkaly tejribede kesgitlenilýär. Modulirleme ýygylygynyň artmagy bilen kabul edijiniň seslenmesiniň gowşaýandygyna gözegçilik etmek mümkin. Mysal üçin, Ω ýygylykda fotoelektrik akymyna. Ýagtylyk kabul edijiniň inertliligini häsiýetlendirýän iň gyraky çäk ýygylygy hökmünde adatça kabul edijiniň seslenmesiniň iki esse kiçelýän modulirleýji $\Omega_Ç$ ýygylyk kabul edilýär. Ýagtylygyň depgininiň üýtgemesini hasaba almak mümkin bolan iň kiçi wagt aralygy bilen modulirlemäniň çäk ýygylygynyň ($\Omega_Ç$) baglanyşygy $\Omega_Ç \Delta t_p \approx 1$ görnüşde bolýar.

Ýagtylygy kabul edijileriň iki görnüşi tapawutlandyrylýar. Olaryň birinji görnüşine selektiw (saýlaýjylyk ukybyna eýe bolan) diýlip atlandyrylýar, ikinji selektiw däl diýlip atlandyrylýar. Adam gözi selektiw kabul edijilere degişli.

Islendik optiki kabul edijiniň esasy wajyp häsiýetnamasy olaryň gowşak ýagtylyk akymyny duýmak ukyby bolup durýar. Gowşak ýagtylyk akymyny inçeden (takyk) duýmak ukyby adam gözüne mahsusdyr. Garaňka uýgunlaşan adam gözi aýry-aýry fotonlary saýgaryp bilýär.

Ikinji bap

Ýagtylygy häsiýetlendirýän ululyklar we olaryň ölçeg birlikleri. (Fotometirýa)

2.1 Ýagtylyk energiýasynyň akymy. Ýagtylyk akymy

Ýagtylygyň göze ýa-da başga bir kabul edijä (fotoelemente, fotoýorka we ş.m) täsiri, olara ýagtylyk tolkunynyň geçirýän energiýasynyň berilmegi bilen baglanyşyklydyr. Ýagtylygyň elektromagnit tolkunlarydygy 1865-nji ýylda Makswel tarapyndan subut edildi. Ak ýagtylygyň spektre dargamagy, onuň dürli tolkun uzynlykly elektromagnit tolkunlardan ybaratdygyny aňladýar. Spektriň dürli tolkun uzynlyklarynyň çägine düşýän energiýasy dürlüdir. Energiýa akymynyň tolkun uzynlyklar boýunça paýlanmasy:

$$\varphi(\lambda) = \frac{d\Phi_e}{d\lambda} \qquad (2.1)$$

aňlatma arkaly häsiýetlendirilýär. Bu ýerde $d\Phi_e$ λ-den $(\lambda + d\lambda)$ çenli tolkun uzynlyklaryň çägine düşýän energiýa akymy. λ_1-den λ_2-ä çenli tolkun uzynlyklaryň çägine düşýän energiýa akymy

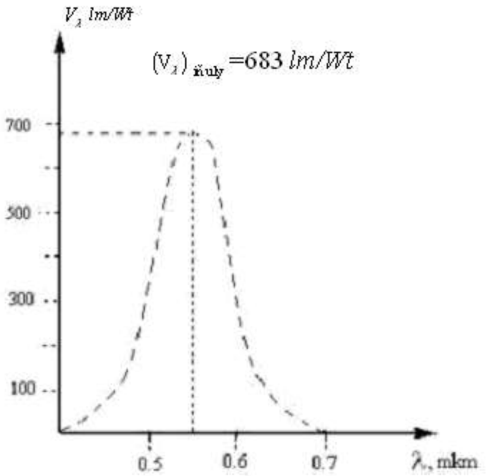
$$\Phi_e = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi(\lambda) d\lambda \qquad (2.2)$$

görnüşde aňladylýar.

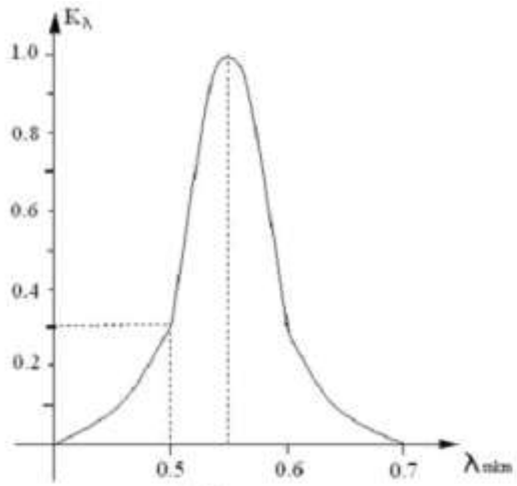
Ýagtylyk tolkunlarynyň ajaýyp häsiýetlerinden biri – göze düşende görüş duýgusyny döretmegidir. Dürli tolkun uzynlykly ýagtylygyň birdeň energiýa akymynyň döredýän görüş duýgusy birmeňzeş däldir. Mysal üçin, 400 nm-den gysga we 760 nm-den uzyn elektromagnit tolkunlarynyň uly energiýa akymy-da hiç hili görüş duýgusyny döretmeýär; birdeň energiýa akymyna eýe bolan ýaşyl we gyzyl ýagtylyk tolkunlarynyň döredýän görüş duýgusy hem bir-birinden birnäçe esse tapawutlanýar. Şoňa görä, gözüň şöhlelenmäni kabul ediş häsiýetini, ýagny spektral duýgurlygyny kesgitlemek zerur. Onuň üçin şöhlelenmäniň görünmesi ýa-da görünme diýlip atlandyrylýan ululyk girizilýär. Energiýa akymynyň bir birliginiň döredýän ýagtylyk akymynyň tolkun uzynlyga baglylygyny aňladýan ululyga şöhlelenmäniň görünmesi ýa-da görünme funksiýasy diýilýär. Ol V_λ ýaly belgilenip lm/Wt birlikde ölçenilýär (lýumen ýagtylyk akymynyň ölçeg birligi). Görünme funksiýasy tejiribe arkaly kesgitlenilip adam gözüniň ortaça görüş ukybyny hasiýetlendirýär. Tejribelerden alnan netijeler görünme funksiýasynyň iň uly bahasy tolkun uzynlygyň 0,555 mkm-ne gabat gelip, san taýdan $(V_\lambda)_{\text{iňuly}} = 683\frac{lm}{Wt}$ baha deňdigini görkezýär. Bu ululyga şöhlelenme kuwwatynyň ýagtylyk ekwiwalenti hem diýilýär. Ýagtylyk ekwiwalentiniň ters ululygyna ýagtylygyň mehaniki ekwiwalenti diýlip atlandyrylýar we onuň san bahasy $A = \frac{1}{(V_\lambda)_{\text{iň uly}}} = \frac{1}{683} = 0.00146\frac{Wt}{lm}$. Görünme funksiýadan başga-da görüş duýgusyny häsiýetlendirmek üçin göräli görünme funksiýasy diýilýän ululyk girizilýär, ýagny

$$K_\lambda = \frac{V_\lambda}{(V_\lambda)_{\text{iň uly}}} . \qquad (2.3)$$

Aşakdaky 2.1-nji we 2.2-nji çyzgyda $V_\lambda = f(\lambda)$we $K_\lambda = f(\lambda)$ baglanyşyklar şekillendirilen.



2.1-nji çyzgy



2.2-nji çyzgy

Käbir üstden wagt birliginde akyp geçýän, görüş duýgusy bilen kesgitlenilýän ýagtylyk energiýasyna ýagtylyk akymy diýilýär. Tolkun uzynlygynyň käbir dλ çägi boýunça geçýän ýagtylyk energiýasy $d\Phi_e$ we ýagtylyk akymynyň $d\Phi$ arasyndaky baglanyşyk aşakdaky ýalydyr:

$$d\Phi = V_\lambda \varphi(\lambda) d\Phi_e . \qquad (2.4)$$

(2.1)-den peýdalanyp ýazsak:

$$d\Phi = V_\lambda \varphi(\lambda) d\lambda . \qquad (2.5)$$

Doly ýagtylyk akymyny görünme funksiýasynyň we energiýa akymynyň üsti bilen aňlatsak: $\Phi = (V_\lambda)_{\text{iň uly}} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} K_\lambda \varphi(\lambda) d\lambda .$ (2.6)

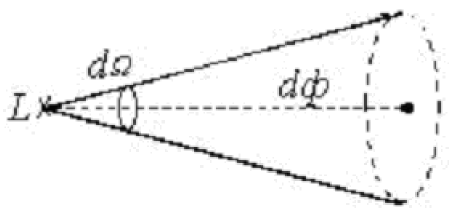
Islendik tolkun uzynlykly ýagtylygyň 1 lýumen akymy $\frac{A}{K_\lambda}$ Wt energiýa akymyna deňdir. Mysal üçin, $\lambda =$ 0,5 mkm tolkun uzynlykly ýagtylygyň 1 lm akymyna degişli göräli görünme funksiýasynyň bahasy (2.1-nji çyzgydaky grafikden) K_λ=0,3. Onda 1 lýumen$= \frac{0,00146}{0,3} \approx 0.0487$ Wt. Şeýlelikde, fotometrik ululyk bolan ýagtylyk akymy görüş duýgusy bilen baha berilýän ýagtylyk şöhlelenmesiniň kuwwaty arkaly kesgitlenilip bilinýär.

2.2 Ýagtylyk ululyklary

1. Ýagtylyk güýji

Ýagtylygy ölçemekde we ýagtylyk tehnikasynda ýagtylyk akymy esasy ululyk bolup hyzmat edýändigine garamazdan ýagtylygy häsiýetlendirmek üçin esasy ululyk hökmünde ýagtylyk güýji kabul edilýär. Nokatlanç ýagtylyk çeşmesiniň güýji berlen ugurdaky ýagtylyk akymynyň jisim burçuna bolan gatnaşygy ýaly kesgitlenilýär (2.3-nji çyzgy).

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \qquad (2.7)$$



2.3-nji çyzgy

Eger nokatlanç ýagtylyk çeşmesi ähli ugurlara deňölçegli şöhle göýberýän bolsa, ýagny çeşme izotrop bolsa onda ýagtylyk güýji

$$I = \frac{\Phi}{4\pi} \qquad (2.8)$$

gatnaşykdan kesgitlenilýär. Bu ýerde Φ doly ýagtylyk akymy. Ölçeg birlikleriň halkara ulgamynda esasy birlikleriň hatarynda bolan ýagtylyk güýji kandelada (kd) ölçenilýär.

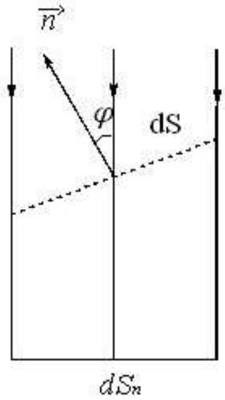
Gara jisimiň 2042,5 K temperaturada (kadaly basyşda platinanyň gatama temperaturasy) $\frac{1}{60}sm^2$ üst meýdandan perpendikulýar ugura şöhlelendirilýän ýagtylyk güýji 1 kd diýilip kabul edilen.

Ýagtylyk güýjüniň jisim burçunyň ululygyna köpeltmek hasylyna ýagtylyk akymy diýilýär. Halkara birlikler ulgamynda ýagtylyk akymy lýumenlerde ölçenilýär: $[\Phi] =$ lýumen = kd · sr.

2. Ýagtylandyrylyş

Ýagtylyk üste düşende ony ýagtylandyrýar. Ýagtylandyrylyş diýlip, üste dik düşýan ýagtylyk akymynyň bu üstüň meýdanyna bolan gatnaşygy bilen kesgitlenilýän ululyga aýdylýar:

$$E_0 = \frac{d\Phi}{dS_n}. \qquad (2.9)$$



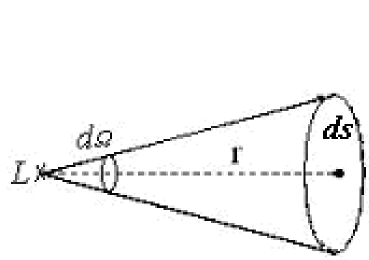
2.4-nji çyzgy

Eger ýagtylyk dS üste ýapgyt düşýän bolsa (2.4-nji çyzgy), onda:

$$E = \frac{d\Phi}{dS} = \frac{d\Phi}{dS_n}\cos\varphi, \qquad (2.10)$$

sebäbi $dS_n = dS\cos\varphi$ (2.9) deňligi ulanyp, (2.10) deňligi şeýle ýazyp bileris:

$$E = E_0\cos\varphi \qquad (2.11)$$



2.5-nji çyzgy

Goý, L nokatlanç ýagtylyk çeşmesinden ýagtylyk şöhleleri dS_n sferik üste dik düşýän bolsun. Çeşmenen dS_n-e çenli aralyk r bolsun (2.5-nji çyzgy).

Onda jisim burçy

$$d\Omega = \frac{dS_n}{r^2} \qquad (2.12)$$

bolar. (2.7) aňlatma boýunça

$$d\Phi = Id\Omega = \frac{I}{r^2} dS_n , \qquad (2.13)$$

onda (2.10) aňlatma boýunça

$$E = \frac{d\Phi}{dS_n}\cos\varphi = \frac{I}{r^2}\cos\varphi \qquad \text{ýa-da} \qquad E = \frac{I}{r^2}\cos\varphi . \qquad (2.14)$$

Bu aňlatmanyň üstüň ýagtylandyrylyşynyň çeşmäniň ýagtylyk güýjüne, ýagtylygyň düşme burçuna we çeşme bilen üstüň aradaşlygyna baglylygyny görkezýär.

Halkara birlikler ulgamynda ýagtylandyrylyşyň birligi lýukslerde (lk) ölçenilýär. 1m^2 üste bir lýumen ýagtylyk akymynyň deňölçegli paýlanmasy netijesinde döreýän ýagtylandyrylyş bir lýuks ýagtylandyryş diýlip kabul edilen.

3.Ýagtylanyjylyk

Kesgitli ölçeglere eýe bolan ýagtylyk çeşmesiniň şöhlelendirýän ýagtylyk akymyny häsiýetlendirmek üçin ýagtylanyjylyk diýilýan ululyk girizilýär. Eger ýagtylyk çeşmesiniň dS üst meýdançasyndan dΦ ýagtylyk akymy şöhlelendirilýän bolsa, onda

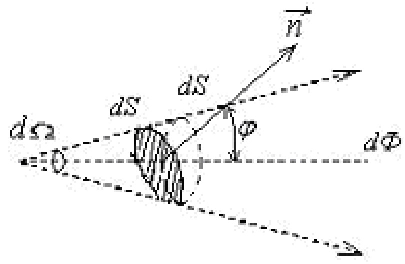
$$R = \frac{d\Phi}{dS} \qquad (2.15)$$

gatnaşyk bu üstüň ýagtylanyjylygyny kesgitleýär. Eger ýagtylgyç özi şöhlelenmän, üstüne düşýän ýagtylyk akymyny serpikdirmegiň hasabyna ýagtylanýan bolsa, onda (2.15) aňlatmadaky dΦ ýagtylyk akymy dS meýdançadan serpigen ýagtylyk akymy ýaly kesgitlenilýär. Halkara birlikler ulgamynda ýagtylanyjylyk lýukslerde ölçenilýär.

4. Çeşmäniň ýagtylanma ýitiligi (ýarkost)

Gutarnykly ölçegleri bolan ýagtylyk çeşmesi ýagtylanma ýitiligi diýilýän ululyk bilen hem häsiýetlendirilýär. Çeşmäniň ýagtylyk güýjüniň onuň üstüniň meýdanyna bolan gatnaşygyna çeşmäniň ýagtylanma ýitiligi diýilýär:

$$B = \frac{I}{dS_n}. \qquad (2.16)$$



2.6-njy çyzgy

Bu aňlatmany almak üçin aşakdaky mysaldan peýdalanalyň. Goý, ýagtylyk çeşmesiniň *dS* üst meýdançasyndan, bu üste inderilen normal bilen φ burçy emele getirýan ugur boýunça, $d\Omega$ jisim burçunyň çäginde $d\Phi$ ýagtylyk akymy şöhlelendirilýän bolsun (2.6-njy çyzgy).

Bu ýagdaýda $$d\Phi = BdS_n d\Omega. \qquad (2.17)$$

Bu ýerden

$$B = \frac{d\Phi}{dS_n d\Omega}. \qquad (2.18)$$

(2.7) aňlatmany peýdalanyp (2.18) -i aşakdaky ýaly ýazyp bileris:

$$B = \frac{I}{dS_n} \quad .$$

Halkara birlikler ulgamynda çeşmäniň ýagtylanma ýitiligi nitde (nt) ölçenilýär.

$$[B] = nit(nt) = \frac{kd}{m^2 sr} \quad .$$

Ýagtylyk ululyklarynyň energiýanyň we ýagtylygyň ölçeg birliklerinde aňladylşynyň tablitsasy

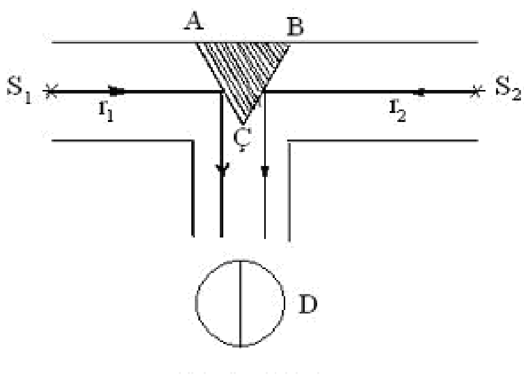
T/b	Ýagtylyk ululyklary	Belgilenşi	Energiýa ölçeg birlikleri	Ýagtylyk ölçeg birlikleri
1	Ýagtylyk akymy	Φ	Wt	Lýumen
2	Ýagtylyk güýji	I	Wt/sr	Kandela
3	Ýagtylandyrylyş	E	Wt/m^2	Lýuks
4	Ýgtylanyjylyk	R	Wt/m^2	Lýuks
5	Çeşmäniň ýagtylanma ýitiligi	B	Wt/$m^2 \cdot$sr	Nit

2.3. Ýagtylyk ululyklarynyň ölçenilişi

Ýagtylyk ululyklaryny ölçemek üçin niýetlenen abzallara, gurallara fotometrler diýilýär. Fotometrler iki topara bolünýär: Subýektiw we abýektiw. Subýektiw fotometrlerde ýagtylyk ululyklaryny ölçemekde şöhlelenmäni kabul ediji hökmünde adamyň gözi hyzmat edýär. Abýaktiw fotometrlerde ýagtylyk ululyklaryny ölçemek ýagtylyga duýgur fotoelementler – elektrik abzaly ulanylýar.

Subýektiw fotometrlerde ýagtylyk ululyklary göni gözegçilikde deňeşdirmek arkaly ölçenilýär. Ýönekeý subýektiw fotometriň gurluşyna we işleýşine seredeliň.

S_1 we S_2 ýagtylyk çeşmelerinden çykýan şöhleler ABÇ üçgranly prizmanyň AÇ we BÇ granlaryna düşüp serpikýär. Gözegçi ýagtylyk şöhleleriniň serpigen ugry boýunça seredýär. Meýdançalar arasy çyzyk bilen bölünen iki ýarymtegelek (D) bolup görünýär (2.7-nji çyzgy).



2.7-nji çyzgy

Çeşmeleriň biriniň meýdança çenli aralygyny üýtgedip, meýdançalaryň ikisiniň hem deň derejede ýagtylanmasy gazanylýar. Bu ýagdaýda her çeşme ýagtylandyrýan meýdançasynyň üst birligine deň mukdarda ýagtylyk energiýasyny berýär. Adaty subýektiw fotometrlerde ýagtylyk çeşmeleriniň biriniň ýagtylyk güýji belli bolýar ((etalon) ülňi, nusgalygy) beýlekisiniň ýagtylyk güýji ýagtylandyrylyşyň deňeşdirilmegi arkaly kesgitlenilýär. S_1 çeşmäniň ýagtylyk güýji belli diýip kabul edeliň. Onda r_1 we r_2 aralyklaryň käbir gymmatynda *AÇ* we *BÇ* granlar deň derejede ýagtylanýar. Meýdançalara ýagtylygyň düşme burçy birdeň bolany üçin olaryň ýagtylandyrylyşy:

$$E_1 = \frac{I_1}{r_1^2}\cos\varphi \quad ; \quad E_2 = \frac{I_2}{r_2^2}\cos\varphi \qquad (2.19)$$

bolar. Meýdançalaryň ýagtylandyryşynyň deňleşen mahaly $E_1 = E_2$ bolar. Onda

$$\frac{I_1}{r_1^2} = \frac{I_2}{r_2^2}, \qquad (2.20)$$

bu ýerden

$$I_1 = I_2\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2. \qquad (2.21)$$

Bu alnan aňlatma ýagtylyk çeşmeleri nokatlanç bolan ýagdaý üçin ulanarlyklydyr.

Obýektiw fotometrlerde ýagtylyk ululyklaryny ölçemegiň esasynda ýagtylygyň elektrik we himiki täsiri ýatýar. Ýagtylygyň himiki täsirinde fotoplýonkanyň (çyzgya düşürilýän ýorka) garalmasy ýüze çykýar. Fotoplýonkanyň garalmak derejesiniň onuň üstüne düşýän ýagtylyk energiýasyna baglydygyndan peýdalanyp ýagtylyk ululyklary kesgitlenilýär.

Ýagtylygyň elektrik täsirine esaslanan fotometrlerde fotoelementler, fotogarşylyklar, fotoelektron köpeldijiler we ş.m-ler peýdalanylýar.

Iň ýönekeý fotoelektrik fotometr – fotoelementlerden we duýgur galwonometrlerden ybaratdyr. Galwonometriň görkezýän elektrik akymynyň ululygy boýunça ýagtylandyrylyş barada maglumat alynýar. Eger galwonometriň görkezýän bölümleriniň ölçeg möçberleri lýukslere geçirilen bolsa, onda dessine ýagtylandyrylyşyň ululygyny ölçemek bolýar.

Fotoelektrik fotometrler subýektiw fotometrlerden tapawutlylykda spektriň görünýän infragyzyl we ultramelewşe çäklerinde hem işläp bilýär.

Üçünji bap

Ýagtylygyň interferensiýasy

3.1 Interferensiýa hadysasy. Kogerentlik barada düşünje

Ýagtylygyň interferensiýasy onuň tolkun tebigatynyň subudydyr. Tolkunlaryň goşulmagy netijesinde interferensiýanyň ýüze çykmasy tolkunlara mahsus häsiýetdir. Ýagtylygyň interferensiýa hadysasy VXII asyryň ortalarynda Nýuton tarapyndan açylyp, Nýutonyň halkalary diýlip atlandyrylyp gelinýär.

Ýagtylyk elektromagnit tolkuny bolmak bilen, onda iki wektor yrgyldaýar: elektrik meýdanynyň güýjenme wektory $\vec{E}$ we magnit meýdanynyň güýjenme wektory $\vec{H}$. Derňewleriň görkezişine görä, ýagtylygyň fiziologik, fotoelektrik we başga täsirleri onuň elektrik wektorlarynyň yrgyldylary netijesinde döredilýär. Magnit meýdanynyň güýjenme wektorynyň yrgyldylarynyň ýokarda agzalan täsirlere gatnaşygy görnetin duýulmaýar. Şol sebäpli elektromagnit tolkunlarynyň elektriki meýdanyň güýjenme wektoryna ýagtylyk wektory hem diýilýär. Ýagtylyk tolkunlary giňişlikde biri-birine baglanyşyksyzlykda ýaýraýarlar. Dürli ugurlar bilen ýaýraýan ýagtylyk tolkunlary biri-biriniň içinden hiç hili päsgelçiliksiz geçýärler. Şonuň üçin kiçijik deşikden seredilende dürli jisimler aýratyn görünýärler. Başgaça aýdanymyzda, iki ýagtylyk çeşmesinden ýaýraýan tolkunlaryň, giňişligiň käbir nokadynda biri-biriniň üstüne düşmegi bilen döreýän elektrik meýdanlarynyň güýjenme wektory $\vec{E}$, her çeşmäniň aýratynlykda döredýän elektrik meýdanlarynyň güýjenme wektorlarynyň jemine deňdir, ýagny

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 .$$

Bu hadysa tolkunlaryň goşulma (superpozisiýa) düzgüni diýilýär. Bu düzgün depgini uly bolmadyk adaty çeşmelerden ýaýraýan ýagtylyk tolkunlary üçin doly ýerine ýetýär, emma depgini has uly bolan (mysal üçin lazer şöhlesi) ýagtylyk tolkunlary üçin ýerine ýetmeýär. Biz tolkunlaryň goşulmak (superpozisiýa) düzgüni ýerine ýetýän ýagtylyk tolkunlaryna serederis.

Adaty ýagdaýda dürli ýagtylyk çeşmelerinden şöhlelendirilýän ýagtylyk tolkunlary goşulanda interferensiýa ýüze çykmaýar. Düşünikli bolmagy üçin aşakdaky mysala seredeliň. Bir otagda iki-üç ýa-da ondan-da köp elektrik çyralarynyň bolmagy mümkin. Goý otagdaky elektrik çyralarynyň kuwwatlary özara deň bolsun we çyralardan deňräk aralykda ýerleşen üst ýagtylandyrylýan bolsun. Eger çyralaryň birini ýaksak, üst belli bir dereje ýagtylandyrylar. Ikinji çyra ýakylanda üstüň ýagtylandyrylmasy iki esse artar. Üçünji çyra ýakylsa üstüň ýagtylandyrylmasy üç esse artar. Mysaldan görünişi ýaly üste birnäçe çyradan gelýän ýagtylyk tolkunlary goşulýar, ýöne interferensiýa ýüze çykmaýar. Eger dürli çyralardan gelýän ýagtylyk tolkunlarynyň goşulmagy bilen interferensiýa ýüze çykan bolsa, onda gözegçilik edilýän üstüň käbir ýeriniň ýagtylanmasy güýçli, käbir ýeriniňki gowşak bolardy. Interferensiýanyň ýüze çykmak şertine iki sany ýagtylyk tolkunynyň goşulmasynyň mysalynda seredeliň.

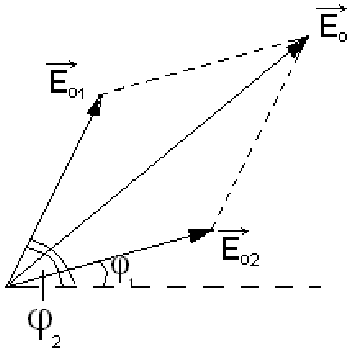
Goý, birdeň ýygylykly we dürli amplitudaly iki sany ýagtylyk tolkuny ýaýramak bilen giňişligiň käbir nokadynda bit tarapa ugrukdyrylan tolkunlary oýandyrýan bolsun. Bu yrgyldylary:

$$\vec{E}_1 = \vec{E}_{01}\cos(\omega t + \varphi_1), \qquad \vec{E}_2 = \vec{E}_{02}\cos(\omega t + \varphi_2) \qquad (3.1)$$

görnüşde ýazalyň. Yrgyldylary düzgün boýunça goşup alarys:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = \vec{E}_{01}\cos(\omega t + \varphi_1) + \vec{E}_{02}\cos(\omega t + \varphi_2) = \vec{E}_0\cos(\omega t + \varphi). \qquad (3.2)$$

Diýmek, birtarapa ugrukdyrylan yrgyldylaryň goşulmagy bilen şol bir ýygylykly jemleýji yrgyldy alynýar. Jemleýji yrgyldynyň amplitudasy we başlangyç fazasy wektor diagrammadan kesgitlenilýär. (3.1-nji çyzgy)



3.1-nji çyzgy

$$E_0^2 = E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2E_{01}E_{02}\cos(\varphi_2 - \varphi_1), \qquad (3.3)$$

$$tg\varphi = \frac{E_{01}\sin\varphi_1 + E_{02}\sin\varphi_2}{E_{01}\cos\varphi_1 + E_{02}\cos\varphi_2}. \qquad (3.4)$$

Bu ýerde φ_1 we φ_2 goşulýan yrgyldylaryň başlangyç fazasy, φ -jemleýji yrgyldylaryň başlangyç fazasy. Tolkunlaryň oýandyrýan yrgyldylarynyň $\varphi_2 - \varphi_1$

fazalar tapawudy wagta baglylykda üýtgemeýän bolsa, onda beýle tolkunlara **kogerent** tolkunlar diýilýär. Şeýle tolkunlary şöhlelendirýän çeşmelere kogerent çeşmeler diýilýär.

Yrgyldynyň energiýasy onuň amplitudasynyň kwadratyna göni proporsionaldyr. Ýagtylygyň depgini (intensiwligi) ýagtylyk yrgyldylarynyň energiýasyna proporsionaldyr. Onda (3.3) aňlatmany:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos(\varphi_2 - \varphi_1) \qquad (3.5)$$

görnüşde ýazyp bileris. Bu ýerde I_1 we I_2 goşulýan ýagtylyk yrgyldylaryň depginleri, *I*-jemleýji ýagtylyk yrgyldysynyň depgini. Ol goşulýan ýagtylyk yrgyldylarynyň fazalar tapawudyna $(\varphi_2 - \varphi_1)$ baglydyr. Eger $\varphi_2 - \varphi_1 = 0, 2\pi, 4\pi, ..., 2m\pi$ bolsa (*m*=0,1,2,3...)

$\cos(\varphi_2 - \varphi_1) = 1$ bu ýagdaýda (3.5) aňlatma:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \qquad (3.6)$$

görnüşe geçýär. Jemleýji ýagtylygyň depgini iň uly baha eýe bolýar.

Eger-de $\varphi_2 - \varphi_1 = \pi, 3\pi, 5\pi, ..., (2m+1)\pi$ bolsa onda $\cos(\varphi_2 - \varphi_1) = -1$ onda (3.5) aňlatma:

$$I = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2} \qquad (3.7)$$

görnüşe geçýär. Bu ýagdaýda jemleýji ýagtylygyň depgini iň kiçi baha eýe bolýar. Eger $I_1 = I_2$ bolsa onda (3.6) deňlik

$$I = 4I_1 \qquad (3.8)$$

(3.7) deňlik bolsa:

$$I = 0 \qquad (3.9)$$

görnüşe geçýär. Eger-de $\varphi_2 - \varphi_1 =$hemişelik bolsa, onda (3.6) we (3.8) şertleriň ýerine ýetýän, giňişligiň nokatlarynda ýagtylygyň depgini uly hem-de (3.7) we (3.9) şertleriň ýerine ýetýän, giňişligiň nokatlarynda ýagtylygyň depgini kiçi bolýar. Bu hadysa ýagtylygyň interferensiýasy diýilýär.

Eger-de iki tolkunyň giňişligiň käbir nokadynda oýandyrýan yrgyldylarynyň fazalarynyň tapawudy $(\varphi_2 - \varphi_1)$ wagta baglylykda çalt üýtgeýän bolsa, onda $\cos(\varphi_2 - \varphi_1) = 0$ bolar we (3.5) aňlatma

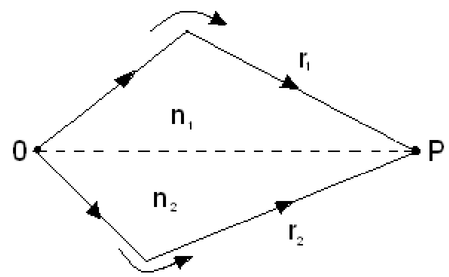
$$I = I_1 + I_2 \quad (3.10)$$

görnüşe geçýär. Bu ýagdaýda interferensiýa hadysasy ýüze çykmaýar. Adaty ýagtylyk çeşmeleri kogerent ýagtylyk çeşmeleri däldir, şonuň üçin hem iki ýagtylyk çyrasyndan şöhlelenýän ýagtylyklaryň goşulmagy bilen interferensiýa döremeýär. Munuň sebäbi atomlaryň şöhlelenmesi bilen baglanşyklydyr. Oýandyrylan atomlar $10^{-10} \div 10^{-8}$ s dowamynda şöhle göýberýärler. Indiki şöhlelenme pursaty käbir wagtdan soň bolýar. Her bir şöhlelenme pursatynda tolkun parçasy (sug) göýberilýär. Tolkun parçasynyň uzynlygy birnäçe santimetrden iki-üç metre çenli bolýar. Yzygider şöhlelenýän tolkun parçalary fazalary boýunça baglanyşykly bolmaýar, ýagny $\varphi_2 - \varphi_1$ tapawut hemişelikdäldir.

Kogerent şöhleleri almak üçin, bir ýagtylyk çeşmesinden çykýan ýagtylygy iki şöhlä bölmeli. Bu şöhleler kogerent bolýar we goşulanda interferensiýa döreýär. Ýöne, ikä bölünen şöhläniň interferensiýa döretmegi üçin, olaryň geçen optiki ýollarynyň tapawudy tolkun parçasynyň uzynlygyndan uly bolmaly däldir, ýagny ikä bölünip we ýene-de goşulýan ýagtylyk tolkunlary şol bir tokun parçasyna degişli bolmalydyr.

Goý, tolkun impulsy O nokatda ikä bölünip, r_1 we r_2 ýollar geçip, P nokatda goşulýan bolsun; r_1 ýol döwülme görkezijisi n_1 bolan gurşawda, r_2 ýol döwülme görkezijisi n_2 bolan gurşawda geçilen bolsun (3.2-nji çyzgy). Eger O nokatda yrgyldynyň fazasy ωt bolsa, onda birinji tolkun P nokatda

$E_{01} \cos\omega\left(t - \frac{r_1}{\vartheta_1}\right)$ yrgyldyny, ikinji tolkun



3.2-nji çyzgy

$E_{02} \cos\omega\left(t - \frac{r_2}{\vartheta_2}\right)$ yrgyldyny döreder.

Bu ýerde $\vartheta_1 = \frac{c}{n_1}$, $\vartheta_2 = \frac{c}{n_2}$ tolkunlaryň faza tizlikleri. P nokatdaky yrgyldylaryň faza tapawudy

$\Delta\varphi = \omega\left(\frac{r_2}{\vartheta_2} - \frac{r_1}{\vartheta_1}\right) = \frac{\omega}{c}(n_2 r_2 - n_1 r_1)$ bolar. $\frac{\omega}{c} = \frac{2\pi\nu}{c} = \frac{2\pi}{\lambda_0}$ deňligi (λ_0-wakuumdaky tolkun uzynlyk) hasaba alyp, fazalar tapawudy üçin alarys:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0}\Delta r\,. \qquad (3.11)$$

Bu ýerde $\Delta r = n_2 r_2 - n_1 r_1$ tolkunlaryň optiki ýollarynyň tapawudyny aňladýar. Eger

$$\Delta r = \pm m\lambda_0 \qquad (3.12)$$

bolsa, onda

$$\Delta\varphi = \pm 2\pi m\,, \qquad (3.13)$$

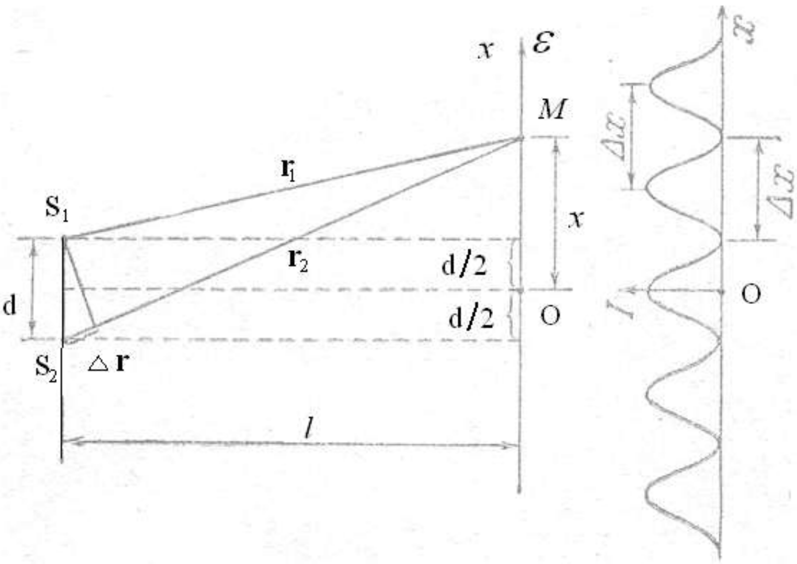
ýagny P nokatda iki tolkunyň döredýän yrgyldylary bir fazada bolýar we yrgyldynyň (ýagtylygyň) güýçlenmesi gözegçilik edilýär. Şonuň üçin (3.12) we (3.13) şertler interferensiýa sebäpli ýagtylygyň depgininiň iň uly baha eýe bolýan şertleridir. Edil şolar ýaly:

$$\Delta r = \pm(2m+1)\frac{\lambda_0}{2}\,, \qquad (3.14)$$

$$\Delta\varphi = \pm(2m+1)\pi \qquad (3.15)$$

bolanda, P nokatda yrgyldylar ters fazada bolýar. Şonuň üçin P nokatda döreýän yrgyldylar bir-birini gowşadýar. Şeýlelikde (3.14) we (3.15) şertler interferensiýa sebäpli ýagtylygyň depgininiň iň kiçi baha eýe bolýan şertleridir.

Goý, S_1 we S_1 kogerent çeşmelerden ýaýraýan ýagtylyk şöhleleri ε ekranda bir-biriniň üstüne düşüp interferensiýa ýüze çykýan bolsun (3.3-nji çyzgy) .



3.3-nji çyzgy

Çeşmeleriň aralygy d, çeşmelerden ekrana çenli aralyk l bolsun. Çeşmelerden monohromatik ýagtylyk (λ_0 =hemişelik) şöhlelenýän bolsun. Ilki ekranyň O nokadynda boljak ýagdaýy kesgitläliň. Iki çeşme üçin hem deň daşlykda bolan O nokatda ε ekranda döreýän interferensiýa şekiliň merkezi ýerleşýär. S_1O we S_2O aralyklaryň özara deňligi sebäpli şöhleleriň geçen ýollarynyň tapawudy $\Delta r = 0$ bolar. Şonuň üçin O nokatda ýagtylygyň depgininiň iň uly güýçlenmesi ýagny, merkezi güýçlenme emele gelýär. Indi ekranyň M nokadynda S_1 we S_2 çeşmelerden çykýan ýagtylyk tolkunlary r_1 we r_2 ýollary geçip barýarlar. Ýollaryň tapawudyny S_1MD we S_2MP gönüburçly üçburçluklardan alarys:

$$r_1^2 = \ell^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2 ; \; r_2^2 = \ell^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2 ,$$

$$r_2^2 - r_1^2 = \ell^2 + x^2 + xd + \frac{d^2}{4} - \ell^2 - x^2 + xd - \frac{d^2}{4} = 2xd$$

ýa-da $(r_2 - r_1)(r_2 + r_1) = 2xd \quad r_2 + r_1 \approx 2\ell$. Onda:

$$\Delta r = (r_2 - r_1) = \frac{xd}{\ell} . \qquad (3.16)$$

Bu ýerde (3.12) şerti ulanyp, alarys: $\frac{xd}{\ell} = \pm m\lambda_0$.

x - iň aşakdaky bahalarynda interferensiýa hadysasy sebäpli ýagtylygyň depgininiň iň uly güýçlenmeleri emele gelýär:

$$x_{iň \; uly} = m\frac{\ell}{d}\lambda_0 . \qquad (3.17)$$

Bu ýerde m=0,1,2,3,... güýçlenmeleriň tertip belgisi. Eger (3.16)-a (3.14) şerti ulansak: $\frac{xd}{\ell} = \pm(2m+1)\frac{\lambda_0}{2}$.

x - iň aşakdaky bahalarynda interferensiýa hadysasy sebäpli ýagtylygyň depgininiň iň kiçi gowşamasy emele gelýär:

$$x_{iň \; kiçi} = \pm(2m+1)\frac{\ell}{d}\cdot\frac{\lambda_0}{2} . \qquad (3.18)$$

Interferensiýa zolagynyň giňligi deregine iki ýanaşyk iň uly güýçlenmäniň ýa-da iň kiçi gowşamanyň aralygy alynýar. Mysal üçin x_{m-1} we x_m iň uly güýçlenmeleriň aralygy.

$$\Delta x = x_m - x_{m-1} = \frac{\ell}{d}\lambda_0. \qquad (3.19)$$

Alnan aňlatmadan görnüşi ýaly ℓ-*i*ň we λ_0-yň käbir üýtgemeýän bahalarynda *d*-niň kiçelmegi bilen Δx ulalýar, ýagny interferensiýa has aýdyň ýüze çykýar. Diýmek, interferensiýanyň aýdyň bolmagy üçin d<<ℓ bolmalydyr.

3.2. Wagt boýunça we giňişlik boýunça kogerentlik

Biz şu mahala çenli interferensiýany ýüze çykarýan ýagtylyk tolkunlaryna takyk monohromatiklige (λ-hemişelik) eýe diýip kabul etdik. Hakykatda hiç bir ýagtylyk çeşmesi-de takyk monohromatik tolkunlary şöhlelendirmeýär. Adaty ýagtylyk çeşmelerinde şöhlelendirilýän ýagtylygyň takyk monohromatik bolmazlygy tolkunyň parçasyny uzynlygynyň çäkli bolmagyndadyr. Her bir tolkun parçasynyň dürli ýygylykly tolkunlary bolup, ýygylyklaryň çäginiň giňligi ($d\nu$) tolkun parçasynyň uzynlygyna ters proporsionaldyr. Şol bir atomyň dürli wagt pursatlarynda şöhlelendirýän tolkun parçalarynyň fazalarynyň baglanyşyksyzlygy sebäpli, interferensiýany ýüze çykarmak üçin, şol bir tolkun parçasyna degişli tolkunlary goşmak gerekdir. Şeýle şerti häsiýetlendirmek üçin, kogerentlik wagty (wagt boýunça kogerentlik) diýilýän düşünje girizilýär. Kogerentlik wagty τ_{kog} – tolkun parçasynyň şöhlelenme wagtynyň dowamlylygydyr. Ýagtylyk wakuumda *c*= $3\cdot 10^8 m/s$ tizlik bilen ýaýraýanlygy üçin tolkun parçasynyň uzynlygy, ýagny kogerentlik uzynlyk: $\ell_{kog} = \tau_{kog} c$.

Kogerentlik wagty ýygylyklaryň çäginiň giňligi ($d\nu$) bilen şeýle baglanyşykdadyr:

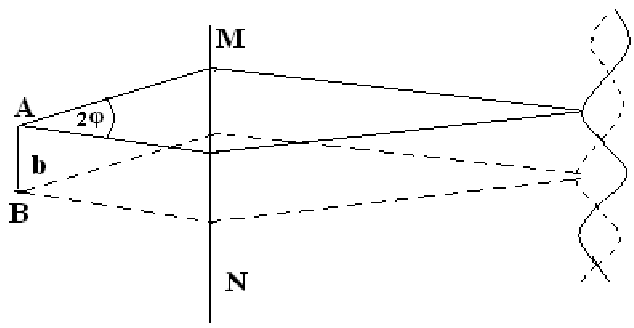
$$\tau_{kog} = \frac{1}{d\nu}; \text{ onda } \ell_{kog} = \tau_{kog} c = \frac{c}{d\nu} \quad \lambda = \frac{c}{\nu} \text{ bolmagyna görä } |d\lambda| = \frac{c d\nu}{\nu^2} = d\nu \cdot \frac{\lambda^2}{c},$$

$$\text{onda} \quad \ell_{kog} = \frac{c}{d\nu} = \frac{\lambda^2}{d\lambda} \quad \text{we} \quad \tau_{kog} = \frac{\lambda^2}{c d\lambda}$$

Adaty ýagtylyk çeşmelerinde kogerentlik wagty $10^{-10} \div 10^{-8}$ sekunt, kogerentlik uzynlygy birnäçe santimetre deň. Diýmek, bir çeşmeden çykan ýagtylyk ikä bölünenden soň ýene-de goşulýança geçen ýollarynyň tapawudy $r_2 - r_1 < \ell_{kog}$ bolsa interferensiýa ýüze çykýar.

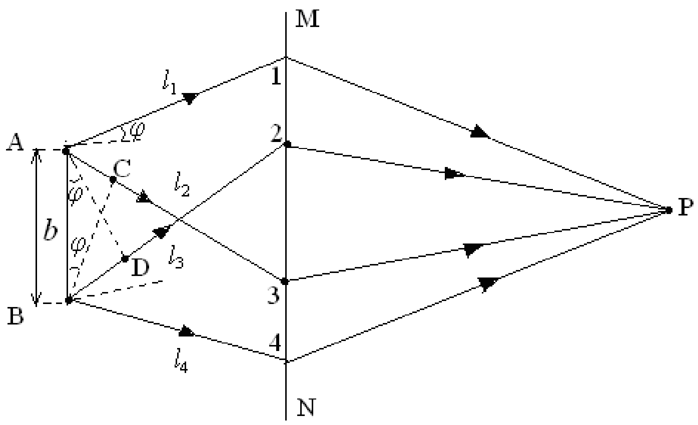
Köplenç ýagtylyk çeşmesi hökmünde yş peýdalanylýar. Interferensiýa şekiliniň aýdyňlygyna ýagtylytgyň monohromatikligi bilen bir hatarda yşyň ininiň hem uly täsiri bardyr. Ýagtylyk çeşmesiniň (yşyň) dürli nokatlary ekranda öz interferensiýa şekilini döredýär. Dürli nokatlaryň interferensiýa şekilleri bir-birinden käbir aralyga süýşen bolýar. Goý, *b* yşyň iki çetinden geçýän tolkunlar, MN gurnamanyň kömegi bilen ikä bölünip, ekranda interferensiýa emele getirilen bolsun (3.4-nji çyzgy).

Yşyň A nokatdan çykýan ýagtylygyň döredýän interferensiýasyny tutuş çyzyk bilen, B nokadyndan çykýan ýagtylygyň döredýän interferensiýasyny üzük-üzük çyzyk bilen görkezeliň. A nokatdan çykýan tolkunlaryň güýçlenýän nokatlaryna B nokatdan çykýan tolkunlaryň gowşaýan nokatlary gabat gelmese, interferensiýa görünýär, eger gabat gelse interferensiýa ýitýär. 2φ burça interferensiýanyň aperturasy diýilýär (ýagtylyk konusynyň gyraky şöhleleriniň arasyndaky burç).



3.4-nji çyzgy

Adaty interferensiýanyň döremegi üçin ýagtylyk çeşmesiniň (yşyň) ölçegleri kesgitli ululyga eýe bolmaly. Ony kesgitlemek üçin 3.5-nji çyzgydan peýdalanalyň.



3.5-nji çyzgy

b yşyň çetki A we B nokatlaryndan 2φ apertura burçy bilen geçen ýagtylyk tolkunlary MN gurnamanyň kömeginde ikä bölünip, P nokatda goşulýan bolsun. A nokatdan geçýän tolkunlar P nokada çenli ℓ_1 we ℓ_2 ýollary, B nokatdan geçýän tolkunlar ℓ_3 we ℓ_4 ýollary geçer. Şeýlelikde:

$$\Delta_A = \ell_2 - \ell_1 \qquad (3.21)$$

$$\Delta_B = \ell_4 - \ell_3 \qquad (3.22)$$

Eger $\Delta_A - \Delta_B$ tapawut ujypsyz bolsa, onda A nokadyň hem, B nokadyň hem ekrandaky interferensiýa şekilleri bir-birine görä ujypsyz şüýşen bolýar, interferensiýa anyk bolýar.

Eger $\Delta_A - \Delta_B = \frac{\lambda}{2}$ bolsa A nokatdan çykan tolkunlaryň P nokatda güýçlenmeleri B nokatdan çykan tolkunlaryň P nokatda gowşamalary gabat gelýär. Netijede interferensiýa ýitýär. Diňe

$$\Delta_A - \Delta_B \le \frac{\lambda}{4} \quad (3.23)$$

şert ýerine ýetende interferensiýa anyk emele gelýär. Onda (3.21), (3.22) we (3.23) deňliklerden

$$\Delta_A - \Delta_B = (\ell_2 - \ell_1) - (\ell_4 - \ell_3) = (\ell_2 - \ell_4) + (\ell_3 - \ell_1) \quad (3.24)$$

alarys. Eger 1 we 3 tolkunlar P nokatdan çykyp ýaýrandyr diýsek, onda AP we DP deň wagtdaky ýollar (tautohron) bolýar (A we D nokatlar P nokatdan ýaýraýan bir tolkunyň üstünde ýerleşýär). 1 we 3 şöhleler özara parallel diýip alarys:

$$\ell_3 - \ell_1 = BD = b\sin\varphi.$$

Edil şonuň ýaly:

$$\ell_2 - \ell_4 = AC = b\sin\varphi.$$

Diýmek $\Delta_A - \Delta_B = 2b\sin\varphi$.

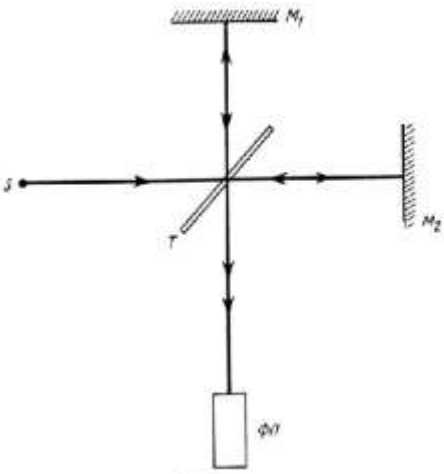
Netijäni (3.23)-de ornuna goýup alarys:

$$2b\sin\varphi \le \frac{\lambda}{4} . \qquad (3.25)$$

(3.25) şerti kanagatlandyrýan ýagtylyk çeşmesi giňişlik boýunça kogerentdir. Bu ýerden şeýle netije alynýar: anertara burçy ulalsa, giňişlik kogerentligi saklamak üçin çeşmäniň (yşyň) çäk ululygy kiçeldilmelidir.

3.3. Optikada kogerent ýagtylyk şöhlelerini almagyň usullary

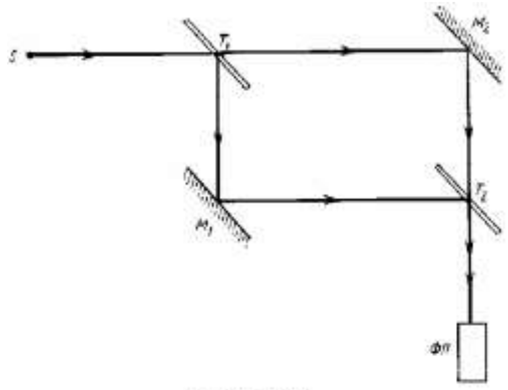
Ýokarda belleýşimiz ýaly iki sany kogerent ýagtylyk dessesi inert kabul edijide bir-biriniň üstüne düşende interferensiýa hadysasy ýüze çykýar. Kogerent ýagtylyk desselerini almak üçin kogerentlik göwrüminiň çäginde ikilenji ýagtylyk çeşmelerini döretmeli. Eger bir-biriniň üstüne düşýän kogerent ýagtylyk şöhleleriniň geçen ýollarynyň tapawudy kogerentlik uzynlygyndan uly bolmasa interferensiýa ýüze çykýar. Ýagtylygyň ýylylyk çeşmelerinde interferensiýany tejribede amala aşyrmak kyn meseleleriň biridir. Ýylylyk ýagtylyk çeşmeleriniň hasabyna kogerent çeşmeleri döretmegiň iki dürli tejribe usuly



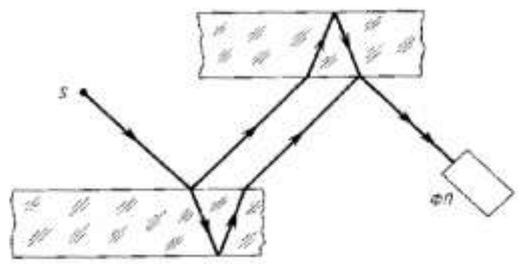
3.6-njy çyzgy

peýdalanylýar: ýagtylyk tolkunynyň amplitudasyny bölmek usuly we ýagtylygyň tolkun frontuny bölmek usuly. Ýagtylyk tolkunynyň amplitudasy bölünende çeşmeden çykýan şöhle ýagtylykbölüji bolup hyzmat edýän maddanyň ýuka gatlagyna düşürilýär. Maddadan serpigen we geçen ýagtylyk tolkunlary takmyndan özara deň amplitude eýe bolýarlar. Şöhleler şol bir tolkun parçasyndan emele gelendikleri sebäpli kogerentdirler. Optiki gurnamalaryň kömeginde, mysal üçin aýnalaryň (zerkalalaryň) (kä halatlarda şolarsyz hem), kogerent şöhleler giňişligiň käbir çäklerinde bir-biriniň üstüne düşýärler. Eger şöhleleriň geçen ýolunyň tapawudy kogerentlik uzynlygyndan uly bolmasa interferensiýa ýüze çykýar. Ýagtylyk tolkunynyň amplitudasynyň bölünmesiniň hasabyna ýüze çykýan interferensiýa mysal hökmünde Maýkelsonyň interferometrinde alynýan interferensiýany görkezmek bolýar.

Mundan başga-da Mahyň–Sendriň, (3.7-nji çyzgy), Žameniň (3.8-nji çyzgy) interferometrleri fiziki derňewlerde köp peýdalanylýar.



3.7-nji çyzgy



3.8-nji çyzgy

Bu gurnamalaryň ählisinde ýagtylyk şöhlesi iki gurşawyň araçäginde serpigip ikä bölünýär, soňra gurnamanyň optiki ulgamynyň kömeginde bu şöhleleriň biri-biriniň üstüne düşmesi amala aşyrylýar.

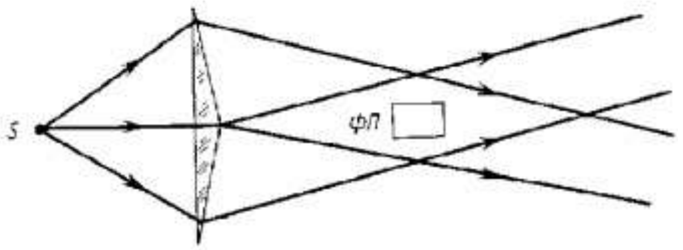
Ýagtylygyň tolkun frontuny bölmek usuly:

Bu usulda tolkun frontunyň üstünde optiki enjamlar ýerleşdirmek arkaly kogerent çeşmeler alynýar. Mysal üçin tolkun frontunyň üstüne deşik, doly serpikdiriji aýnalar, linzalar we başgalar ýerleşdirilip, tolkun fronty bölünýär. Bu enjamlara esasy goýulýan talap olaryň giňişlikde kogerentlik göwrüminiň çäginden çykmaly däldir. Optiki enjamlar arkaly alynýan ikilenji çeşmeleriň kogerent desseleri biri-biriniň üstüne düşüp, interferensiýany ýüze çykarýar. Mysal üçin, Ýungyň tejribesinde, difraksiýa sebäpli kogerent desseler bir-biriniň üstüne düşüp, interferensiýany döredýär. Ýungyň tejribesiniň gurnamasy 3.9-nji çyzgyda şekillendirilen.

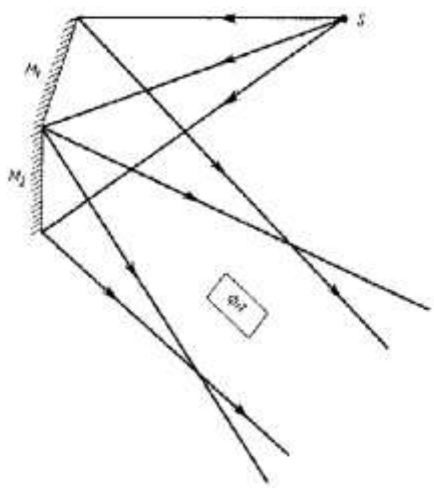
3.9-njy çyzgy

Ölçemeler geçirilende ýagtylyk kabul ediji çyzgyda şekillendirilen peýkamyň ugry boýunça süýşürilýär.

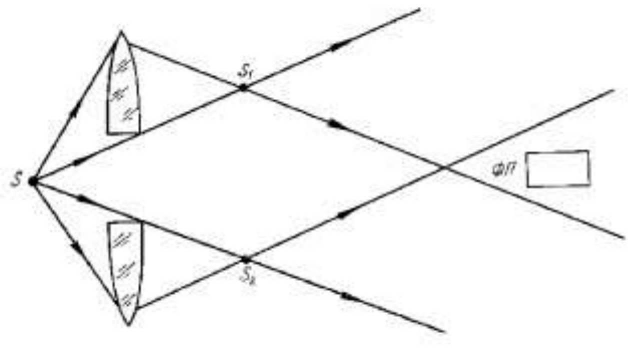
Tolkun frontuny bölmek usuly arkaly kogerent çeşmeleri döretmegiň köpsanly görnüşleri bardyr. Olaryň giňden peýdalanylýanlaryna mysal hökmünde Freneliň biprizmasyny (3.10-njy çyzgy), Freneliň bizerkalasyny (3.11-nji çyzgy), Buýeniň bilinzasyny (3.12-nji çyzgy) görkezmek bolar.



3.10-njy çyzgy



3.11-nji çyzgy

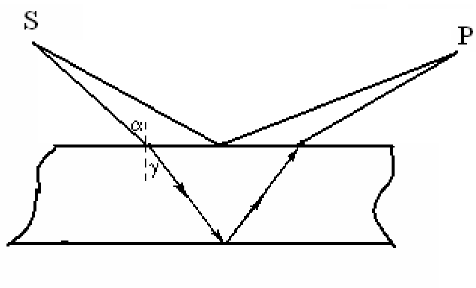


3.12-nji çyzgy

Bu mysal getirilen gurnamalara ýörite düşündiriş bermegiň zerurlygy ýok, sebäbi olar çyzgylarda aýdyň görkezilen. Bularyň ählisi üçin umumy talap bir sany hakyky **S** çeşmeden bir-birinden käbir **d** aralykda we ekrandan ℓ aralykda ýerleşen iki sany S_1 *we* S_2 kogerent çeşmeleri almakdan ybarat.

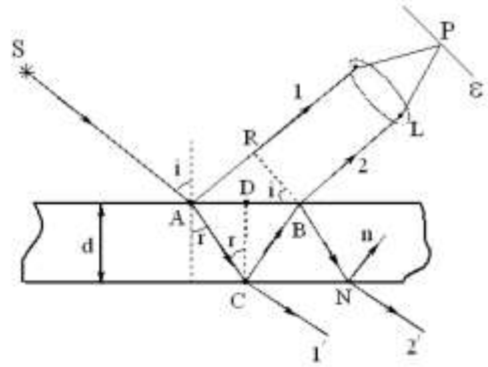
3.4. Ýuka ýorkalardaky interferensiýa

Tekiz parallel dury ýorka (gaty dury maddanyň ýuka gatlagy) ***S*** nokatlanç ýagtylyk çeşmesiniň şöhlesi düşende onuň ýokarky we aşaky üstlerinden serpigen şöhleler käbir erkin P nokatda bir-biriniň üstüne düşüp, goşulup biler



3.13-nji çyzgy

(3.13-nji çyzgy). Ol şöhleleriň ikisi hem şol bir nokatlanç çeşmelerden çykýanlygy üçin kogerentdirler we interferensiýany ýüze çykýar. Tekiz parallel ýorkanyň üstüne parallel şöhleler düşende onuň ýokarky we aşaky üstlerinden serpigen şöhleler özara parallel ýaýraýarlar. Bu şöhleleriň interferensiýasyny ekranda görmek üçin olary ýygnaýjy linzadan geçirip, linzanyň fokal tekizliginde ekran ýerleşdirmeli. Ýorkanyň üstünden geçen şöhleler hem özara paralleldir. Olaryň interferensiýasyna hem gözegçilik edilýär.



3.14-nji çyzgy

Goý galyňlygy **d**, döwülme görkezijisi **n** bolan tekiz parallel dury ýorkanyň üstüne monohromatik ýagtylygyň (λ-hemişelik) parallel dessesi käbir i burç bilen düşýän bolsun. (3.14-nji çyzgy). Biz çyzgyda şöhleleriň birini görkezmek bilen çäkleneris. Ýagtylyk şöhlesiniň bir bölegi ýorkanyň ýokarky üstüniň A nokadyndan serpiger (1-nji şöhle), galany döwülip ýorkanyň içine geçip, onuň C nokadyna düşýär. Bu nokatda hem şöhläniň käbir bölegi serpikýär we ýorkanyň B nokadyna düşýär, galany C nokatda döwülip ýorkadan çykýar (1-nji şöhle). B nokatda şöhläniň bir bölegi serpikip galany ýorkadan çykýar (2-nji şöhle). B nokatdan serpigen şöhle ýorkanyň N nokadyna düşüp, bir bölegi serpikýär galany ýorkadan çykýar (2-nji şöhle). Şeýle hadysanyň ýene-de birnäçe gezek gaýtalanmagy mümkin, ýöne üçünji, dördünji we ş.m. gezek serpikgen we döwülen şöhleleriň depgini has kiçi bolýar we interferensiýa olaryň goşandy örän az bolýar. Şonuň üçin biz ol şöhlelere seretmeris.

Ilki ýorkanyň ýokarky üstünden serpikdirilen şöhleleriň (1-nji we 2-nji şöhleler) interferensiýasyna seredeliň. 1-nji we 2-nji şöhleler **L** linzadan geçip, ε ekranyň **P** nokadynda bir-biriniň üstüne düşüp, interferensiýany ýüze çykarýar. **P** nokatda interferensiýa sebäpli ýagtylygyň depgininiň güýçlenmesi ýa-da gowşamasy 1-nji we 2-nji tolkunlaryň fazalar tapawudyna bagly: eger fazalar tapawudy $\Delta\varphi = 2\pi, 4\pi, 6\pi, ..., 2m\pi$ (m=1,2,3,...) bahalaryň birine deň bolsa, onda interferensiýa sebäpli ýagtylygyň depgininiň iň uly güýçlenmesi bolýar. Eger $\Delta\varphi = \pi, 3\pi, 5\pi, ..., (2m+1)\pi$ bahalaryň birine eýe bolsa, onda interferensiýa sebäpli ýagtylygyň depgininiň iň az gowşamasy bolýar.

Goşulýan tolkunlaryň fazalarynyň tapawudyny olaryň geçen ýollarynyň tapawudy arkaly aňlatmak ölçeme geçirmekligi aňsatlaşdyrýar. Onda

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0}\Delta r \, .$$

((3.12) we (3.13)) tolkunlaryň geçen ýollar tapawudy $\Delta r = \pm m\lambda_0 \quad (m = 0,1,2,3,...)$ bolsa, $\Delta\varphi = \pm 2m\pi$ bahalara eýe bolýar we interferensiýa zerarly ýagtylygyň depgininiň iň uly güýçlenmesi alynýar. Eger $\Delta r = \pm(2m+1)\frac{\lambda_0}{2}$ bolsa, onda $\Delta\varphi = \pm(2m+1)\pi$ bahalara eýe bolýar we interferensiýa zerarly ýagtylygyň depgininiň iň az gowşamasy alynýar. 1-nji we 2-nji tolkunlaryň geçen ýollarynyň tapawudyny (3.14-nji çyzgy) kesgitlemek üçin B nokatdan birinji tolkunyň ýaýraýan ugruna normal geçireli (BR), onda RP we BP ýollar özara deň we $\Delta r = AC + CB - AR$ bolar.

Ýöne 2-nji tolkun döwme görkezijisi **n** bolan ýorkanyň içinde ýaýraýanlygyna görä onuň optiki ýoly $n(AC + CB)$ bolar. Onda

$$\Delta r = n(AC + CB) - AR \, . \qquad (3.26)$$

ABR üçburçlukda burç $B = i$ diýsek, onda

$$AR = AB \sin i \, . \qquad (3.27)$$

ADC üçburçlukda burç $C = r$ diýsek, onda

$$AD = DCtgr, \qquad AB = 2AD = 2DCtgr = 2dtgr,$$

Onda
$$AR = 2d \cdot \sin i \cdot tgr. \qquad (3.28)$$

Ýene-de ADC üçburçlukdan

$$AC = \frac{DC}{\cos r} = \frac{d}{\cos r}; \; AC = CB; \; AC + CB = 2AC; \; 2AC = \frac{2d}{\cos r}. \qquad (3.29)$$

(3.27), (3.28) we (3.29) aňlatmalardan peýdalanyp, (3.26) aňlatmany aşakdaky ýaly, ýazarys:

$$\Delta r = \frac{2dn}{\cos r} - 2d\sin i \cdot tgr = \frac{2dn}{\cos r} - 2dn\sin r\frac{\sin r}{\cos r} = \frac{2dn}{\cos r}\left(1-\sin^2 r\right) = \frac{2dn}{\cos r}\cdot\cos^2 r = 2dn\cos r.$$

Bu deňligi i düşme burçunyň üsti bilen aňlatmak üçin $n = \frac{\sin i}{\sin r}$ aňlatmadan peýdalansak, onda

$$\Delta r = 2dn\cos r = 2dn\sqrt{\cos^2 r} = 2dn\sqrt{1-\sin^2 r} = 2dn\sqrt{1-\frac{\sin^2 i}{n^2}} = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i}. \qquad (3.30)$$

Bu aňlatmany gutarnykly görnüşe getirmek üçin ýene-de bir zady hasaba almaly: ýagtylyk tolkuny optiki dykyz gurşawdan serpigende fazasyny böküş arkaly π ululyga üýtgedýär. Bu bolsa $\frac{\lambda_0}{2}$ ululyga deň bolan ýoluň ýitirilmegine getirýär. Şony hasaba alyp, (3.30) aňlatmany şeýle ýazarys:

$$\Delta r = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda_0}{2}. \qquad (3.31)$$

Onda interferensiýa sebäpli ýagtylygyň iň uly depgininiň alynmak şerti

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda_0}{2} = m\lambda_0 \qquad (3.32)$$

bolar. **m** ululyk, iň uly depginli ýagtylygyň alynýan nokatlarynyň tertip belgisi, ol **m =**1,2,3,... bahalary alýar. Aşakdaky

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda_0}{2} = (2m+1)\lambda_0 \qquad (3.33)$$

deňlik iň az depginli interferensiýa zolaklarynyň alynmak şertidir.

Ýorkanyň içinden geçen $1'$-nji we $2'$-nji şöhleleriň geçen ýollarynyň tapawudy (3.30) aňlatma arkaly kesgitlenip bilner. Bu ýagdaýda $\frac{\lambda_0}{2}$ ululyk goşulmaýar, $1'$-nji we $2'$-nji tolkunlar dykyz gurşawdan serpikmeýär. Netijede ýorkanyň içinden geçen tolkunlaryň iň uly depginli interferensiýa zolaklaryny döretmek şerti:

$$2d\sqrt{n^2-\sin^2 i}=m\lambda_0; \qquad (3.34)$$

iň kiçi depginli interferensiýa zolaklaryny döretmek şerti:

$$2d\sqrt{n^2-\sin^2 i}=(2m+1)\frac{\lambda_0}{2}. \qquad (3.35)$$

Indi ýorkada bolýan interferensiýanyň iki sany möhüm ýagdaýyna seredeliň. (3.30) aňlatmadan görnüşi ýaly, şöhleleriň geçen ýollarynyň tapawudy şöhläniň düşme burçuna we ýorkanyň galyňlygyna bagly.

Düşme burçy i hemişelik bolup, ýorkanyň galyňlygynyň ýütgemegi sebäpli ýüze çykýan interferensiýa deňgalyňlygyň interferensiýasy diýilýär, interferensiýa şekile bolsa deňgalyňlygyň zolaklary diýilýär. Ýorkanyň galyňlygy **d** hemişelik bolup, şöhläniň düşme burçunyň üýtgedilmegi bilen ýüze çykýan interferensiýa deňýapgytlygyň interferensiýasy diýilýär. Interferensiýanyň bu görnüşlerine aýratynlykda seredip geçeliň.

1. Deňgalyňlygyň interferensiýasy

Ýorkanyň içinden geçen ýagtylygyň ýüze çykarýan interferensiýasyndan onuň üstünden serpigen ýagtylygyň ýüze çykarýan interferensiýasy has aýdyň görünýär. Şonuň üçin serpigen şöhleleriň interferensiýasyna serederis.

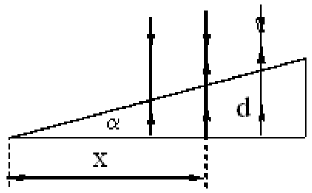
Ýönekeý ýagdaý hökmünde şöhläniň ýorka düşme burçunyň nola deň ($i=0$) ýagdaýyna seredeliň. Bu ýagdaýda iň uly depginli interferensiýa zolaklarynyň ýüze çykma şerti

$$2d=\left(m-\frac{1}{2}\right)\lambda_0 \qquad (3.36)$$

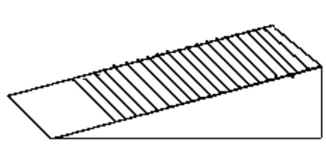
bolar. **d** galyňlyga eýe bolan ähli ýerlerde ***m*** -iň berlen bahasy üçin iň uly depginli interferensiýa zolagy ýüze çykýar. Dürli tolkun uzynlykly ýagtylyklar üçin iň uly depginli interferensiýa zolagynyň dürli galyňlyklarda bolýandygy sebäpli, ýorkanyň üstüniň dürli ýerleriniň reňki hem dürli bolýar. Bu hadysa ýuka ýorkanyň reňki hem diýilýär. Bu hadysany suwuň üstündäki ýag meneginde, suwuň üstündäki nebit gatlagynda, sabyn köpürjiginde we ş.m. görmek bolýar.

Deň galyňlygyň interferensiýasyna, pahna görnüşli dury maddada hem syn etmek mümkin. Pahnanyň ýokarky we aşaky üstlerinden serpikdirilen ýagtylyk tolkunlary interferensiýany döredýärler. Pahnanyň $\Delta r = \pm m\lambda_0$ şert ýerine ýetýän galyňlyklarynyň üstünde ýagty zolaklar emele gelýär. $\Delta r = \pm(2m+1)\frac{\lambda_0}{2}$ şert ýerine ýetýän galyňlyklarynyň üstünde garaňky zolaklar emele gelýär. Eger pahnanyň üstüne ak ýagtylyk düşse, onda onuň üstünde reňkli zolaklar görünýär.

Goý, burçy α we döwme görkezijisi ***n*** bolan pahnanyň üstüne monohromatik ýagtylyk şöhlesi normal boýunça düşýän bolsun (3.15-nji çyzgy). (pahnanyň α burçunyň örän kiçiligi sebäpli çyzgynyň görkezilen ýagdaýynda-da ýagtylyk perpendikulýar düşýär diýip kabul etmek bolýar.) Pahnanyň **d** galyňlygy üçin tolkunlaryň (ýokarky we aşaky üstlerden serpigen) ýollarynyň tapawudy (3.6) deňlik boýunça:



3.15-nji çyzgy


3.16-nji çyzgy

$$2dn = \left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda_0$$ bolar.

3.15-nji çyzgydan $\frac{d}{x} = tg\alpha$ onda $2nxtg\alpha = \left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda_0$. Alnan aňlatmany ***x*** we ***m*** boýunça differensirläp alarys: $2ntg\alpha\Delta x = \lambda_0\Delta m$ $\Delta m = 1$ (ýanaşyk ýerleşen iň uly depginli interferensiýa zolaklaryň tertip belgileriniň tapawudy) diýip, ýanaşyk zolaklaryň (iň uly ýa-da iň kiçi interferensiýa zolaklarynyň) aralygy (Δx) üçin aşaky aňlatmany alarys:

$$\Delta x = \frac{\lambda_0}{2ntg\alpha}. \qquad (3.37)$$

α burçuň kiçi bahalarynda $tg\alpha \approx \alpha$ diýip alarys:

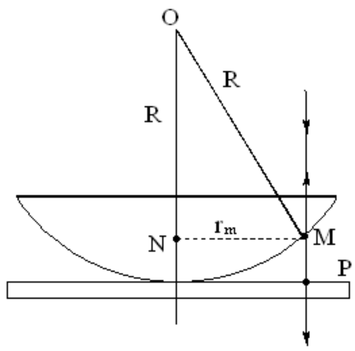
$$\Delta x = \frac{\lambda_0}{2n\alpha}. \qquad (3.38)$$

Iki sany tekiz ýuka aýna gatlagynyň arasynda döredilen, üýtgeýän galyňlykly howa gatlagynda hem, şeýle interferensiýa syn etmek mümkin. Pahnadaky interferensiýa şekil 3.16-njy çyzgydaky ýaly bolýar.

Interferensiýasynyň ýene-de bir görnüşi Nýutonyň halkalary diýen at bilen bellidir. Bu interferensiýa, tekiz ýuka aýnanyň üstüne tekiz güberçek linzanyň güberçek üstüni goýmak bilen alynýar (3.17-njy çyzgy). Linza bilen tekiz ýuka aýnanyň arasynda howa pahnasy emele gelýär. Nýutonyň halkalary monohromatik ýagtylykda ýagty we garaňky konsentrik töwerekler (halkalar) görnüşinde ýüze çykýar. Halkalaryň merkezi linzanyň aýna bilen galtaşýan nokadynda ýerleşýär.

Goý, howa gatlagynyň M nokadyna λ_0 tolkun uzynlykly monohromatik ýagtylyk şöhlesi normal boýunça düşýän bolsun. Bu şöhläniň bir bölegi M nokatda howa gatlagynyň ýokarky üstüne serpiger,

galan bölegi howa gatlagynyň P nokadyna düşer. Bu şöhläniň hem bir bölegi serpigip, galany aýna geçýär. Şeýlelikde M we P nokatlardan serpigen ýagtylyk tolkunlary goşulanda interferensiýa ýüze çykýar. M we P nokatlaryndan serpigen şöhleleriň goşulýança geçen ýollarynyň tapawudy



3.17-nji çyzgy

$$\Delta r = 2d + \frac{\lambda_0}{2}. \qquad (3.39)$$

Bu ýerde $d=MP$ - howa gatlagynyň galyňlygy. Indi linzanyň egrilik radiusy R, howa gatlagynyň galyňlygy **d** we linzanyň galtaşma nokadyna inderilen perpendikulýardan **M** nokada çenli aralyk r_m ululyklaryň özara baglanyşygyny tapalyň. Onuň üçin **ONM** üçburçlukdan peýdalanarys (3.17-njy çyzgy).

$r_m^2 = R^2 - (R-d)^2$; $r_m^2 = R^2 - R^2 + 2Rd - d^2$ $2Rd >> d^2$ diýip hasap edip, d^2-y taşlasak,

onda $$r_m^2 = 2Rd. \qquad (3.40)$$

Tolkunlaryň geçen ýollarynyň tapawudyna iň uly depginli interferensiýa zolagynyň ýüze çykma şertini ulanyp alarys: $2d + \frac{\lambda_0}{2} = m\lambda_0$ bu ýerden

$$d = \left(m - \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda_0}{2}. \qquad (3.41)$$

d-iň şu bahalarynda iň uly depginli interferensiýa zolaklary ýüze çykýar. d galyňlyk linzanyň merkezindan r_m aralykda ýerleşýändigine görä linzanyň ýokarsyndan seretseň r_m radiusly ýagty halka görünýär. (3.40) we (3.41) aňlatmalardan *m*-nji ýagty halkanyň radiusy üçin aňlatmany alarys:

$$r_m = \sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right)R\lambda_0}. \qquad (3.42)$$

(3.39) deňlikde iň kiçi depginli interferensiýa zolaklaryň ýüze çykma şertini ulanyp alarys: $2d + \frac{\lambda_0}{2} = (2m+1)\frac{\lambda_0}{2}$. Bu ýerden: $d = m\frac{\lambda_0}{2}$.

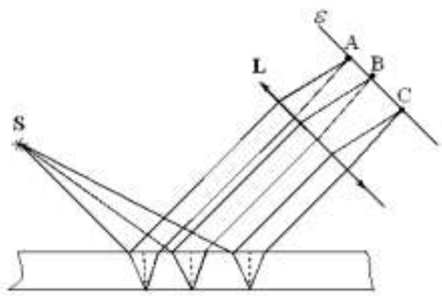
Bu ululygy (3.40) aňlatmada ornuna goýup, garaňky halkalaryň radiusy üçin aşakadaky aňlatmany alarys:

$$r_m = \sqrt{mR\lambda_0}. \qquad (3.43)$$

Serpigen ýagtylykda ýüze çykýan halkalar ulgamynyň merkezinde gara menek emele gelýär. Bu gurnamada içinden geçýän ýagtylyk hem interferensiýany ýüze çykarýar. Muňa içinden geçen ýagtylygyň interferensiýasy diýilýär. Içinden geçen ýagtylygyň döredýän ýagty halkalary serpigen ýagtylygyň döredýän garaňky halkalaryna gabat gelýär. Şonuň üçin hem içinden geçen ýagtylykda ýagty halkalaryň radiusy (3.43) aňlatma arkaly, garaňky halkalaryň radiusy (3.42) aňlatma arkaly kesgitlenilýär. Aňlatmadaky *m*-halkalaryň tertip belgisini aňladýar.

2. Deňýapgytlaryň interferensiýasy

Has ýokary takyklykdaky tekiz parallel ýorkada interferensiýa zolaklaryň ýagdaýy, diňe şöhläniň üste düşme burçuna bagly bolýar. Goý nokatlanç monohromatik çeşmeden ýagtylyk şöhleleri dürli burçlar bilen tekiz parallel ýorkanyň üstüne düşýän bolsun. (3.18-nji çyzgy). Ýorkanyň üstüne belli bir burç bilen düşen şöhle ýorkanyň ýokarky we aşaky üstlerinden serpigip



3.18-nji çyzgy

özara parallel ugurlar boýunça ýaýraýarlar.

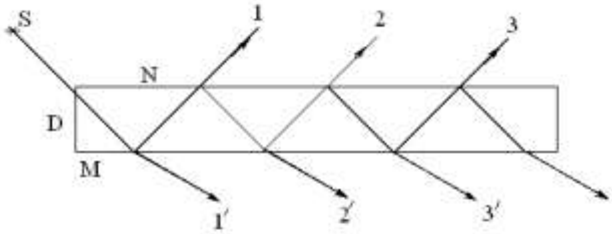
Eger-de ýorkadan serpigen şöhleleriň ýaýraýan ugrunda ýygnaýjy linza we linzanyň fokal tekizliginde ekran ýerleşdirilse, özara parallel şöhleler ekranyň käbir nokadynda bir-biriniň üstüne düşüp interferensiýany ýüze çykarar. 3.18-nji çyzgyda dürli burç bilen ýorka düşýan üç sany şöhläniň ektanyň A, B, C nokatlarynda interferensiýa ýüze çykmagy şekillendirilen. Eger bu nokatlarda goşulýan jübüt şöhleleriň geçen ýollarynyň tapawudy $\Delta r = \pm m\lambda_0$ şerti kanagatlandyrýan bolsa, onda A, B, C nokatlarda iň uly depginli interferensiýa zolaklary ýüze çykýar.

ýollaryň tapawudy: $\Delta r = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda_0}{2}$ ýagny **d** galeňlyga eýe bolanda, diňe i düşme burçuna bagly üýtgeýär.

3.5. Köpşöhleli interferensiýa

Şu mahala çenli ýagtylygy serpikdirme koeffisienti kiçi bolan ýorkalarda (maddalarda) bolýan interferensiýa seretdik. Beýle ýorkalarda ýagtylyk bir-iki gezek serpigenden soň depgini has gowşaýar. Şonuň üçin beýle interferensiýa iki şöhleli interferensiýa diýilýär. Emma iki şöhleli interferensiýadan tapawutlylykda köpşöhleli interferensiýa hem bar.

Köpşöhleli interferensiýa üstleriň ýagtylygy serpikdirme koeffisienti has uly bolan ýorkalarda ýüze çykýar. Bu ýagdaýda ýorkanyň ýokarky we aşaky üstlerinde şöhläniň köp gezek serpikmesi bolýar. Serpikgen ýa-da içinden geçen köp şöhleleriň ýüze çykarýan interferensiýasyna köpşöhleli interferensiýa diýilýär. Dury maddanyň ýuka gatlagynda köp gezek serpikme iki ýagdaýda bolmagy mümkin:

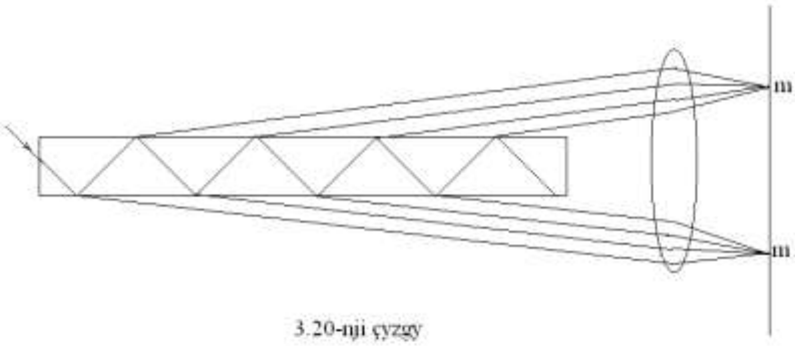


3.19-njy çyzgy

1) Maddanyň ýuka gatlagynyň içinde ýaýraýan şöhläniň onuň ýokarky we aşaky üstlerine düşme burçy, doly içki serpikme burçunyň çäk ululygyna golaý bolmaly.

3.19-nji çyzgyda **S** nokatlanç çeşmeden ýuka tekizparallel dury madda (**D**) düşen şöhle onuň ýokarky (**N**) we aşaky (**M**) üstlerinden köp gezek serpigip, interferensiýany döretmek mümkinçiligi bolan 1,2,3,... we $1',2',3',...$ şöhlelere bölünýär. Şöhläniň düşme burçy $i \approx i_{\text{çäk}}$ bolan ýuka tekizparallel dury maddalara Lýummeriň-Gerkäniň gatlagy diýilýär. Köp şöhleli interferensiýany almak üçin şöhleleriň ýaýraýan ugrunda ýygnaýjy linza we ekran ýerleşdirilýär.

2) Maddanyň şöhläni serpikdirýän üstlerine, serpikdirme koeffisiýenti uly bolan gatlak örtülýär. Netijede özara parallel ýerleşdirilen bu üstleriň arasynda şöhle köp



3.20-nji çyzgy

gezek serpikdirilýär we her gezek serpikdirilende azajyk mukdary daşyna çykýar. Fabriniň-Peronyň interferometri şu usulyň esasynda işleýär. 3.20-nji çyzgyda Lýummeriň-Gerkäniň gatlagynda köp şöhleli interferensiýanyň alnyşy şekillendirilen.

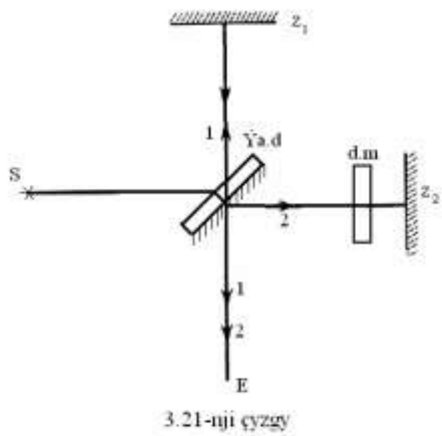
3.6. Interferensiýanyň ulanylyşy

Interferensiýa netijesinde emele gelýän şekil, bir-biriniň üstüne düşüp, interferensiýany ýüze çykarýan tolkunlaryň ýollarynyň tapawudynyň ujypsyzja üýtgemesine-de duýgurdyr. Goşulýan tolkunlaryň ýollarynyň tapawudy, ýagtylygyň tolkun uzynlygynyň ülüşine deň bolan ululyga üýtgände-de interferensiýa şekil düýpli üýtgeýär.

Interferensiýa hadysasynyň esasynda işleýän dürli görnüşli gurnamalara interferometrler diýilýär. Bu gurnamalar fiziki derňewleri we tehniki ölçegler geçirmek üçin ylmyň-tehnikanyň dürli pudaklarynda giňden peýdalanylýar. Interferometrleriň köpüsi iki şöhleli düzgünde işleýär: ýagny nokatlanç çeşmeden çykýan şöhle ikä bölünýär, soňra olar täzeden goşulýar. Şöhleleriň biriniň ýolunda derňelýän madda ýerleşdirilýär. Maddanyň içinden geçen şöhläniň ýoly beýleki şöhläniň ýolundan tapawutlanýar, netijede iki şöhläniň ýollarynyň tapawudy emele gelýär. Bu bolsa interferensiýa zolaklarynyň süýşmegine getirýär. Süýşmäniň ululygy boýunça derňelýän maddanyň häsiýetleri (galyňlygynyň takyk ölçegi, döwme görkezijisi we başgalar) kesgitlenilýär. Iki şöhleli interferometre mysal hökmünde Maýkelsonyň interferomtrine seredip geçeliň. (3.21-nji çyzgy)

Bu interferometr Z_1 we Z_2 ýagtylygy doly serpikdiriji aýnalardan, ýagtylyk şöhlesini ikä bölýän ýarymdury (bir üstüne ýagtylygy serpikdiriji gatlak çaýylan) ("Ýa.d") aýnadan, şöhleleriň geçýän ýollaryny deňleşdiriji (d.m) aýnadan ybarat.

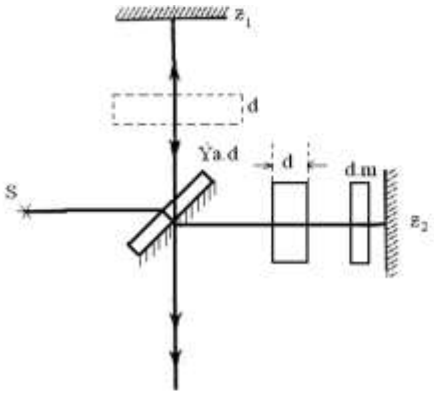
S ýagtylyk çeşmesinden çykýan şöhle "Ýa.d" aýnada ikä bölünýär, onuň bir bölegi (1-nji şöhle) Z_1 aýna gönükýär, galan bölegi (2-nji şöhle) ýarymdury aýnadan geçip, Z_2 aýna gönükýär. 1-nji şöhle Z_1 aýnadan serpigip, ýarymdury maddadan geçip, E nokada tarap ýaýraýar. 2-nji şöhle Z_2 aýnadan serpigip, ýarymdury aýna düşýär, ondan hem serpigip, E nokada tarap ýaýraýar. 1-nji we 2-nji şöhleleriň geçen ýollaryny deňeşdirmek üçin 2-nji şöhläniň ýolunda "d.m" deňleşdiriji aýna gatlagy ýerleşdirilýär. Interferensiýa okulýar arkaly gözegçilik edilýär. Interferensiýa şekili dik ýerleşen ýagty-garaňky zolaklar görnüşinde bolýar. Interferometr işe girizilmeli pursatynda, merkezi, iň uly depginli interferensiýa zolagy onuň görkezijisiniň nolunjy çyzygynyň üstünde ýerleşýär.



3.21-nji çyzgy

Maýkelsonyň interferometrinde maddanyň döwme görkezijisiniň kesgitlenişiniň mysalyna seredeliň. Onuň üçin derňelýän maddanyň **d** galyňlykdaky tekizparallel bölegini interferometriň ikä bölünen şöhleleriniň biriniň ýaýraýan ugruna perpendikulýar ýerleşdirmeli. (3.22-nji çyzgy) Netijede, merkezi iň uly interferensiýa görkezijisiniň nolunjy çyzygyndan käbir ululyga süýşýär. Şeýlelikde, şöhleleriň biriniň ýolunda ýerleşdirilen madda, bu şöhläniň optiki ýoluny λ ululyga üýtgetse, onda interferensiýa zolaklary bir zolagyň inine deň bolan ululyga süýşer. Eger optiki ýol $m\lambda$ ululyga üýtgese, interferensiýa zolaklary hem m zolagyň inine süýşer.

d galyňlykly maddanyň içinden geçen şöhläniň optiki ýoly $n \cdot d$ bolar. Interferometriň beýleki egnindäki şöhle **d** ýoly päsgelçiliksiz (döwülme görkezijisi $n \approx 1$ bolan howadan geçýär) geçýär, şoňa görä onuň optiki ýoly **d** bolýar. Bu interferometrde şöhle derňelýän maddanyň içinden iki gezek geçýär, şonuň üçin iki egindäki şöhleleriň optiki ýollarynyň tapawudy:



3.22-nji çyzgy

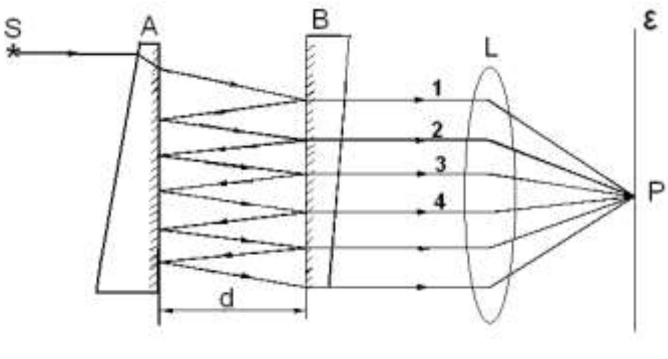
$$\Delta r = 2nd - 2d + 2d(n-1).$$

Eger $\Delta r = m\lambda$ bolsa, onda $2d(n-1) = m\lambda$. Bu ýerden

$$n = 1 + \frac{m\lambda}{2d} \ . \qquad (3.44)$$

Maýkelsonyň interferometrinden başga-da iki şöhleli interferometrlere mysal edip Jameniň, Tuaýmeniň, Linnigiň interferometrlerini, Releýiň pefraktometrini görkezmek bolýar.

Köp şöhleli interferometre mysal hökmünde Fabriniň-Peronyň interferometrine seredeliň. Onuň gurluşy we ýagtylyk şöhlesiniň ýoly 3.23-nji çyzgydaky ýalydyr.



3.23-nji çyzgy

Çyzgydan görnüşi ýaly Fabriniň-Peronyň interferometri bir-birinden kesgitli aralykda özara takyk parallellikde ýerleşdirilen iki sany (**A** we **B**) tekizparallel ýuka aýna (ýa-da kwars) gatlagyndan ybarat. Bu aýnalaryň içki (bir-birine garşylykly duran taraplary) üstleri ýagtylygy serpikdirme koeffisiýenti $0{,}9 \div 0{,}95$ bolan we ýagtylyk üçin ýarymdury ýuka kümüş gatlagy bilen örtülen. **S** çeşmeden monohromatik ýagtylyk şöhleleri interferometre düşüp, howa gatlagy bilen doldurylan aýnalaryň arasynda köp gezek serpikmä sezewar bolýar. Çyzgyda i burç bilen düşýän bir sany şöhle görkezilen. **B** aýnadan geçen özara parallel 1,2,3,... we ş.m. şöhleler **L** linzanyň fokal tekizliginde ýerleşen ε ekranda jemlenýär. **B** aýnadan geçen 1,2,3,... şöhleleriň depgini olaryň tertip sanynyň artdygyça gowşaýar. Ýanaşyk ýerleşen iki şöhläniň ekrana çenli geçen ýollarynyň tapawudy

$\Delta r = 2dn\cos i + \lambda$ bolýar.

Bu ýerde **d**-howa gatlagynyň galyňlygy; **n**-howanyň absolýut döwme görkezijisi; λ-ýagtylygyň tolkun uzynlygy. (aňlatmanyň sag tarapyndaky ikinji goşulyjy bir şöhläniň iki gezek serpikmesindäki goşmaça ýoluny hasaba alýar) Bu aňlatmany şöhleleriň faza tapawudynyň üsti bilen aňlatsak: $\Delta\varphi_0 = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta r = \frac{4\pi dn\cos i}{\lambda} + 2\pi$.

Goşulýan tolkunlaryň fazasynyň 2π-e tapawutlanmagy netijeleýji interferensiýa täsir etmeýär. Şonuň üçin soňky aňlatmadaky 2π goşulyjyny hasaba almazlyk mümkin. Onda

$$\Delta\varphi_0 = \frac{4\pi dn}{\lambda}\cos i\,.$$

Fabriniň-Peronyň interferometri deňýapgytlygyň interferensiýasyny ýüze çykaryp, konsentrik halkalar görnüşli şekili döredýär we ýagtylandyryşyň iň uly güýçlenmesi aşakdaky şerti kanagatlandyrýar:

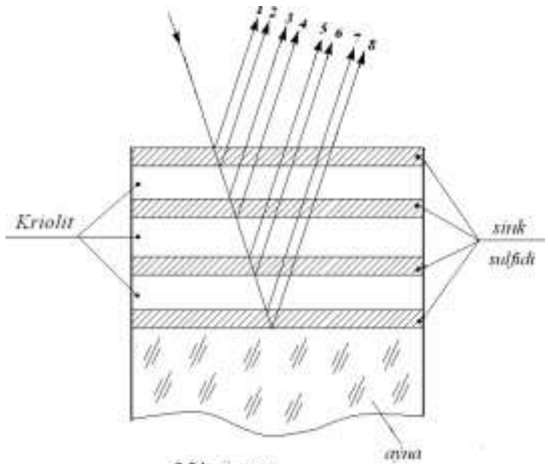
$$\Delta\varphi_0 = \frac{4\pi dn}{\lambda}\cos i = 2\pi\lambda \text{ ya-da } \quad 2dn\cos i = m\lambda\,.\ (m = 0,1,2,...)$$

Başgaça aýdanymyzda ekranyň gözegçilik edilýän P nokadynda bir-biriniň üstüne düşüp, interferensiýany ýüze çykarýan ähli tolkunlar “şol bir fazada” bolýarlar. Bu bolsa interferensiýanyň has anyk ýüze çykmagyna ýardam edýär.

Şeýlelikde interferometrleriň kömegi bilen ýagtylygyň tolkun uzynlygyny, maddalaryň döwme görkezijilerini, ýuka ýorkanyň galyňlygyny uly takyklyk bilen kesgitlemek mümkin. Mundan başga-da, linzalaryň üstüniň ýylmanaklyk derejesini, olaryň egrilik radiusynyň ujypsyzja üýtgemesini, optikada peýdalanylýan dürli maddalaryň ölçegleriniň ujypsyzja üýtgemesini we ş.m.-leri uly takyklykda kesgitlemekde örän ähmiýetli enjamdyr.

3.7. Interferensiýadan peýdalanyp ýagtylygyň maddalarda serpikmesini köpeltmek we azaltmak

Adaty dury maddalar, üstüne düşýän ýagtylygyň $0{,}05 \div 0{,}1$ bölegini serpikdirýär. Şoňa görä köp enjamly (aýna, prizma, linza) abzallarda serpikdirilýän ýagtylygyň mukdary düşýän ýagtylygyň $0{,}8 \div 0{,}9$ bölegine ýetmegi mümkin. Bu zyýanly ýitgini azaltmak üçin aýnanyň (ýa-da beýleki enjamlara) döwme görkezijisi kiçi bolan ýuka gatlak örtülýär (çaýylýar). Eger örtügiň optiki galyňlygy $d \cdot n' = \dfrac{\lambda}{4}$ bolsa, onda onuň ýokarky we aşaky üstlerinden serpikdirilen ýagtylyk tolkunlarynyň ýollarynyň tapawudy $\Delta r = \dfrac{\lambda}{2}$



3.24-nji çyzgy

bolar. Netijede ters fazada goşulýan tolkunlar bir-birini söndürýär we aýnadan geçýän ýagtylyk köpelýär. Optiki ulgamlaryň üstüne çaýylan maddanyň n' döwme görkezijisi aşakdaky ýaly saýlanylyp alynýar: $n' \approx \sqrt{n}$.

Bu ýerde n optiki enjamyň (aýnanyň, linzanyň, prizmanyň we ş.m.) döwme görkezijisi. Ýagtylygyň ýitgisini azaltmagyň bu usulyna optikany ýagtyltmak diýilýär we optiki senagatda giňden ulanylýar.

Ýagtylygyň serpikdirilmesini azaltmak bilen bir hatarda onuň serpikdirilmesini köpeltmek hem esasy meseleleriň biridir. Bu meseleleriň çözülişi köpşöhleli interferensiýanyň esasynda alynýar.

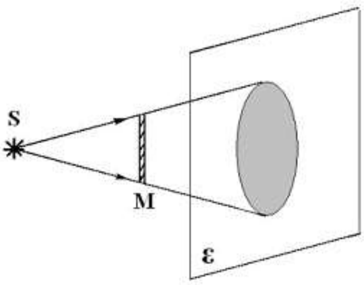
Köpşöhleli interferensiýany almak üçin aýnanyň üstüni uly döwme görkezijili we kiçi döwme görkezijili madda bilen gezekleşdirip birnäçe gezek örtýärler. Mysal hökmünde 3.24-nji çyzgyda şekillendirilen galyňlygy $\dfrac{\lambda}{4}$ bolan ýorkalar bilen birnäçe gezek örtülen ulgama seredeliň. Aýnanyň üstüne ilki döwme görkezijisi $n_1 = 2,3$ bolan sink sulfidiniň (**ZnS**) ýorkasy örtülýär, soňra döwme görkezijisi $n_2 = 1,32$ bolan korolit ($N_{a3}AlF_6$) ýorkasy örtülýär... . Ulgama düşýän şöhle gatlaklarynyň araçägiňde serpigip, "şol bir fazada" bolýan 1,2,3,... şöhleleriň döremegine getirýär. Bu şöhleler goşulyp köpşöhleli interferensiýany ýüze çykarýarlar. Netijede serpikdirilen ýagtylygyň depgini güýçlenip içinden geçýän ýagtylygyň depgini azalýar. Gatlaklaryň sanynyň artmagy bilen ulgamyň ýagtylygy serpikdirme koeffisiýenti artýar. Ýedi ýorkadan ybarat bolan ulgamyň ýagtylygy geçirme koeffisiýenti 3.5%, siňdirme koeffisiýenti 0,5%-den kiçi bolanda serpikme koeffisiýenti 96%-e ýetýär. Eger gatlaklaryň sany 11-e çenli artdyrylsa onda serpikdirme 100%-e ýakynlaşýar. Häzirki döwürde köpşöhleli interferensiýa esaslanan ýagtylygy serpikdirijiler lazer tehnikasynda ýokary hillilige eýe bolan optiki rezonatorlary döretmekde öz ornuny tapdy. Mundan başga-da, bular ýokary monohromatiklige eýe bolan ýagtylyk süzgüçlerini döretmekde giňden peýdelanylýar.

Dördünji bap

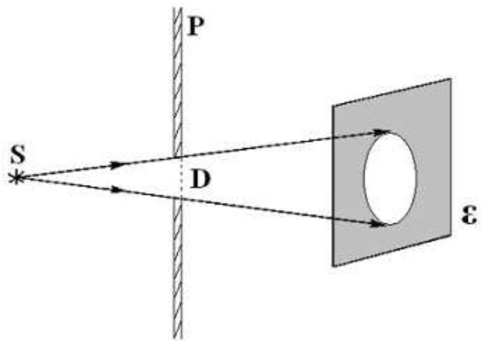
Ýagtylygyň difraksiýasy

4.1 Gýugensiň-Freneliň düzgüni. Freneliň zolaklary. Ýagtylynyň gönüçyzykly ýaýramasynyň tolkun nazarýetiniň esasynda düşündirilişi

Ýagtylygyň gönüçyzykly ýaýrama kanuny gadym eýýämlardan bellidir. Nýutonyň teklip eden taglymatyna görä ýagtylyk – gönüçyzykly hereketlenýän ýagtylyk bölejikleriniň (korpuskalarynyň) akymydyr. Ýagtylygyň gönüçyzykly ýaýramasyny subut edýän hadysalaryň biri – nokatlanç ýagtylyk çeşmesinden çykýan şöhleleriň ýaýraýan ugrunda ýerleşdirilen jisimiň kölegesiniň şol jisimiň görnüşine meňzeş bolmagydyr. Hakykatdan-da ***S*** nokatlanç çeşmeden çykýan şöhleleriň ýaýraýan ugrunda ýerleşdirilen tegelek dury däl ***M*** päsgelçiligiň kölegesi (4.1-nji çyzgy) ekranda tegelek görnüşli bolýar.



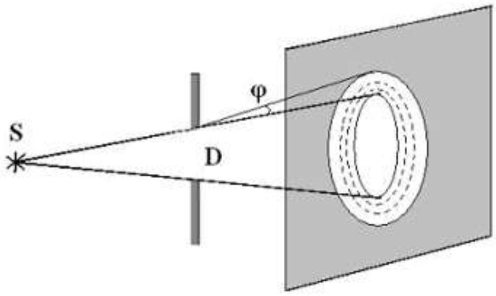
4.1-nji çyzgy



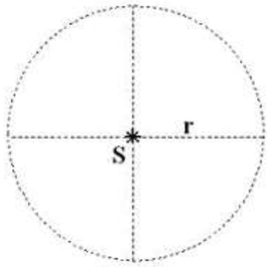
4.2-nji çyzgy

Kölegäniň ekrandaky çägi ***M*** tegelek jisimiň gyrasyna galtaşyp geçýän şöhle bilen emele getirilýär. Eger şöhleleriň ýaýraýan ugrunda ***D*** diametrli tegelek deşikli ***P*** päsgelçilik ýerleşdirilse (4.2-nji çyzgy), ekranda tegelek ýagty menek alynýar.

Tegelek deşigiň diametri uly bolsa $(D >> \lambda)$ ($\lambda -$ýagtylygyň tolkun uzynlygy) onda ýagty menek bilen kölegäniň araçägi anyk bolar. Goý päsgelçilikdäki deşigiň diametrini üýtgedip bolýan bolsun. Eger deşigiň diametri yzygider kiçeldilse ε ekrandaky ýagty menegiň hem kiçeljekdigi şübhesizdir. Emma deşigiň diametri käbir kiçi ululyga ýetende, geometrik kölegäniň çäginde garaňky halkalar ýüze çykyp başlaýar. Deşigiň mundan beýläk kiçeldilmegi, geometrik kölege çäginde gezekleşýän garaňky-ýagty halkalaryň sanynyň artmagyna getirýär. (4.3-nji çyzgy)



4.3-nji çyzgy



4.4-nji çyzgy

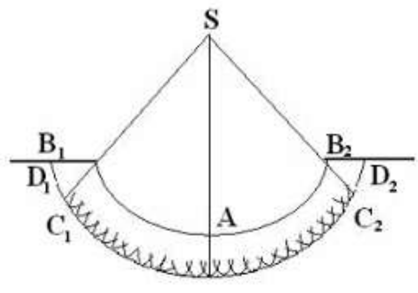
Geometriki kölegäniň çäginde ýagty halkalaryň emele gelmegi, deşigiň gyrasyndan ýagtylygyň sowulyp geçýändigini, ýagny ýagtylygyň gönüçyzykly ýaýrama kanunynyň bozulýandygyny aňladýar. Ýagtylygyň göni çyzykly ýaýrama kanunynyň bozulmagyna **ýagtylygyň difraksiýasy** diýilýär. 4.3-nji çyzgyda geometriki kölegäniň çägindäki emele gelýän ahyrky ýagty halkany, gönüçyzykly ýaýramadan φ-burça gyşaran şöhleler ýüze çykarýar. φ-burça difraksiýa burçy diýilýär. Difraksiýa burçy $\varphi \sim \frac{\lambda}{D}$ gatnaşykdan kesgitlenilýär. Bu ýerde ***D*** deşigiň diýametri. ***D***-niň ulalmagy φ-niň kiçelmegine getirýär. Eger $(D >> \lambda)$ ($\lambda -$ ýagtylygyň tolkun uzynlygy) bolsa, onda $\varphi \to 0$ bolýar we difraksiýa ýüze çykmaýar.

Goý, birhilli gurşawda nokatlanç ýagtylyk çeşmesi ýerleşen bolsun. Onda ýagtylygyň gurşawyň hemme ugry boýunça ýaýrama tizligi bir deň bolar we käbir wagt dowamynda geçen ***r*** ýoly ähli ugurlar boýunça özara deň bolar. Bu ýollaryň uçlaryny birleşdirseň ***r*** radiusly sferik üst alynar. Bu üste ýagtylyk fronty diýilýär. (4.4-nji çyzgy)

Ýagtylyk şöhlesiniň ýaýraýan ugry elmydama ýagtylyk frontuna perpendikulýardyr.

Ýagtylygyň difraksiýa hadysasyny düşündirmek boýunça Gýugensiň düzgünine seredeliň. Gýugens ýagtylyk tolkunlarynyň ýaýraýşyna, ses tolkunlarynyň ýaýraýşyna meňzeşlikde seredýär. Mälim boluşy ýaly ses gurşawyň bölejikleriniň yrgyldamasy netijesinde ýaýraýar. Gýugensiň pikirine görä ýagtylyk giňişligi dolduryp duran özboluşly gurşawda-efirde ýaýraýan bolmaly.

Şeýle nukdaýnazardan seredilende, efiriň bölejikleriniň yrgyldyly hereketi, diňe ýagtylyk şöhlesiniň ýaýraýan ugrunda, ýagny **S** çeşme bilen *A* nokady birleşdirýän (4.5-nji çyzgy) gönüniň ugrunda ýerleşen bölejiklere berilmän, eýsem A nokada ýanaşyk ýerleşen bölejiklere-de berilýär.



4.5-nji çyzgy

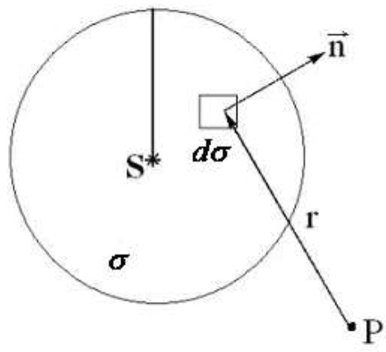
Şeýlelikde ýagtylyk tolkunlary A nokatdan hemme taraplara ýaýran ýaly ýaýraýar. Tolkun frontunyň üstünde ýerleşen ähli bölejikler bir fazada yrgyldaýarlar. Diýmek, deşige ýeten ilkinji B_1B_2 frontyň üstünde ýerleşen nokatlar bir fazada, yrgyldap ikilenji (elementar) tolkun çeşmelerine öwrülýärler. Elementar tolkunlaryň üsti boýunça çirilen (galtaşýan) çyzyk deşikden geçen ýagtylygyň tolkun frontudyr. Eger ýagtylyk gönüçyzykly ýaýraýan bolsa, onda front C_1C_2 nokatlar bilen çäklenmeli. Emma çyzgydan görnüşi ýaly tolkun fronty C_1D_1 we C_2D_2 nokatlaryň arasynda-da bolýar. Diýmek, ýagtylyk şöhleleri frontyň C_1D_1 we C_2D_2 aralyklaryna hem perpendikulýar ugur boýunça ýaýraýandyr. Netijede ýagtylygyň göni çyzykly ýaýrama kanuny bozulýar.

Gýugensiň düzgüni difraksiýa hadysasyny düşündirýän hem bolsa, difraksiýa zerarly interferensiýaýň ýüze çykmasyny düşündirip bilmeýär. Gýugensiň düzgüni Frenel tarapyndan ösdürildi. Freneliň pikirine görä, elementar (ikilenji) tolkunlar bir-biriniň üstüne düşüp, goşulmagy netijesinde interferensiýa ýüze çykýan bolmaly.

Freneliň düşündirişine aşakdaky mysalda seredeliň. *S* ýagtylyk çeşmesinden ýaýraýan şöhleleriň käbir *R* radiusly sfera bilen çäklenen σ üstüni tolkun fronty diýip kabul edeliň. σ üsti $d\sigma$ kiçi böleklere bölüp, olary (ikilenji) tolkun çeşmeleri diýip hasap edeliň. Onda giňişligiň käbir *P* nokadynda (4.6-njy çyzgy) tolkun frontynyň $d\sigma_i$ bölegi aşakdaky ýaly yrdyldyny oýandyrar:

$$dE_i = E_{0i}\cos(\omega t - kr - \varphi_0).$$

Bu ýerde E_{0i} $d\sigma_i$ üstden ýaýraýan tolkunlaryň P nokatda döredýän yrgyldylarynyň amplitudasy; φ_0-başlangyç fazasy; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$-tolkun sany; **r** -$d\sigma_i$ üstden P nokada çenli aralygyň uzynlygy.



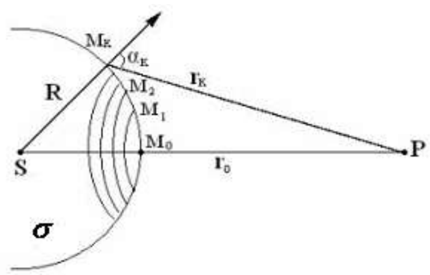
4.6-njy çyzgy

Ähli $d\sigma_i$ bölekleriň P nokatda döredýän jemleýji yrgyldysy σ üst boýunça alnan integral arkaly kesgitlenilip, yrgyldylaryň goşulmasyna (superpozisiýasyna) deňdir:

$$E = \int_{\sigma} E_{oi}\cos(\omega t - kr - \varphi_0)d\sigma_i .$$

Bu aňlatma Gýuýgensiň – Freneliň düzgüniniň analitiki görnüşidir.

Bu aňlatmadan peýdalanyp difraksiýa syn edýän ekranyň dürli nokatlarynda ýagtylygyň amplitudasyny kesgitlemek ýeňil däl. Şoňa görä Frenel ýagtylyk frontuny zolaklara bölýär. Zolaklaryň giňligi – iki sany ýanaşyk ýerleşen zolakdan difraksiýa syn edilýän nokada (ekrandaky difraksiýa şekiliň käbir nokadyna) barýan ýagtylyk tolkunlary, fazasy boýunça π ululyga ýagny, $\frac{\lambda}{2}$ ýola tapawutlanar ýaly bolmaly. Bu zolaklara Freneliň zolaklary diýilýär (4.7-nji çyzgy).



4.7-nji çyzgy

Ähli zolaklardan ýagtylyk tolkunlary özara deň başlangyç fazalarda ýaýrap başlaýarlar. ***P*** nokatda bu tolkunlar bir-biriniň üstüne düşüp goşulýarlar. Emma dürli zolaklaryň ***P*** nokatda oýandyrýan yrgyldylarynyň fazasy we amplitudasy dürli bolmak bilen, zolagyň meýdany ($d\sigma_k$), zolakdan syn edilýän P nokada çenli aralyga r_k we zolagyň üstüne geçirilen normal bilen $\vec{r}_k$ wektoryň arasyndaky burça (α_k) bagly bolýar. ***S*** ýagtylyk çeşmesi monohromatik çeşme (λ=hemişelik) bolsa, onda ýokarda belleýşimiz ýaly

$$r_1 - r_0 = r_2 - r_1 = r_3 - r_2 = ... = r_k - r_{k-1} = \frac{\lambda}{2}. \qquad (4.1)$$

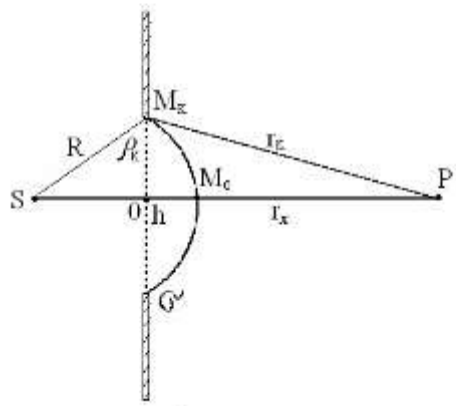
Bu ýerden

$$r_k - r_0 = k\frac{\lambda}{2} \qquad \text{ýa-da} \qquad r_k = r_0 + k\frac{\lambda}{2}. \qquad (4.2)$$

Ýanaşyk zolaklaryň tolkunlarynyň ***P*** nokatda oýandyrýan yrgyldylary bir-birine ters fazada bolýandygyna görä oýandyrylan yrgyldylaryň jemleýji amplitudasy

$$E_0 = E_1 - E_2 + E_3 - E_4 + ... + E_{0k-1} - E_{0k} \qquad (4.3)$$

görnüşde hasaplanylýar.



4.8-nji çyzgy

P nokatda oýandyrylýan yrgyldynyň amplitudasy zolagyň meýdanyna ($d\sigma$) baglydyr. Ýöne ähli zolaklaryň meýdanlary özara deňdir, ýagny $d\sigma_1 = d\sigma_2 = ... = d\sigma_k$.

Ony subut etmek üçin aşakdaky mysala seredeliň. Goý, egrilik radiusy **R** we üstüniň meýdany σ bolan sferik ýagtylyk fronty ρ_k radiusly deşik bilen çäklenen bolsun. Goý bu ýagtylyk frontunyň tolkunlary giňişligiň käbir **P** nokadynda bir-biriniň üstüne düşýän bolsun. (4.8-nji çyzgy)

Eger σ üstde **k** sany zolak ýerleşýär diýip kabul etsek, ***k***-njy zolagyň radiusy ρ_k deşigiň radiusyna deň bolar. Onda SOM_k we POM_k üçburçlyklardan ρ_k üçin alarys:

$$\rho_k^2 = R^2 - (R-h)^2 = r_k^2 - (r_0 - h)^2. \qquad (4.4)$$

Bu ýerden

$$R^2 - R^2 + 2Rh - h^2 = r_k^2 - r_0{}^2 + r_0 h - h^2 \quad , \qquad h = \frac{r_k^2 - r_0^2}{2(R + r_0)}. \quad (4.5)$$

(4.2) aňlatmany kwadrata göterip alarys:

$$r_k^2 - r_0^2 = kr_0\lambda + k^2\left(\frac{\lambda}{2}\right)^2 \quad .$$

$\lambda^2 << r_0$ hasaba alyp, soňky aňlatmada ahyrky goşulyjyny aýyrsak:

$$r_k^2 - r_0^2 = kr_0\lambda \ , \qquad (4.6)$$

onda (4.5) aňlatmany aşakdaky görnüşde ýazyp bileris:

$$h = k\frac{r_0}{R + r_0}\cdot\frac{\lambda}{2} \ . \qquad (4.7)$$

R radiusly sferik segmentiň meýdany $\sigma = 2\pi Rh$.

Onda
$$\sigma_k = k\frac{2\pi Rr_0}{R + r_0}\cdot\frac{\lambda}{2}. \qquad (4.8)$$

Bu aňlatma **k** sany zolak ýerleşýän ýagtylyk frontunyň meýdanyny kesgitleýär.

Onda bir zolagyň meýdanyny $d\sigma = \sigma_k - \sigma_{k-1}$ aňlatma arkaly hasaplap alarys:

$$d\sigma = \frac{\pi Rr_0\lambda}{R + r_0} \ . \qquad (4.9)$$

Şu ýerden görnüşi ýaly Freneliň zolaklarynyň meýdany onuň tertip belgisine (**k**) bagly däldir we ähli zolaklaryň meýdanlary özara deňdir. Emma zolaklaryň tertip belgisiniň artmagy bilen α_k burç ulalýar we Gýuýgens-Freneliň düzgünine laýyklykda zolaklaryň **P** ugra şöhlelenmesiniň depgini azalýar, ýagny A_k amplituda kiçelýär. Şeýlelikde $E_{01} > E_{02} > E_{03} > ... > E_{0k} > E_{0(k+1)}$.

Täk belgili amplitudalary iki ýarym jem ýaly ýazalyň:

$$E_{01} = \frac{E_{01}}{2} + \frac{E_{01}}{2}; \quad E_{03} = \frac{E_{03}}{2} + \frac{E_{03}}{2} \ \text{... we ş.m.}$$

Bu ululyklary (4.3) aňlatmada ornuna goýup aşakdaky ýaly ýazalyň:

k – täk bolanda $E_0' = \frac{E_{01}}{2} + \left(\frac{E_{01}}{2} - E_{02} + \frac{E_{03}}{2}\right) + \left(\frac{E_{03}}{2} - E_{04} + \frac{E_{05}}{2}\right) + ... + \frac{E_{0k}}{2}$;

k – jübüt bolanda $E_0'' = \frac{E_{01}}{2} + \left(\frac{E_{01}}{2} - E_{02} + \frac{E_{03}}{2}\right) + \left(\frac{E_{03}}{2} - E_{04} + \frac{E_{05}}{2}\right) + ... + \frac{E_{0(k-1)}}{2} - E_{0k}$.

Bu aňlatmalaryň ýaýyň içindäki goşulyjylarynyň jemi nola deňdir.

Onda
$$E_1' = \frac{E_{01}}{2} + \frac{E_{0k}}{2}, \qquad (4.10)$$

$$E_0'' = \frac{E_{01}}{2} + \frac{E_{0(k-1)}}{2} - E_{0k}. \qquad (4.11)$$

k uly bolsa $E_{0(k-1)} \approx E_{0k}$ onda

$$E_0'' = \frac{E_{01}}{2} - \frac{E_{0k}}{2}. \qquad (4.12)$$

(4.10) we (4.12) aňlatmalardan görnüşi ýaly $E_0' > E_0''$ ýagny, deşik bilen çäklenen ýagtylyk frontunyň üstünde ýerleşýän Freneliň zolaklarynyň sany täk bolsa, syn edilýän (*P*) nokatda ýagtylyk tolkunlarynyň jemleýji amplitudasy (diýmek depgini) uly, zolaklaryň sany jübüt bolsa, ýagtylyk tolkunlarynyň amplitudasy kiçi bolar. (4.10) we (4.12) deňliklerde $k \to \infty$ bolanda $E_{ok} \to 0$ bolýar. Netijede

$$E_0' = E_0'' = \frac{E_{01}}{2} \qquad (4.13)$$

alnar. Başgaça aýdanymyzda Freneliň zolaklarynyň sany tükeniksizlige ymtylanda difraksiýa syn edilýän *P* nokatdaky ýagtylyk tolkunlarynyň jemleýji amplitudasy, birinji zolakdan gelýän ýagtylyk tolkunlarynyň amplitudasynyň ýarysyna deň bolýar. Bu ýagdaýda zolaklaryň bir-birine täsiri ýok ýalydyr. Şonuň üçin hem deşigiň (päsgelçiligiň) ölçegleri uly bolanda $(D >> \lambda)$ ýagtylyk gönüçyzykly ýaýraýar. Tolkun nazaryýetiniň esasynda ýagtylygyň gönüçyzykly ýaýraýşynyň düşündirilişi hem şundan ybaratdyr.

Deşikde ýerleşýän Freneliň zolaklarynyň sanyny 4.8-nji çyzgydan we (4.4), (4.6), (4,7) aňlatmalardan peýdalanyp hasaplamak mümkin.

$$\rho_k^2 = r_k^{\,2} - (r_0 + h)^2 = r_k^2 - r_0^2 - 2r_0 h - h^2.$$

$r>>h$ hasaba alyp, h^2-goşulyjyny taşlamak bolýar. Onda

$$\rho_k^2 = r_k^2 - r_0^2 - 2r_0h \quad \text{we} \quad \rho_k^2 = r_k^2 - r_0^2 - \frac{kr_0^2}{R+r_0^2}\lambda .$$

(4.6) – dan belli bolşy ýaly $r_k^{\,2} - r_0^2 = kr_0\lambda$.

$$\text{onda } k = \frac{\rho_k^{\,2}(R+r_0)}{r_0R\lambda}. \qquad (4.14)$$

Bu aňlatma deşige düşýän sferik tolkun frontunyň üstünde ýerleşýän Freneliň zolaklarynyň sanyny kesgitleýän aňlatmadyr.

Eger deşige parallel ýagtylyk dessesi düşýän bolsa, onda ýagtylyk tolkunlarynyň fronty tekiz bolýar, ýagny $R=\infty$ onda

$$k = \frac{\rho_k^{\,2}}{r_0\lambda}. \qquad (4.15)$$

Bu aňlatma deşige düşýän tekiz tolkun frontunyň üstünde ýerleşýän Freneliň zolaklarynyň sanyny kesgitleýän aňlatmadyr.

4.2 Zolak plastinasy

Ýokarda belleýşimiz ýaly sferik tolkun frontunyň üstünde ýerleşýän Freneliň zolaklarynyň radiusy

$$\rho_k = \sqrt{k\frac{Rr_0}{R+r_0}\lambda} \qquad (4.16)$$

aňlatma arkaly kesgitlenilýär.

Bu aňlatmany R, r_0, λ ululyklaryň käbir gymmaty üçin kanagatlandyrýan, gezekleşýän dury we dury däl halkalardan (zolaklardan) ybarat bolan tekizparallel plastina zolak plastinasy diýilýär. Bu plastina ýagtylyk çeşmesinden R we difraksiýa syn edilýän nokatdan r_0 aralykda ýagtylyk şöhlesiniň ýaýraýan ugruna perpendikulýar ýerleşdirilse, onda λ tolkun uzynlykly ýagtylygyň tolkun frontunyň üstünde ýerleşýän jübüt ýa-da täk zolaklaryny ýapýar. Eger jübüt zolaklar ýapylsa täk zolaklar açylýar ýa-da tersine. Goý, jübüt zolaklar ýapylan bolsun, onda (4.3) aňlatma boýunça difraksiýa syn edilýän nokatda diňe täk zolaklaryň oýandyrýan yrgyldylarynyň amplitudalary goşulýar:

$$E_0 = E_{01} + E_{03} + E_{05} + ... + ... \ .$$

Eger-de täk zolaklar ýapylan bolsa,onda

$$E_0 = E_{02} + E_{04} + E_{06} + ... + ... \ .$$

Görnüşi ýaly iki ýagdaýda hem difraksiýa syn edilýän nokatda ýagtylyk tolkunlarynyň amplitudasy, ähli zolaklaryň açyk bolan ýagdaýyndan uly bolýar. Bu netijeleri tejribeler tassyklaýar.

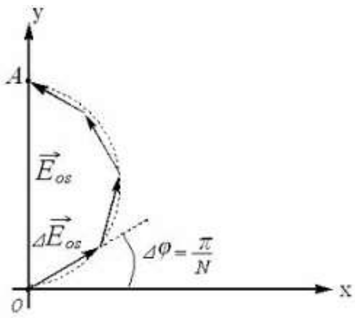
Zolaklar plastinasy, Freneliň, ýagtylyk frontuny zolaklara bölmek usulynyň difraksiýasyny düşündirmekde örän oňaýlydygyny tejribede doly tassyklaýar.

Eger jübüt zolaklaryň ýagtylyk tolkunlarynyň fazasy π ululyga üýtgedilse, onda olar täk zolaklaryň tolkunlary bilen bir fazada bolýar. Bu ýagdaýda difraksiýa gözegçilik edilýän nokatda ähli zolaklardan ýaýraýan tolkunlar bir fazada bolup, bir-biriniň üstüne düşüp goşulýar we netijeleýji amplituda

$E_0 = E_{01} + E_{02} + E_{03} + E_{04} + ... + E_{0k}$ (k=1,2,3,...) aňlatma arkaly kesgitlener. Başgaça aýdanymyzda difraksiýa syn edilýän nokatda ýagtylygyň depgini (intensiwligi) has ulalar. Bu ýagdaýda zolak plastinasy ýygnaýjy linza ýaly bolýar. Zolak palstinasy ilkinji gezek Wud tarapyndan döredilýär. Ol tekiz parallel plastinanyň üstüni ýuka lak gatlagy bilen örtüp, täk zolaklaryň lak örtügini aýyrýar. Örtügiň galyňlygy içinden geçýän ýagtylygyň optiki ýoluny $\frac{\lambda}{2}$ ululyga artdyrar ýaly edip alynýar.

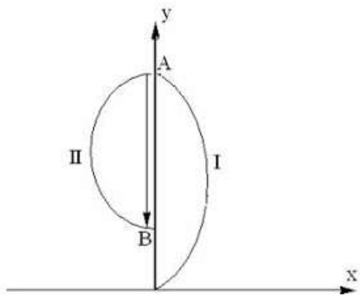
4.3. Ýagtylyk tolkunlarynyň amplitudalaryny goşmagyň grafiki usuly

Ýagtylyk frontunyň σ üstünden ýaýraýan tolkunlarynyň gözegçilik edilýän **P** nokatda oýandyrýan yrgyldylarynyň jemleýji amplitudasyny kesgitlemek üçin grafiki usuldan hem peýdalanylýar. Freneliň bütin bir zolagynyň **P** nokatdaky täsirini grafiki aňlatmak üçin ony kiçijik böleklere bölüp, her bir bölegiň çäginde yrgyldynyň fazasy we amplitudasy hemişelik diýip kabul etmeli. Onda her bir bölejigiň täsirinde döreýän yrgyldynyň käbir amplituda wektorlary bilen aňlatmak bolar. Ähli bölejikleriň döredýän yrgyldylarynyň amplitude wektorlary uzynlygy (ululygy) boýunça deň bolup, ýanaşyk amplituda wektorlary bir-birine görä käbir burça gyşarýan görnüşde bolýar.



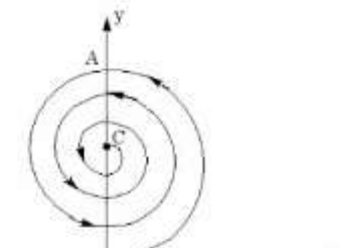
4.9-njy çyzgy

Goý, Freneliň bir zolagy N sany bölejige bölünen bolsun. Onda iki ýanaşyk bölejigiň amplituda wektorlarynyň arasyndaky burç $\Delta\varphi = \dfrac{\pi}{N}$ bolýar, sebäbi iki goňşy zolak fazasy boýunça bir-birinden π ululyga tapawutlanýar.



4.10-njy çyzgy

Eger zolagyň her bir bölejiginiň amplituda wektory $\Delta\vec{E}_{os}$ diýip kabul etsek, onda bütin zolagyň jemleýji amplituda wektory $\vec{E}_{os}$ bolýar. (4.9-njy çyzgy).



4.11-nji çyzgy

Yrgyldynyň fazasy **OX** okundan hasaplansa grafikden görnüşi ýaly birinji bölegiň amplituda wektory **OX** oky bilen $\Delta\varphi = \dfrac{\pi}{N}$ burç emele getirýär. Bir zolak üçin jemleýji amplituda $\overrightarrow{OA} = \vec{E}_{os}$ wektor bilen aňladylýar.

4.9-njy çyzgyda amplitudalary goşmagyň wektor diagrammasy şekillendirilen. Eger zolak örän köp bölejiklere bölünse, onda bölejikleriň ampltuda wektorlary uzynlygy (ululygy) gysga bolup 4.9-njy çyzgydaky döwük çyzyklaryň sany köpelip, ýarym töwerek görnüşli egri çyzyk emele geler. 4.10-njy çyzgyda **I** şekil.

Ikinji zolak üçin gurlan wektor diagramma 4.10-njy çyzgydaky II şekil görnüşinde $\left(\overrightarrow{AB}\right)$ bolar. Iki goňşy zolagyň jemleýji amplituda wektory $\left(\overrightarrow{AB}\right)$ bolar. Eger tolkun frontunyň üstünde ýerleşýän ähli zolaklaryň gözegçilik edilýän **P** nokatda döredýän yrgyldylarynyň jemleýji amplitudalarynyň wektor diagrammasy gurulsa ol 4.11-nji çyzgyda şekillendirilen görnüşdäki sarymy emele getirer.

Sarymyň fokusy OA kesimiň ortasynda C nokatda ýerleşýär. Ýagtylyk frontunyň döredýän jemleýji amplitudasy $\overrightarrow{OC}$ wektora deň bolýar. Grafikden görnüşi ýaly $\overrightarrow{OC} = \frac{\overrightarrow{OA}}{2} = \frac{\overrightarrow{E_{0s}}}{2}$, ýagny (4.13) aňlatma alyndy. Başgaça aýdanymyzda difraksiýa syn edilýän **P** nokatda ýagtylyk tolkunlarynyň jemleýji amplitudasy, birinji zolagyň döredýän amplituda wektorynyň ýarysyna deň bolýar.

4.4. Difraksiýa hadysasyna syn etmegiň usullary

Difraksiýa hadysasy, syn ediliş usuly boýunça iki topara bölünýär:

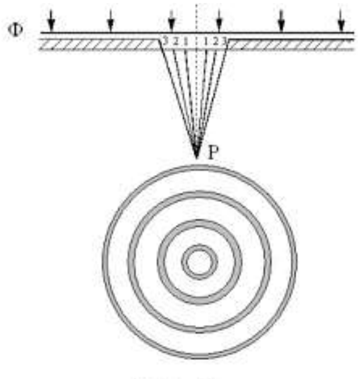
I. difraksiýa hadysasyna päsgelçilige ýakyn aralykda syn etmek. Beýle difraksiýa hadysalar ilki Frenel tarapyndan öwrenilendigi sebäpli oňa Freneliň difraksiýasy hem diýilýär.

II. difraksiýa hadysasyna päsgelçilikden uzak aralykda gözegçilik etmek. Beýle difraksiýa hadysalar ilki Fraungofer tarapyndan öwrenilendigi sebäpli oňa Fraungoferiň difraksiýasy hem diýilýär. Şeýlede bu hadysa parallel şöhleleriň difraksiýasy hem diýilýär.

1. Tegelek deşikde ýüze çykýan difraksiýa

Goý tegelek deşigi bolan päsgelçilige monohromatik ýagtylygyň parallel dessesi normal boýunça düşýän bolsun. Bu ýagdaýda ýagtylyk fronty (**ф**) tekiz front bolup deşigiň tekizligine parallel ýerleşer (4.12-njiçyzgy).

Difraksiýa gözegçilik edilýän ekranyň, deşige simmetrik ýerleşen **P** nokadyna seredeliň. **P** nokadyň ýagty ýa-da garaňky bolmaklygy, **P** nokada görä, deşikde ýerleşýän Freneliň zolaklarynyň sanynyň jübüt ýa-da täk bolmagyna bagly. Eger zolaklaryň sany täk bolsa onda **P** nokat ýagty bolýar we onuň daşynda gezekleşýän garaňky we ýagty halkalar emele geler. Zolagyň sany jübüt bolsa, onda halkalaryň merkezi (**P**-nokat) garaňky bolar.

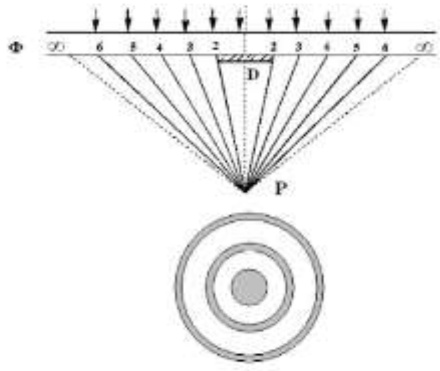


4.12-nji çyzgy

2. Ýagtylyk üçin dury bolmadyk tegelek päsgelçilikde ýüze çykýan difraksiýa

Dury däl tegelek päsgelçilige monohromatik ýagtylygyň dessesi düşýän bolsun. Ýokarda belleýşimiz ýaly bu ýagdaýda ýagtylygyň tekiz fronty päsgelçilige parallel ýerleşer (4.13-nji çyzgy).

Difraksiýa syn edilýän ekranyň päsgelçilige görä simmetrik ýerleşen **P** nokadyna seredeliň. Goý päsgelçilik (D) **P** nokada görä Freneliň zolaklarynyň ***k*** sanysyny ýapýan bolsun. Onda **P** nokada (k+1)-nji zolakdan başlap ýagtylyk tolkunlary düşer. Öňden bilşimiz ýaly **P** nokada ýagtylyk tolkunlarynyň jemleýji amplitudasy $E_0 = \frac{E_{0(k+1)}}{2} \pm \frac{E_{0\infty}}{2}$ aňlatma arkaly kesgitlenilýär:



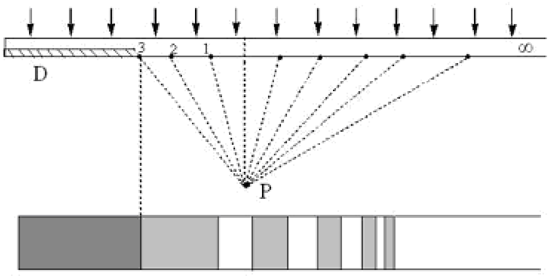
4.13-nji çyzgy

$$E_{0\infty}=0 \text{ onda } \quad E_0=\frac{E_{0(k+1)}}{2}.$$

Görnüşi ýaly (D) päsgelçiligiň Freneliň zolaklarynyň näçesini (elbetde ýapylýan zolaklaryň sany ∞ bolmaly däl) ýapýanlygyna garamazdan ekranyň **P** nokady hökman ýagty bolýar. Ýapylýan zolaklaryň sanynyň artmagy bilen **P** nokadyň ýagtylanmasy gowşaýar. Şeýlelikde, dury däl tegelek päsgelçiligiň geometrik kölege çäginde, merkezi ýagty bolan gezekleşýän ýagty-garaňky halkalar emele gelýär. Eger dury däl tegelek päsgelçiligiň ölçegleri örän kiçi bolsa, onda ýagtylyk tolkunlary onuň gyralaryndan doly aýlanyp geçip, ekranda hiç hili kölege döretmeýär.

3. Ýagtylyk üçin dury bolmadyk ýarymtükeniksiz päsgelçiligiň gyrasynyň ýüze çykýan difraksiýasy

Gyrasy gönüçyzykly bolan ýarymtükeniksiz dury däl päsgelçilige monohromatik ýagtylygyň parallel dessesi düşýän bolsun. Bu ýagdaýda Freneliň zolaklary päsgelçiligiň gyralaryna parallel bolan gönüçyzyklar görnüşinde bolýar. Difraksiýa syn edilýän meýdanyň **P** nokadyndaky ýagdaýa seredeliň.



4.14-nji çyzgy

4.14-nji çyzgyda görkezilişi ýaly ekranyň **P** nokadyna görä çep tarapda 3 sany zolak ýerleşen, sag tarapynda bolsa zolaklaryň sany tükeniksizdir. Sag tarapdaky ähli zolaklardan **P** nokada gelýän ýagtylyk tolkunlarynyň jemleýji amplitudasy $E_0'=\frac{E_{01}}{2}$.

Çep tarapdaky zolaklardan gelýän ýagtylyk tolkunlarynyň jemleýji amplitudasy $E_0'' = \frac{E_{01} + E_{03}}{2}$.

Onda **P** nokatdaky umumy amplitudalaryň jemi $E_0 = E_0' + E_0'' = E_{01} + \frac{E_{03}}{2}$ bolar.

Şeýle usul arkaly difraksiýa syn edilýän ekranyň islendik nokady üçin jemleýji amplitudany kesgitlemek bolýar. Difraksiýa syn edilýän ekranda ýagty-garaňky parallel zolaklar emele gelýär. **D** päsgelçiligiň geometrik kölege çäginde ýagtylygyň depgini kem-kemden azalýar.

4. Fraungoferiň yşdaky difraksiýasy

Ýokarda belleýşimiz ýaly Fraungoferiň difraksiýasy, yşdan tükeniksiz uzaklykda ýerleşen ekranda ýagny parallel şöhlelerde syn edilýär. Yşyň ölçegleriniň örän kiçiligi zerarly ondan geçýän ýagtylygyň depgini az bolýar we uzakda ýerleşen ekranda difraksiýa gowşak ýüze çykýar. Parallel şöhlelerde difraksiýany aýdyň ýüze çykarmak üçin yşdan geçen ýagtylyk şöhleleriniň ýaýraýan ugrunda ýygnaýjy linza we onuň fokal tekizliginde ekran ýerleşdirilýär. Ýygnaýjy linza özara parallel şöhleleri bir nokada jemleýär.

Goý, yşa monohromatik ýagtylygyň parallel dessesi normal boýunça düşýän bolsun. Yş bilen çäklenen ýagtylyk frontuny elementar bölejiklere bölmeli. Frontuň dx elementar böleginden syn edilýän nokada düşýän tolkunyň amplitudasy elementar bölegiň giňligine baglydyr:

$$dA = cdx. \qquad (4.17)$$

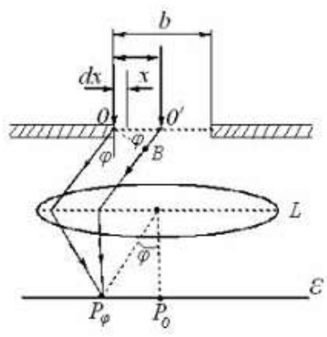
c-proporsionallyk koeffisiýenti, difraksiýa burçy $(\varphi = 0)$ nola deň bolan ýagdaýynda yşyň ähli “b” giňliginden geçýän tolkunlaryň jemleýji amplitudasy A_0 diýip kabul edilip, ol

$$A_0 = cb \qquad (4.18)$$

gatnaşykdan kesgitlenilýär. Onda $c = \frac{A_0}{b}$ we $dA = \frac{A_0}{b}dx$.

Yşdan φ burça gyşaryp geçen tolkunlar ekranyň P_φ nokadynda goşulýar. (4.15-nji çyzgy)

Ilki giňligi x bolan yşyň böleginden P_φ nokada gelýän tolkunlary goşalyň. Onuň üçin O we O' nokatlardan ýaýraýan tolkunlaryň faza tapawudyny bilmek gerek. Onuň üçin O nokatdan $O'P_\varphi$ şöhlä perpendikulýar (OB) geçirilse,



4.15-nji çyzgy

OP_φ we BP_φ ýollar özara deň bolup O we O' nokatlardan P_φ nokada gelýän tolkunlaryň ýollarynyň tapawudy

$$O'B = x\sin\varphi \qquad (4.19)$$

bolar. Eger O nokada golaý dx elementar bölekden P_φ nokada gelýän tolkunlaryň fazasy ωt bolsa, onda onuň deňlemesini $dE = \frac{A_0}{b}dx\cos\omega t$ görnüşde ýazmak bolýar. O' nokada golaý dx elementar bölekden P_φ nokada gelýän tolkunyň deňlemesini $dE = \frac{A_0}{b}dx\cos(\omega t - kO'B)$ ýa-da

$$dE = \frac{A_0}{b}dx\cos(\omega t - kx\sin\varphi) \qquad (4.20)$$

görnüşde ýazmak bolýar.

Bu ýerde $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ - tolkun sany.

(4.20) aňlatmany integrirlemek arkaly P_φ nokada **b** yşdan gelýän ähli tolkunlaryň elektrik wektorlarynyň netijeleýjisini alarys:

$E = \int_0^b \frac{A_0}{b}\cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda}x\sin\varphi\right)dx$. Integraly hasaplamak üçin üýtgeýänlerini çalyşmak usulyndan peýdalanylýar. $\omega t - \frac{2\pi}{\lambda}x\sin\varphi = z$ $\quad dz = -\frac{2\pi}{\lambda}\sin\varphi dx$

Onda soňky dealemeden

$$E = \frac{A_0}{b}\left(-\frac{1}{\frac{2\pi}{\lambda}x\sin\varphi}\right)\int_0^b \cos z dz = \frac{A_0 x}{2\pi b\sin\varphi}\sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda}x\sin\varphi\right)\Bigg|_0^b = \frac{A_0 x}{2\pi b\sin\varphi}\left[\sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda}x\sin\varphi\right) - \sin\omega t\right].$$

Bu ýerde $\sin\left(\omega t-\frac{2\pi}{\lambda}x\sin\varphi\right)-\sin\omega t=2\sin\frac{\pi b}{\lambda}\sin\varphi\cos\left(\omega t-\frac{\pi b}{\lambda}\sin\varphi\right)$.

Onda $E=A_0\frac{\sin\frac{\pi b}{\lambda}\sin\varphi}{\frac{\pi b}{\lambda}\sin\varphi}\cdot\cos\left(\omega t-\frac{\pi b}{\lambda}\sin\varphi\right)$.

Bu ýerde

$$A_\varphi=A_0\frac{\sin\frac{\pi b}{\lambda}\sin\varphi}{\frac{\pi b}{\lambda}\sin\varphi} \quad (4.21)$$

P_φ – nokatdaky amplituda.

Köplenç φ burç örän kiçi bolýar, şoňa görä $\sin\varphi\approx\varphi$ kabul etmek mümkin.

Onda $A_\varphi=A_0\frac{\sin\frac{\pi b}{\lambda}\sin\varphi}{\frac{\pi b}{\lambda}\sin\varphi}$ deňlemeden $\varphi\to 0$ bolanda $A_\varphi=A_0$ (sebäbi $\lim\limits_{\varphi\to 0}\frac{\sin\varphi}{\varphi}=1$)

(4.21) aňlatmada A_φ –niň iň kiçi bahalary $\sin\frac{\pi b}{\lambda}\sin\varphi$ ululygyň kiçi bahalary bilen kesgitlenilýär:

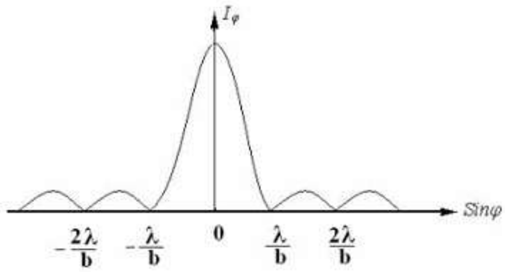
$$\frac{\pi b}{\lambda}\sin\varphi=\pm n\pi \qquad (n=1,2,3,...) \quad (4.22)$$

$$b\sin\varphi=\pm n\lambda \quad (4.23)$$

şerti kanagatlandyrýan ugurlarda $A_\varphi\to 0$ we ýagtylygyň depgini (intensewligi) iň kiçi baha eýe bolýar:

$$b\sin\varphi=\pm(2n+1)\frac{\lambda}{2}\ . \quad (4.24)$$

şerti kanagatlandyrýan ugurlarda ýagtylygyň depgini iň uly baha eýe bolýar.



4.16-njy çyzgy

Ýagtylygyň depgini onuň amplitudasynyň kwadratyna göni baglydyr, onda

$$I_\varphi = I_0 \frac{\sin^2\left(\frac{\pi b}{\lambda}\sin\varphi\right)}{\left(\frac{\pi b}{\lambda}\sin\varphi\right)^2}. \quad (4.25)$$

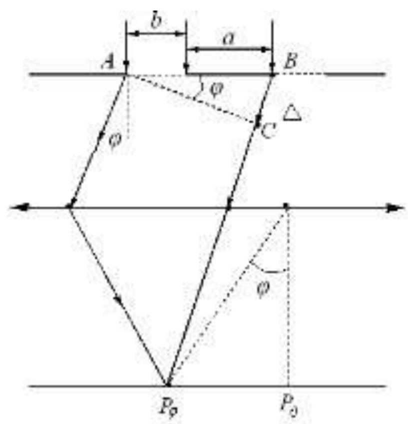
Görnüşi ýaly $I_{(-\varphi)} = I_{(\varphi)}$. Bu bolsa difraksiýa şekiliniň linzanyň ortasyna görä simmetrik bolýandygyny görkezýär. Linzanyň fokal tekizliginde ýerleşdirilen ekranda emele gelýän difraksiýa şekili 4.16-njy çyzgydaky ýaly bolýar.

Şekilden görnüşi ýaly iň uly merkezi depgininiň bahasynyň giňligi $\sin\Delta\varphi = 2\frac{\lambda}{b}$. $\Delta\varphi$ kiçi bolany üçin $\sin\Delta\varphi \approx \Delta\varphi$, onda $\Delta\varphi \approx 2\frac{\lambda}{b}$.

Tejribeleriň netijesi yşdan geçýän ýagtylygyň 95%-e golaýy iň uly merkezi depgine düşýändigini görkezýär.

4.5. Difraksiýa gözenegi

Ýönekeý difraksiýa gözenegi – şol bir tekizlikde we bir-birinden deň daşlykda ýerleşen özara parallel yşlaryň ulgamyndan ybaratdyr. Ony göz öňüne getirmek üçin maýda dişli daragy mysal hökmünde görkezmek bolýar. Difraksiýa gözeneginiň yşlarynyň her biriniň giňligi “*b*” we dury däl bölekleriň her biriniň giňligi “*a*” diýip kabul edilse, onda $d=a+b$ ululyga difraksiýa gözeneginiň periody ýa-da hemişeligi diýilýär (4.17-nji çyzgy).

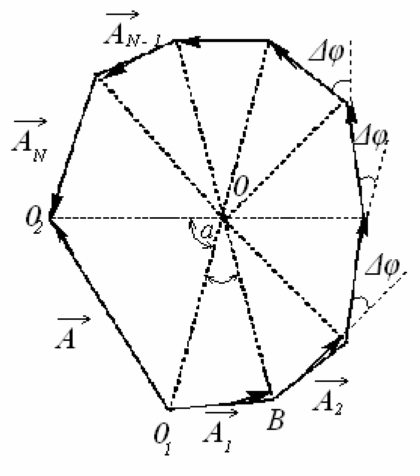


4.17-nji çyzgy

Difraksiýa gözeneginiň emele getirýän şekili bir yşyň emele getirýän difraksiýa şekilinden tapawutly bolýar. Sebäbi dürli yşlaryň geçirýän ýagtylyk tolkunlary bir nokada goşulyp, interferensiýa döredýär. Eger difraksiýa gözenegine monohromatik ýagtylygyň parallel dessesi dik düşürilse, onda gözenegiň ähli yşlarynda tolkun bir fazada geçýärler. Goý, gözenegiň ähli yşlaryndan “φ” burça gyşaryp geçýän tolkunlar ekranyň P_φ nokadynda goşulýan bolsun.

P_φ nokatdaky netijeleýji tolkunyň amplitudasy $\vec{A}\sum_{i=1}^{n}\vec{A}_i$ bolýar. Bu ýerde $\vec{A}_i - i$-nji yşdan geçen tolkunyň amplituda wektory, N – yşlaryň sany.

Şol bir ugur boýunça ähli yşlardan geçýän tolkunlaryň amplitudalary özara deňdir: $\left|\vec{A}_i\right| = A_\varphi$.



4.18-nji çyzgy

$\vec{A}_i$ we $\vec{A}_{i+1}$ wektorlaryň faza tapawudy, iki ýanaşyk ýerleşen yşyň degişli nokatlaryndan P_φ nokada çenli tolkunlaryň geçen ýollarynyň tapawudy (4.17-nji çyzgydan) (Δ) bilen kesgitlenýär, ýagny

$\Delta = BC = d\sin\varphi$ Onda

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta = \frac{2\pi d}{\lambda}\sin\varphi. \qquad (4.26)$$

Difraksiýa gözeneginiň ähli yşlaryndan geçen tolkunlaryň P_φ nokatda döredýän jemleýji amplitudasyny wektorlary goşmagyň wektor diagrammasyndan peýdalanyp kesgitlemek amatlydyr.

4.18-nji çyzgydan O_1OO_2 üçburçlukdan $\dfrac{\frac{A}{2}}{OO_1} = \sin\dfrac{\alpha}{2}$,

$$A = 2OO_1\sin\frac{\alpha}{2}, \qquad (4.27)$$

$$\alpha = 2\pi - N\Delta\varphi. \qquad (4.28)$$

$\left|\vec{A}_i\right| = A_\varphi$ deňligi hasaba alyp O_1OB üçburçlukdan alarys:

$$\frac{\frac{A_\varphi}{2}}{OO_1} = \sin\frac{\Delta\varphi}{2} \quad \text{ýa-da} \quad OO_1 = \frac{A_\varphi}{2\sin\frac{\Delta\varphi}{2}}. \qquad (4.29)$$

Onda $A = 2\dfrac{A_\varphi}{2\sin\dfrac{\Delta\varphi}{2}}\cdot\sin\dfrac{2\pi - N\Delta\varphi}{2}$ ýa-da $A = A_\varphi \dfrac{\sin\left(\pi - \dfrac{N\Delta\varphi}{2}\right)A_\varphi}{\sin\dfrac{\Delta\varphi}{2}}$.

$\sin\left(\pi - \dfrac{N\Delta\varphi}{2}\right) = \sin\dfrac{N\Delta\varphi}{2}$ aňlatmany hasaba alyp, aşakdakyny alarys:

$$A = A_\varphi \frac{\sin\dfrac{\pi N d\sin\varphi}{\lambda}}{\sin\dfrac{\pi d\sin\varphi}{\lambda}}. \qquad (4.30)$$

Bir yşdan geçen tolkunlar üçin ýokarda kesgitleýşimiz ýaly $A_\varphi = A_0 \dfrac{\sin\dfrac{\pi b}{\lambda}\sin\varphi}{\dfrac{\pi b}{\lambda}\sin\varphi}$

deňdir. Onda P_φ nokatda netijeleýji tolkunyň amplitudasy

$$A = A_0\left|\frac{\sin\left(\dfrac{\pi b\sin\varphi}{\lambda}\right)}{\dfrac{\pi b\sin\varphi}{\lambda}}\cdot\frac{\sin\dfrac{\pi N d\sin\varphi}{\lambda}}{\sin\dfrac{\pi d\sin\varphi}{\lambda}}\right|. \qquad (4.31)$$

P_φ nokatda ýagtylygyň depgini

$$I = I_0 \frac{\sin^2\dfrac{\pi b\sin\varphi}{\lambda}}{\left(\dfrac{\pi b\sin\varphi}{\lambda}\right)^2}\cdot\frac{\sin^2\dfrac{\pi N d\sin\varphi}{\lambda}}{\sin^2\dfrac{\pi d\sin\varphi}{\lambda}}. \qquad (4.32)$$

Aňlatmalardaky A_0 we I_0 linzanyň fokal tekizliginiň merkezinde ($\varphi = 0$) bir yşdan geçen tolkunlaryň emele getirýän netijeleýji tolkunynyň amplitudasy we depgini.

Eger $\Delta\varphi = 0, 2\pi, 4\pi, ..., 2n\pi$ bolsa (n=0,1,2,...), onda ähli amplituda wektorlary bir göni boýunça ugrukdyrylýar we jemleýji amplituda wektory hem-de difraksiýa gözegçilik edilýän (P_φ) nokatda ýagtylygyň depgini iň uly baha eýe bolýar.

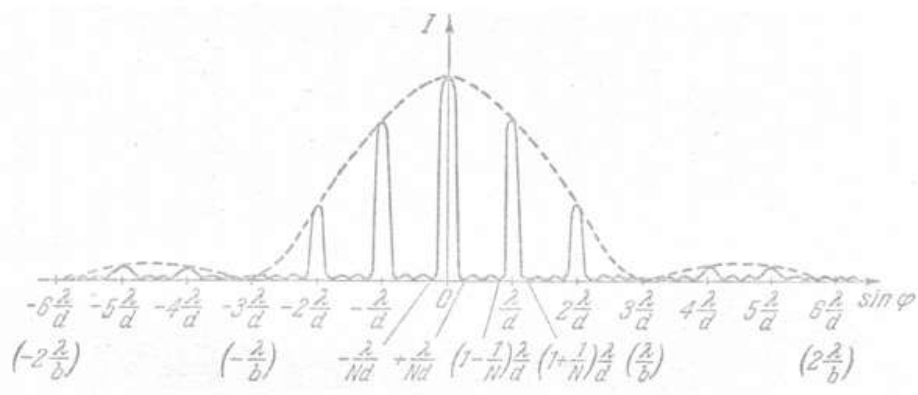
Onda

$$\Delta = d\sin\varphi = \pm n\lambda, \qquad (n=0,1,2,...). \qquad (4.33)$$

Bu aňlatma difraksiýa gözeneginde ýüze çykýan ýagtylygyň depgininiň iň uly gymmata eýe bolýan baş şerti diýilýär.

Ýagtylygyň depgininiň iň kiçi baha eýe bolýan şertine baş gowşama şerti diýilýär.

Bu şert $A_\varphi = 0$ bolan ugurlarda emele gelýär, ol $b\sin\varphi = \pm n\lambda$ aňlatmadan kesgitlenilýär. Baş şertden başga-da örän göwşak depginli birnäçe goşmaça güýçlenmeler emele gelýär. Bu güýçlenmeler goşmaça gowşamalar bilen bölünýärler. Goşmaça gowşamalar $\frac{\pi N d \sin\varphi}{\lambda} = \pi, 2\pi, 3\pi, ...$ aňlatmadan alynýar. Bu ýagdaýda $d\sin\varphi = \frac{P\lambda}{N}; \quad P \neq 0, N, 2N, ...$ şerti kanagatlandyrmaly. Görnüşi ýaly, gözeneginiň yşlarynyň sany N-e deň bolsa onda, her iki ýanaşyk baş güýçlenmeleriň arasynda (N-1) sany goşmaça gowşamalar ýerleşýär. Difraksiýa gözeneginiň kömegi bilen ýagtylygyň depgininiň üýtgeýşi ýagny, (4.32) aňlatmanyň grafigi 4.19-njy çyzgyda şekillendirilen.



4.19-njy çyzgy

Gözenegiň yşlarynyň sanynyň artmagy bilen iki ýanaşyk baş güýçlenmeleriň arasynda ýerleşýän goşmaça gowşamalaryň hem sany artýar. Bu bolsa baş güýçlenmeleriň gysylmagyna we olaryň depgininiň ýokarlanmagyna getirýär. Netijede baş güýçlenmeler çyzyk görnüşine geçýär. Oňa spektr çyzyk diýilýär.

4.6. Difraksiýa gözeneginiň dispersiýasy we saýgaryjylyk (çözüjilik) ukyby

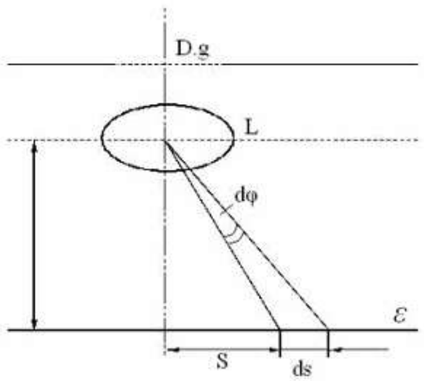
Difraksiýa gözenegi ak ýagtylygy spektre dargatmak üçin hem peýdalanylýar. Ýagtylygy spektre dargatmak üçin prizma hem ulanylýar. Emma difraksiýa gözeneginiň prizmadan amatly taraplary köpdür: ol spektriň islendik çäklerinde işläp bilýär, difraksiýanyň kiçi burçunda onuň dispersiýasy üýtgemeýär, netijede spektri okamak ýeňilleşýär.

$d\sin\varphi = \pm n\lambda$ şertden görnüşi ýaly dürli tolkun uzynlykly ýagtylygyň iň uly güýçlenmesi, spektriň şol bir tertibinde, aýratyn ýerleşýär (nolunjy tertipden başgasynda). Bu ýagdaý bolsa gözenegiň ýagtylygy spektre dargatmasyna getirýär. Difraksiýa gözeneginiň baş güýçlendirme şertiniň aňlatmasyny differensirläp,

$$d\cos\varphi d\varphi = nd\lambda \qquad (4.34)$$

aňlatmany alarys ýa-da

$$\frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{n}{d\cos\varphi}. \qquad (4.35)$$



4.20-nji çyzgy

Bu ýerde $D = \frac{d\varphi}{d\lambda}$ difraksiýa gözeneginiň burç dispersiýasy diýilýär.

φ-burçuň kiçi bahalarynda

$$D = \left(\frac{d\varphi}{d\lambda}\right)_{\varphi\to 0} = \frac{n}{d} \qquad (4.36)$$

Şu ýerden görnüşi ýaly gözenegiň burç dispersiýasy onuň periodyna we spektriň tertibine baglydyr. Burç dispersiýasynyň ölçeg birligi $\frac{rad}{angstrem}$ ýa-da $\frac{grad}{angstrem}$ bolýar. Köplenç spektr çyzyklara ekranda ýa-da fotoplastinada gözegçilik edilýär. Şol sebäpli spektr çyzyklaryň burç ululygyny ($d\varphi$) çyzyk aralygynyň (*ds*) üsti bilen aňlatmak amatly bolýar. Eger-de spektre gözegçilik üçin peýdalanylýan linzanyň fokus aralygy F bolsa (4.20-nji çyzgy onda $ds = F\cdot d\varphi$ bolýandygyna görä, çyzyk dispersiýasy:

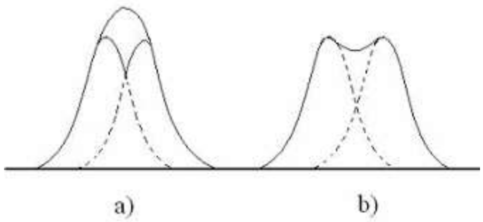
$$D' = \frac{ds}{d\lambda} = F \cdot \frac{d\varphi}{d\lambda} = F \cdot D. \qquad (4.37)$$

Çyzyk dispersiýasynyň ölçeg birligi $\frac{mm}{angstrem}$.

Indi difraksiýa gözeneginiň saýgaryjylyk ukybyna seredeliň. Iki sany ýakyn ýerleşen spektr çyzyklaryň saýgarylmak mümkinçiligi (aýratynlykda görünmegi) diňe ol çyzyklaryň

aralygyna bagly bolman spektr çyzyklaryň giňliginede bagly bolýar. 4.21-nji çyzgyda iki sany jemleýji depginiň şekili görkezilen

4.21-nji *a*) çyzgyda iň uly güýçlenme bir sany bolup görünýär (güýçlenmeler saýgarylmaýar). **4.21-nji *b***) çyzgyda bolsa iki sany güýçlenmäniň aralygynda käbir gowşama bar. Releýiň kriteriýasyna görä deň depginli iki güýçlenmäniň arasyndaky gowşamanyň depgini, güýçlenmäniň depgininiň 80%-den geçmese olar saýgarylýar (aýratyn görünýär). Bu şertiň ýerine ýetmegi üçin bir spektr çyzygyň iň uly güýçlenmesi beýleki spektr çyzygyň iň uly güýçlenmesiniň golaýyndaky birinji iň kiçi gowşama gabat gelmeli.



4.21-nji çyzgy

Difraksiýa gözeneginiň saýgaryjylyk ukyby:

$$R = \frac{\lambda}{d\lambda}. \qquad (4.38)$$

gatnaşyk arkaly kesgitlenilýär. Goý, λ_1 we λ_2 tolkun uzynlykly ýagtylyk tolkunlarynyň ***n***-nji iň uly güýçlenmeleriniň saýgarylma çägini kesgitlemek talap edilýän bolsun.

Onda λ_1-tolkun uzynlykly ýagtylyk tolkunynyň ***n***-nji iň uly güýçlenmesi

$$d \sin\varphi_1 = n\lambda_1.$$

λ_2 - tolkun uzynlykly ýagtylyk tolkunynyň ***n***-nji iň uly güýçlenmesi $d \sin\varphi_2 = n\lambda_2$

λ_1 - tolkun uzynlykly ýagtylyk tolkunynyň ***n***-nji iň uly güýçlenmesinden soňky birinji iň kiçi gowşamasy $d \sin\varphi_1' = n\lambda_1 + \frac{\lambda_1}{N}$ deňleme arkaly kesgitlenilýär.

Eger $\lambda_2 > \lambda_1$ bolsa onda Releýiň kriteriýasy boýunça $\varphi_1' = \varphi_2$. Şu ýagdaý 4.20-nji ***b*** çyzgyda şekillendirilen.

Onda $n\lambda_1 + \frac{\lambda_1}{N} = n\lambda_2$.

Bu ýerden $n(\lambda_2 - \lambda_1) = \frac{\lambda_1}{N}$; $\lambda_2 - \lambda_1 = d\lambda$ ýa-da

$$R = \frac{\lambda}{d\lambda} = n \cdot N. \qquad (4.39)$$

Soňky aňlatmadan görnüşi ýaly difraksiýa gözeneginiň saýgaryjylyk ukyby spektriň tertibine (*n*) we gözenegiň yşlarynyň sanyna (*N*) baglydyr.

Ýokarda seredilen difraksiýa gözenegimize dury (içinden geçiriji) difraksiýa gözenegi diýilýär. Mundan başga-da serpikdiriji difraksiýa gözenekler hem bolýar. Ilkinji geçiriji difraksiýa gözenegi 1821-nji ýylda Fraungofer tarapyndan ýasalýar. Ol, özara parallel ýerleşen iki sany hyrly çüýe inçe simi saraýar, sarymyň simleriniň aralygy yş bolup hyzmat edýär. Soňra Fraungofer ýörite guralyň kömegi bilen aýnanyň üstüne örtülen altyn gatlagy çyzyp, gözenek ýasaýar. Fraungoferiň döreden difraksiýa gözenekleriniň iň gowusynyň bir millimetrdäki yşlarynyň sany 520-ä deň bolupdyr.

XIX-asyryň 80-nji ýyllarynda Rouland (1848-1901 amerkan fizigi) ýörite gural oýlap tapyp, onuň kömegi bilen 1 mm-de 800 yşy bolan gözenegi ýasamagy başarýar. Roulandyň guraly Anderson we Wud tarapyndan kämilleşdirilip XX-asyryň 50-nji ýyllarynda 1 mm-de 1200 yşy bolan gözenek döredilýär. Häzirki wagtda 1 mm-de 2400 yşy bolan difraksiýa gözenekleri hem bar.

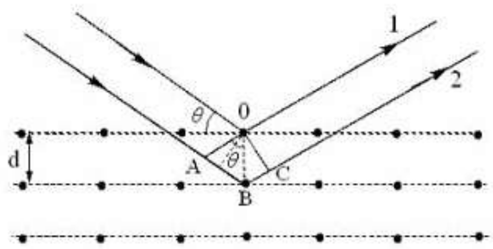
Serpikdiriji difraksiýa gözenekleri metalyň (köplenç alýuminiň) ýa-da aýna plastinkasynyň üstüne, ýörite (almaz kesgiçli) guralyň kömegi bilen çyzmak arkaly ýasaýarlar.

Difraksiýa gözenekleri bilen bir hatarda, ýasamagy ýeňil we arzan bolan replikalar hem üstünlikli peýdalanylýar.

Tekiz we oýuk difraksiýa gözeneklerinden başga-da, basganҫakly difraksiýa gözenekleri hem bar. Oňa Maýkelsonyň eşalonyny we Maýkelson-Wilýamsyň eşalonyny mysal görkezmek bolýar. Has gysga tolkun uzynlykly elektromagnit tolkunlarynyň (mysal üçin rentgen şöhlesiniň) difraksiýasyny ýüze çykarmak üçin, üç ölçegli difraksiýa gözeneklerine eýe bolan tebigy gözenekler diýlip atlandyrylýan kristallar peýdalanylýar.

4.7. Rentgen şöhleleriniň difraksiýasy

Difraksiýa gözeneginiň kömegi bilen difraksiýanyň aýdyň ýüze çykmagy üçin gözenegiň periody, düşýän tolkunynyň uzynlygyna ($d \approx \lambda$) golaý bolmaly. Şol sebäpli, görünýän we ultramelewşe çäkdäki elektromagnit tolkunlaryna ulanylýan difraksiýa gözenekleri, rentgen şöhleleriniň difraksiýasyny ýüze çykaryp bilmeýär. Rentgen şöhleleriniň difraksiýasyny ýüze çykarmak üçin tebigy difraksiýa gözenekleri, ýagny kristallar peýdalanylýar. Kristallaryň bir-birinden kesgitli aralykda ýerleşen elementar öýjükleri (ýaçeýkalary) yş bolup hyzmat edýär. Rentgen şöhleleriniň difraksiýasyny ýüze çykarýan kristal öýjükleriň periody $10^{-3} sm$ çemesindedir.



4.22-nji çyzgy

Kristaly difraksiýa gözenegi hökmünde ulanyp, nemes fizigi Laue (1879-1960ý) 1912-nji ýylda ilkinji gezek rentgen şöhleleriniň difraksiýasyna gözegçilik etmegi başardy.

Monohromatik rentgen şöhlesi kristal gözenege düşüp, pytraýar. (4.22-nji çyzgy). Özara parallel we bir-birinden deň aralykda ýerleşen ion gatlakda pytran tolkunlar kogerentdirler we interferensiýany döredip bilýärler.

Iki gatlakdan pytran tolkunlaryň bir-birini güýçlendirmegi üçin olaryň geçen ýollarynyň tapawudy $\Delta r = n\lambda$ şerti kanagatlandyrmaly (n=1,2,3,...). 4.21-nji çyzgydan

$$\Delta r = AB + BC = 2d\sin\theta .$$

bu ýerde d-goňşy gatlaklaryň aralygy, onda

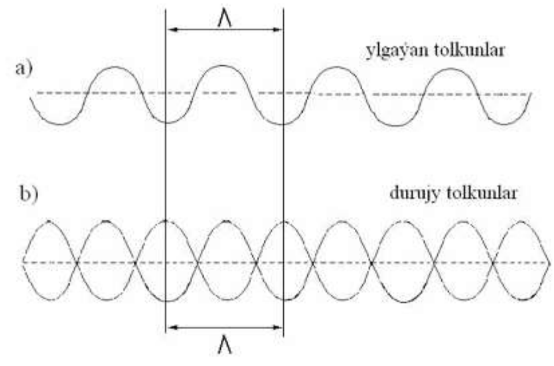
$$2d\sin\theta = n\lambda \qquad (4.40)$$

şert ýerine ýetende, difraksiýa sezewar bolan rentgen şöhleleriniň güýçlenmesi bolýar. θ- rentgen şöhlesiniň kristalyň üst tekizligine ýapgytlanma burçy.

(4.40) aňlatma Wulfyň – Breggiň aňlatmasy diýlip atlandyrylýar. Bu aňlatmanyň kömegi bilen belli tolkun uzynlykly rentgen şöhlesi üçin θ, n we d ululyklar kesgitlenilýär. Eger kristalyň ion gatlaklarynyň aralygy (d) belli bolsa, onda θ, n we λ ululyklar kesgitlenilýär. Rentgen şöhleleri arkaly maddalaryň gurluşlaryny öwrenýän fizikanyň bölümine rentgenospektrskopiýa diýilýär.

4.8. Ultrasesiň durujy tolkunlaryndaky ýagtylygyň difraksiýasy

Ýygylygy 20 kGs-den ýokary bolan maýyşgak yrgyldylara ultrases diýilýär. Köplenç ultrasesler magnitostriksiýa we pýezoelektrik effektlerine esaslanan öndürijiler (generatorlar) tarapyndan şöhlelendirilýär.



4.23-nji çyzgy

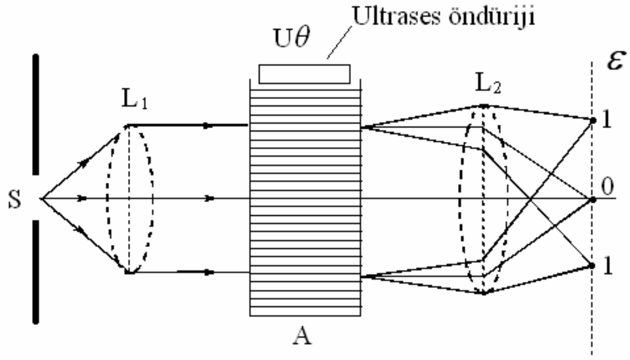
Mälim bolşy ýaly, ses boý tolkunlar bolmak bilen gurşawyň periodiki dykyzlanmasyny ýa-da seýreklenmesini döretmek arkaly ýaýraýar. Netijede gurşawyň dykyzlygy periodiki üýtgeýär. Bu bolsa gurşawyň ýagtylygy döwme görkezijisiniň periodiki üýtgemesine getirýär. Eger ultrases suwuklyga gönükdirilen bolsa, onda beýle suwuklyk ýagtylyk üçin difraksiýa gözenegi bolup hyzmat edip bilýär. Eger ultrases ýaýraýan suwuklygynda käbir päsgelçilikden serpikdirilse onda öňe we yza ýaýraýan tolkunlar goşulyp, durujy tolkuny emele getirýär (4.23-nji çyzgy) .

Suwuklykda ýaýraýan ultrases tolkunlaryň-da duryjy ultrases tolkunlaryň-da döredýän difraksiýa gözeneginiň periody ultrasesiň tolkun uzynlygyna deňdir. Suwda we ksilolda ultrasesiň ýaýrama tizligi $\vartheta \approx 1000\frac{m}{s}$. Onda ýygylygy $\nu = 10^8 Gs$ bolan ultrasesiň tolkun uzynlygy

$\lambda = \frac{\vartheta}{\nu} = \frac{10^3}{10^8} = 10^{-5}m = 10mkm$ bolup, suwuklykda periody $10mkm$ bolan faza difraksiýa gözenegini emele getirýär.

Beýle gözenekde, görünýän ýagtylygyň difraksiýasyna syn etmek mümkin.

Ultrasesi döredýän kristallaryň (kwars, turmalin) özünde-de durujy ultrases tolkunlary ýüze çykarýar we kristaly difraksiýa gözenegi hökmünde peýdalanmaga mümkinçilik berýär.



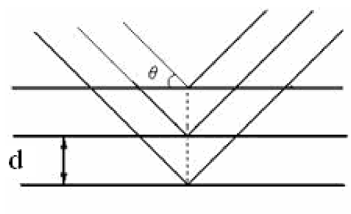
4.24-nji çyzgy

Beýle gözenekde difraksiýanyň ýüze çykyşy 4.24-nji çyzgyda şekillendirilýär. S-yşdan ýaýraýan ýagtylyk L-linzanyň kömeginde parallel desse görnüşinde ultrasesiň täsirinde döredilen gözenege gönükdirilýär.

Gözenekden geçen ýagtylyk difraksiýa zerarly spektre dargaýar. L_2 linzanyň fokal tekizliginde ýerleşdirilen **ε** ekranda difraksiýa şekili emele gelýär. 4.24-nji çyzgyda nolunjy we 1-nji tertipli difraksiýa zerarly ýagtylygyň iň uly güýçlenmeleri şekillendirilen.

Eger gözenegiň periody ultrases tolkunlarynyň λ tolkun uzynlygyna deň diýip hasap etsek, onda ýagtylygyň difraksiýa zerarly iň uly güýçlenmesini Wulfyň – Breggiň aňlatmasynyň esasynda kesgitläp bileris. 4.25-nji çyzgydan

$$2d\sin\theta = n\lambda \quad (n=1,2,3,...)$$



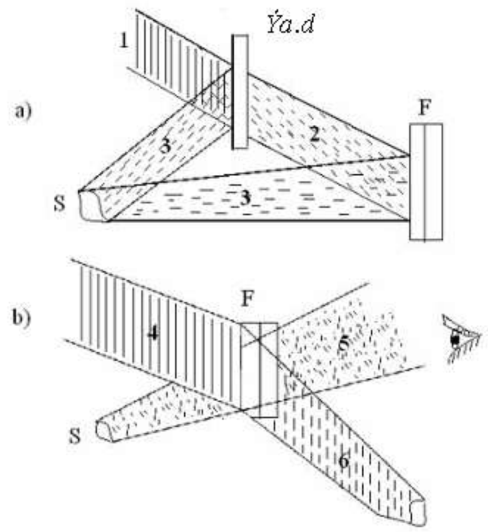
4.25-nji çyzgy

Ultrases tolkunlaryndaky ýagtylygyň difraksiýasy ultrasesiň maddalarda ýaýrama kanunlaryny derňemekde wajyp usullaryň biri bolup hyzmat edýär.

4.9. Golografiýa barada düşünje

1948-nji ýylda iňlis fizigi Dennis Gabor (1900-1979) optiki abzallaryň kömegi bilen alynýan şekilden düýpgöter tapawutlanýan täze şekili teklip etdi.

Adaty optiki abzallarda (fotoabzal, proýektirleýän abzallar, kinoabzallar, göz we ş.m.) tolkunlaryň diňe depgini hasaba alynýar. Gaboryň teklip eden usulynda interferensiýa hadysasy arkaly tolkunyň ýygylyk we faza gatnaşyklaryny hasaba alnyp, emele getirilen şekil soňra tolkunyň amplituda gatnaşyklaryny ýüze çykarmak üçin peýdalanylýar. Adaty fotoçyzgyda tolkunyň diňe bir sany häsiýetnamasy, ýagny onuň amplitudasy hasaba alynýar. Gaboryň usulynda tolkun baradaky ähli maglumat ýagny tolkunyň ýygylygy, fazasy we amplitudasy doly hasaba alynýar. Gaboryň usulynda döreýän interferensiýa zolaklaryna gologramma, şekil almagyň usulyna bolsa golografiýa diýilýär. Gologramma – grek sözi bolup (holos-doly, ähli; gramma-ýazgy) doly ýazgy diýmegi aňladýar.



4.26-njy çyzgy

Gologrammany almak üçin (4.26-njy a çyzga seret) ýagtylyk dessesi 1 ýarymdury aýna (Ýa.d) gönükdirilýär. Ýagtylyk dessesi 1 ýarymdury aýnada iki dessä bölünýär.

Ýarymdury aýnadan geçen desse 2 fotoemulsiýaly gatlaga düşýär. (daýanç desse diýlip atlandyrylýar.) Desse 1-iň ýarymdury aýnadan serpigen bölegi *S* predmetiň üstüne düşüp ýagtylandyrýar we predmetde pytraýar. Pytran dessäniň bir bölegi (predmet dessesi diýlip atlandyrylýar) fotoemulsiýa gatlaga düşüp, daýanç desse bilen interferensiýany ýüze çykarýar. Netijede fotoemulsiýa gatlakda interferensiýa şekili döreýär. Şeýle usulda döredilen şekile gologarmma diýilýär. Gologramma daşky görnüşi boýunça predmete meňzeş bolmaýar. Ol interferensiýa sebäpli ýagtylygyň depgininiň güýçlenmeleriniň we gowşamalarynyň şekili interferensiýa zolaklary görnüşinde bolýar. Başgaça aýdanymyzda “Nýutonyň halkalary” görnüşinde bolýar.

Gologrammadan anyk şekili almak 4.26-njy *b* çyzgyda şekillendirilýär. Şekili täzeden ýüze çykarmak (dikeltmek) üçin daýanç dessäniň fotoemulsiýa gatlaga düşme burçuna deň bolan burç bilen kogerent yagtylyk dessesi 4 fotoemulsiýa gönükdirilýär. Gologrammada desse 4 pytrap ýaýbaňlanýan dessä 5 we ýygnanýan dessä 6 bölünýär. Desse 6 predmetiň göwrümleýin hakyky şekilini ýüze çykarýar. Beýle şekiliň kemçilikli tarapy onuň aýnada (zerkola) alnan ýaly görünmesidir. Adatça gologramma ýaýbaňlanýan dessede (5) gözegçilik edilýär we predmetiň hyýaly anyk şekil ýüze çykarylýar.

Golografiýa usuly arkaly şekil almagyň aýratynlyklaryna seredip geçeliň.

Adaty ýagtylyk çeşmeleri ýokary monohromatiklige eýe bolmaýanlygy sebäpli gologrammany aýdyň görnüşde almak örän kyn. Bu kynçylyk 1962–1963-nji ýyllarda kwant generatorlary – lazerler oýlanyp tapylmagy bilen aradan aýryldy. Lazer çeşmeleriniň kogerent ýagtylyk tolkunlarynyň kömeginde ýokary hilli gologrammalar alynýar.

1962-nji ýylda rus fizigi Ýu.M.Denisýuk fransuz fizigi Gabriel Zippmanyň reňkli fotoçyzgyyň alynyş usuly baradaky taglymatyndan ugur alyp reňkli golografiýany almagyň usulyny döretdi. Zippman tekiz üstde göwrümleýin şekil almagy amala aşyrdy.

Golografiýa predmetiň tutuş göwrümini şekillendirýär. Onuň islendik tarapyny çyzgyda görmek mümkin. Häzirki döwürde güýçli depgin bilen ösýän ugra öwrülen golografiýanyň mümkinçiliklerine seredip geçeliň.

1. Adaty ak-gara we reňkli fotoçyzgylarda çyzgya düşürilen her bir zadyň şekili tutuşlygyna saklanmalydyr. Eger onuň käbir bölegi zaýalansa ýa-da bölünip alynsa onda ol fotoçyzgy zaýalanan ýa-da bölünip alnan ýerindäki maglumaty berip bilmeýär. Gologrammada her bir bölünip aýrylan bölek tutuş predmet barada doly maglumat berip bilýär. Bu ýagdaý edil linzanyň uly bolmadyk böleginde şekil alnyşy ýaly bolýar, emma abat linzada alnan

şekilden öçügsi bolýar. Şu ýerden görnüşi ýaly gologramma maglumaty saklamakda adaty fotoçyzgylardan has ygtybarlydyr.

2. Gologrammanyň adaty fotoçyzgylardan tapawutlylykda maglumat saklamak sygymy has uludyr. Mysal üçin adaty fotokagyzyň ýa-da fotoýorkanyň (6 x 9)mm^2 ölçegli böleginde bir çap sahypadaky ýazgylar ýerleşdirilip bilinýär. Gologrammada bu ölçegdäki meýdança emulsiýanyň hiline baglylykda 100-den 300-e çenli çap sahypalyk maglumat ýerleşýär. Bilişimiz ýaly häzirki döwürde çap-ýazgy önümler örän uly mukdarda yzygider öndürilýär. Olary ygtybarly we ykjam görnüşde saklamakda gologramma taýsyzdyr.
3. Golografiýanyň kömeginde steriokopik reňkli kino we telewideniýe döredilýär.
4. Eger λ tolkun uzynlykly ýagtylykda gologramma geçirilen şekil $\lambda_1 > \lambda$ tolkun uzynlykdaky ýagtylyk arkaly täzeden dikeldilse onda onuň ölçegleri $\frac{\lambda_1}{\lambda}$ gatnaşyk ýaly ulaldylan görnüşde alynýar. Bu bolsa mikroskopyň ulaldyşyny artdyryp saýgaryjylygyny ýokarlandyrmada mümkinçilik döredýär.
5. Akustiki golografiýa has gyzyklandyryjydyr. Bilşimiz ýaly kogerent ses çeşmelerini döretmek kyn däl, ses suwuklyklarda we gaty jisimlerde has gowy ýaýraýar. Bu bolsa dury däl zatlaryň üç ölçegli akustik gologrammasyny almagy ýeňilleşdirýär. Akustiki gologrammadaky şekili görünýän ýagtylyk arkaly täzeden dikeldip, predmetleriň mysal üçin, demirbeton goýmalaryň, metal goýmalaryň, janly organizmleriň içki gurluşyny görmek mümkin. Gologrammanyň bu häsiýeti tehnikada we lukmançylyk işlerinde deňi-taýy bolmadyk mümkinçiliklere ýol açýar.

Golografik usulyň mümkinçilikleri gitdigiçe kämilleşýär we ýakyn geljekde bu usul gündelik durmuşymyzda öz mynasyp ornuny eýeläp ýeňillikler döreder.

Bäşinji bap

Geometrik optika

5.1. Geometrik optika – tolkun optikasynyň çäk ýagdaýy hökmünde

Ýagtylygyň interferensiýa we difraksiýa hadysalary onuň tolkun görnüşinde ýaýraýandygyny subut edýär. Tolkun nazaryýetiniň kömegi bilen ýagtylygyň islendik optiki gurşawlarda ýaýraýşyny we dürli üstler bilen çäklenen optiki ulgamlardan geçişini düşündirmek mümkin. Emma, ýagtylyk dessesini döretmek, şekil emele getirmek meselelerini geometrik optika arkaly has ýönekeý ýol bilen düşündirmek mümkin.

Geometrik optika ýagtylygyň ýaýraýşyny düşündirmekde ýagtylygyň serpikme we döwülme kanunlaryna boýun egýän şöhle düşünjesine esaslanýar. Şöhle diýlende, birhilli (birjynsly) gurşawda ýaýraýan ýagtylygyň inçejik dessesi göz öňünde tutulýar. Ýagtylygyň inçejik dessesini bir ýa-da birnäçe germawlary (diafragmalar) arkaly almak mümkin. Germawdaky ýagtylygyň geçýän deşigiň ölçeglerini tükeniksiz kiçeltmek bilen tükeniksiz inçe şöhläni almak başartmaýar. Sebäbi deşigiň ölçegleriniň çakdanaşa kiçelmegi bilen difraksiýa zerarly şöhläniň ýaýbaňlanmasy ýüze çykýar. Deşigiň diametri *D* bolan germawdan geçen ýagtylyk dessesiniň giňelmesi $\varphi \sim \frac{\lambda}{D}$ gatnaşyga bagly bolan difraksiýa burçy arkaly kesgitlenilýär. Diňe deşigiň diametri *(D)* ýagtylygyň tolkun uzynlygyndan *(*λ*)* has uly $(D >> \lambda)$ bolanda ýa-da $\lambda \to 0$ ýagdaýynda $\varphi \to 0$ bolýar, ýagny difraksiýa ýok bolup dessäniň giňelmesi ýüze çykmaýar. Diňe şu çäk şertde, ýagtylyk energiýasynyň ýaýraýan ugry bolan geometrik çyzyga ýagtylyk şöhlesi diýmek mümkin. Şeýlelik bilen, geometrik optika ýagtylygyň tolkun uzynlygynyň tükeniksiz kiçi $\lambda \to 0$ ýagdaýyna laýyk gelýän, hakyky tolkun optikasynyň çäk ýagdaýydyr.

5.2. Fermanyň düzgüni

Geometrik optikanyň esasy kanunlary: ýagtylygyň birjynsly gurşawda gönüçyzykly ýaýramagy, dürli döwme görkezijili birjynsly gurşawlaryň araçäginde döwülmegi we serpikmesi gadym eýýämlardan bäri bellidir.

Döwme görkezijisi üsnüksiz üýtgeýän gurşawda ýa-da islendik gurşawda ýagtylygyň ýaýraýşyny beýan edip bilýän umumy kanunalaýyklyk 1679-njy ýylda fransuz matematigi Ferma tarapyndan esaslandyryldy.

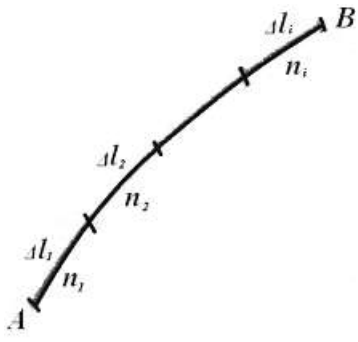
Fermanyň pikirine görä, ýagtylyk gurşawda ýaýranda mümkin bolan ýollaryň iň gysga wagtda geçip bolýany boýunça ýaýraýar. Bu kanunalaýyklyga Fermanyň düzgüni diýilýär.

Eger ýagtylyk birjynsly gurşawda ýerleşen iki nokadyň arasynda ýaýraýan bolsa onda iň gysga wagtda geçilýän ýol ol iki nokady birleşdirýän gönidir. Eger gurşawyň iki nokadynyň arasynda döwme görkezijisi üýtgeýän bolsa, onda iň gysga wagtda ýagtylygyň geçip biljek ýoly optiki ýol düşünjesinden peýdalanyp kesgitlenilýär. Ýagtylygyň geometrik ýolunyň gurşawyň döwme görkezijisine köpeltmek hasylyna optiki ýol diýilýär.

$$L = n \cdot l \ .$$

Bu ýerde L-optiki ýol, l-geometrik ýol, n-gurşawyň döwme görkezijisi.

Ýagtylyk birjynsly bolmadyk gurşawda ýaýraýan bolsa optiki ýoly kesgitlemek üçin her bir böleginiň çäginde döwme görkezijisi hemişelik bolan kiçijik böleklere bölmeli (5.1-nji çyzgy) we her bölek üçin optiki ýoly aýratyn kesgitläp soňra jemlemeli.



5.1-nji çyzgy

Bu ýagdaýda gurşawyň A nokadyndan B nokadyna çenli optiki ýoluň uzynlygy:

$$L = n_1 \cdot \Delta l_1 + n_2 \cdot \Delta l_2 + ... + n_n \cdot \Delta l_n = \sum_{i=1}^{n} n_i \cdot \Delta l_i$$

aňlatma arkaly kesgitlenilýär.

Jemi integral bilen çalyşyp $L=\int_A^B ndl$ görnüşde ýazmak bolar.

dl elementar geometrik ýoly ýagtylygyň gurşawda ýaýrama ϑ tizliginiň we dl aralygy geçmek üçin gerek bolan dt wagtyň üsti bilen aňladyp, ýagtylygyň gurşawyň A nokadyndan B nokadyna barýança gerek bolan wagty kesgitläp bileris:

$$\vartheta=\frac{dl}{dt};\qquad dt=\frac{dl}{\vartheta};\qquad \vartheta=\frac{c}{n};\qquad t=\int_A^B\frac{dl}{\vartheta}=\int_A^B\frac{ndl}{c}=\int_A^B\frac{dL}{c}.$$

Bu ýerde **c**-ýagtylygyň wakuumda ýaýrama tizligi. Fermanyň iň kiçi wagt düzgüni boýunça, ýagtylygyň ýaýrama wagty kesgitlenilýän integralyň üýtgemesi (wariasiýasy) nola öwrülmelidir:

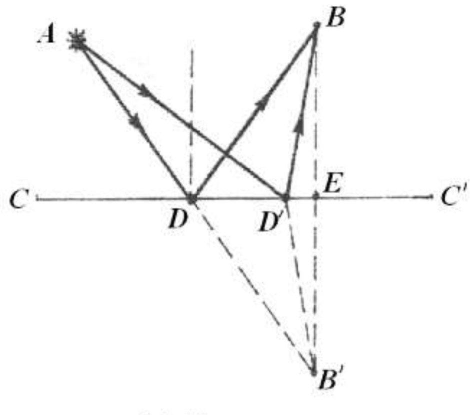
$$\delta t=\delta\int_A^B\frac{dl}{\vartheta}=\delta\int_A^B\frac{ndl}{c}=0$$

Ynha, şu Fermanyň düzgüniniň matematiki aňladylyşydyr.

Fermanyň düzgünini aşakdaky ýaly hem beýan etmek bolýar: Ýagtylyk, optiki uzynlygy iň kiçi bolan ýol boýunça ýaýraýar.

Dürli döwme görkezijili iki gurşawyň tekiz araçäginde ýagtylygyň serpikme we döwülme kanunlary Fermanyň düzgüniniň esasynda getirilip çykarylýar. Oňa göz ýetirmek üçin aşakdaky mysallara seredeliň.

Goý, ýagtylyk şöhlesi A nokatdan çykyp, CC' üstden serpigip, B nokada düşýän bolsun. (5.2-nji çyzgy) Şöhle üçin iki sany ýoly saýlap alalyň: Serpikme kanunynyň ýerine ýetýän ADB ýoly we islendik $AD'B$ ýoly.



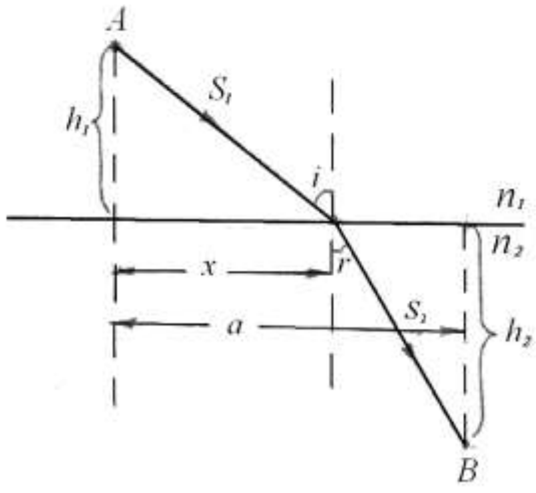
5.2-nji çyzgy

B nokatdan CC' üste perpendikulýar BE göni geçireliň we onuň dowamynda $EB'=BE$ kesimi alalyň. D we D' nokatlary B' nokat bilen birleşdireliň. Onda $\Delta DBE=\Delta DB'E$ bolar.

Bu ýerden: $D'B=D'B'$. Diýmek ADB ýoluň uzynlygy $AD+DB=AD+DB'$ bolar. $AD'B$ ýoluň uzynlygy bolsa $AD'+DB'=AD'+D'B'$ bolar. 5.2-nji çyzgydan görnüşi ýaly $AD+DB'<AD'+D'B'$.

Diýmek $AD + DB < AD' + DB'$.

Başgaça aýdanymyzda D' nokadyň D nokada gabat gelmeýän islendik ýagdaýynda $AD'B'$ döwük çyzyk ADB' göni çyzykdan uzyndyr. Şonuň üçin şöhle diňe iň gysga ýol bolan ADB ugur boýunça ýaýraýar.



5.3-nji çyzgy

Goý, şöhle dürli döwülme görkezijili gurşawlarda ýerleşen A we B nokatlaryň arasynda ýaýraýan bolsun. (5.3-nji çyzgy) Optiki ýoluň iň gysga bolmagy üçin gurşawlaryň araçäginiň haýsy nokadynyň üsti bilen şöhläniň geçjekdigini kesgitläliň.

A nokatdan B nokada çenli geçilen optiki ýoluň umumy uzynlygy

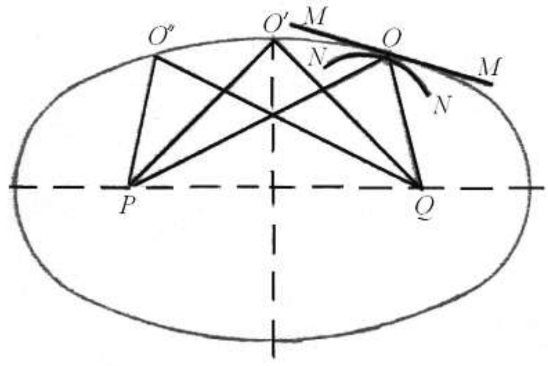
$$L = s_1 n_1 + s_2 n_2 = n_1\sqrt{h_1^2 + x^2} + n_2\sqrt{h_2^2 + (a-x)^2}\ .$$

Ýoluň iň gysga uzynlygyny kesgitlemek üçin soňky aňlatmany **x** boýunça differensirläp, nola deňlemeli:

$$\frac{dL}{dx} = \frac{n_1}{\sqrt{h_1^2 + x^2}} - \frac{n_2(a-x)}{\sqrt{h_2^2 + (a-x)^2}} = n_1\frac{x}{s_1} - n_2\frac{x}{s_2} = 0\,.$$

5.3-nji çyzgydan görnüşi ýaly

$$\frac{x}{s_1} = \sin i\ ; \quad \frac{x}{s_2} = \sin r\,.$$



5.4-nji çyzgy

Diýmek $n_1 \sin i = n_2 \sin r$, ýagny ýagtylygyň iki gurşawynyň araçäginde döwülme kanuny alyndy. $\frac{dL}{dx} = 0$ ekstremal şert. Bu şert diňe bir iň kiçi we iň uly şertleri kanagatlandyrmak bilen bir hatarda durnuklylyk şerti hem kanagatlandyrýar. Diýmek ýagtylygyň ýoly diňe bir iň kiçi bolman iň uly hem, üýtgewsiz hem (mümkin bolan ýollaryň islendigi hem) bolup bilýär.

Ýagtylygyň ýolunyň durnuklylyk şertiniň ýerine ýetýän mysalyna seredeliň.

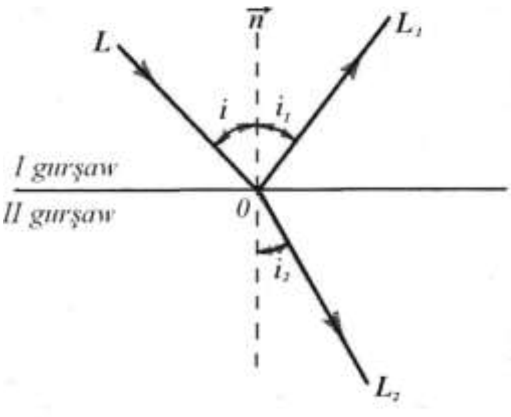
Eger nokatlanç ýagtylyk çeşmesi *P*, aýlanma ellipsoidiň fokuslarynyň birinde ýerleşen bolsa, onda çeşmeden çykýan şöhleler ellipsoidiň içki üstünden serpigip, onuň beýleki fokusynda (Q) ýygnanýar we *P* nokadyň şekilini emele getirer (5.4-nji çyzgy) .

Ellipsoidiň häsiýeti boýunça $PO+OQ$ ululyk *O* nokadyň islendik ýagdaýy üçin hem hemişelikdir, ýagny: $PO''+O''Q=PO'+O'Q=PO+OQ$.

Şu mysalda ekstremal şertiň üç ýagdaýyny hem jemlemek mümkin: ellipsoidiň *O* nokadyna galtaşýan uly egrilik radiusly *MM* üstden ýagtylyk serpigende *POQ* ýagtylygyň ýoly, beýleki ýollaryň iň gysgasy, egrilik radiusy kiçi bolan *NN* üstden serpigende bolsa *POQ* ýagtylygyň ýoly, beýleki ýollaryň iň uzyny bolýar.

5.3. Döwme görkezijileri dürli bolan iki gurşawyň tekiz araçäginde ýagtylygyň serpikme we döwülme kanunlary

Ähli dury maddalar (howa, wakuum, suw, aýna we ş.m.) ýagtylygyň ýaýrap bilýän gurşawlarydyr. Ýagtylygyň ýaýraýan gurşawlary birhilli (birjynsly) we birhilli däl, izotrop we anizotrop bolýarlar. Biz bu bölümde diňe izotrop gurşawlarda ýagtylygyň ýaýraýşyna serederis. Dielektrikler bir-birinden dielektrik syzdyryjylygynyň ululygy bilen tapawutlanýarlar. Eger ýagtylygyň ýaýraýan ugrynda gurşawyň dielektrik syzdyryjylygy üýtgemese ($\varepsilon =$ **hemişelik**), onda beýle gurşawa izotrop gurşaw diýilýär. Izotrop gurşawlara howa, wakuum, suw, aýna, gazlar, dury erginler, ýaglar we ş.m. degişlidir. Birhilli, izotrop gurşawlarda ýagtylyk şöhlesi gönüçyzykly ýaýraýar.



5.5-nji çyzgy

Goý, ýagtylyk şöhlesi iki gurşawyň (howa-suw, howa-aýna, suw-aýna we ş.m.) tekiz araçäginde *O* nokada düşýän bolsun. *LO* ýagtylyk şöhlesi *O* nokatda ikä bölünýär: bir bölegi serpikýär (OL_1 şöhle), galany döwülüp ikinji gurşawa geçýär (OL_2 şöhle) (5.5-nji çyzgy)

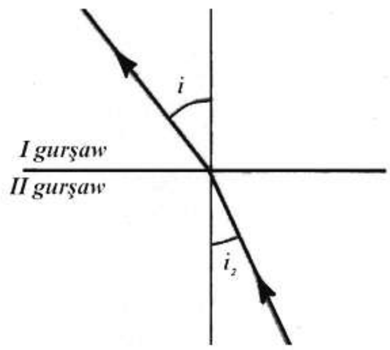
Şöhläniň gurşawlaryň tekiz araçägine düşen *O* nokadyna tekiz araçäge (perpendikulýar) ($\vec{n}O$) normal geçireliň.

Düşýän (*LO*) şöhle bilen ($\vec{n}O$) normalyň arasyndaky burça (*i*) şöhläniň düşme burçy diýilýär: serpigen (OL_1) şöhle bilen ($\vec{n}O$) normalyň arasyndaky burça (i_1) şöhläniň serpikme burçy diýilýär.

Döwülen şöhle (OL_2) bilen ($\vec{n}O$) normalyň arasyndaky burça (i_2) şöhläniň döwülme burçy diýilýär. Dürli döwülme görkezijili iki gurşawyň tekiz araçägine düşýän, ondan serpigen we döwülen şöhleleriň üçüsi-de şol bir tekizlikde ýatýarlar. Bu tekizlige ýagtylyk şöhlesiniň düşme tekizligi diýilýär. Düşme tekizlik diýlende, düşýän şöhle bilen düşme nokadyna inderilen normalyň üstünden geçýän tekizlik göz öňünde tutulýar.

Ýagtylygyň serpikme kanuny: düşýän we serpigýän şöhleler bir tekizlikde, düşme nokada inderilen normala simmetrik ýerleşýär, düşme burçy serpikme burçuna sanma-san deňdir:

$$i = i_1 . \qquad (5.1)$$

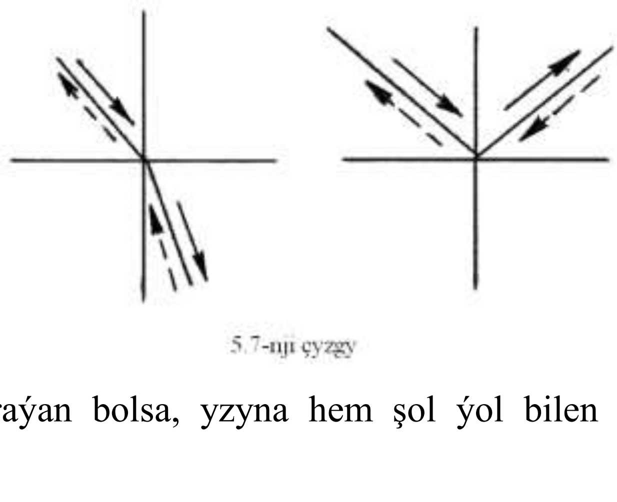


5.6-njy çyzgy

Ýagtylygyň döwülme kanuny: düşýän we döwülen şöhleler bir tekizlikde ýatýarlar; düşme burçunyň sinusynyň döwülme burçunyň sinusyna bolan gatnaşygy berlen gurşawlar jübüti üçin hemişelikdir:

$$\frac{\sin i}{\sin i_2} = n_{2,1} . \qquad (5.2)$$

Bu ýerde $n_{2,1}$-a ikinji gurşawyň birinji gurşawa görä döwülme görkezijisi.


5.7-nji çyzgy

Eger şöhle ikinji gurşawdan araçäge i_2 burç bilen düşse, onda döwülme burçy *i*-e deň bolýar. (5.6-njy çyzgy)

5.5-nji we 5.6-njy çyzgylardan görnüşi ýaly şöhle haýsy ýol bilen ýaýraýan bolsa, yzyna hem şol ýol bilen ýaýraýar. Muňa ýagtylyk şöhleleriniň ýaýramasynyň ikitaraplylyk ýa-da öwrülişiklik kanuny diýilýär.

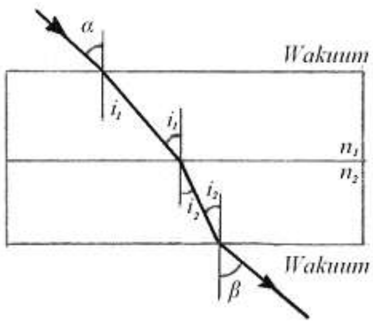
Bu kanun ýagtylyk şöhlesiniň serpikmeginde-de, döwülmeginde-de doly ýerine ýetýär (5.7-nji çyzgy).

Ýagtylyk II gurşawdan I gurşawa geçende (5.6-njy çyzgy) ýagtylygyň döwülme kanuny

$$\frac{\sin i_2}{\sin i} = n_{1,2} \quad (5.3)$$

görnüşde aňladylýar. Bu ýerde $n_{1,2}$ I gurşawyň II gurşawa görä döwme görkezijisi diýilýär. (5.2) we (5.3) deňlemeleri deňeşdirip alarys:

$$n_{2,1} = \frac{1}{n_{1,2}} . \qquad (5.4)$$

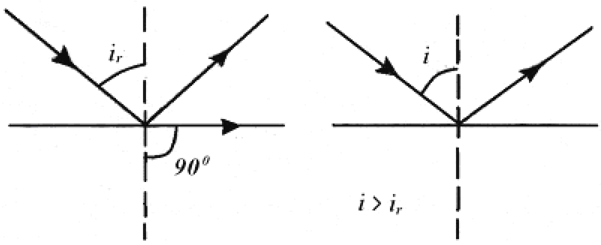


5.8-nji çyzgy

Islendik gurşawyň wakuuma görä döwme görkezijisine absolýut döwme görkezijisi diýilýär. Eger 5.5-nji çyzgyda birinji gurşaw wakuum diýsek onda (5.2) aňlatma

$$\frac{\sin i}{\sin i_2} = n_2 \qquad (5.5)$$

görnüşe eýe bolar. n_2 ikinji gurşawyň absolýut döwme görkezijisi.



5.10-njy çyzgy

Goy, absolýut döwme görkezijileri degişlilikde n_1 we n_2 bolan iki sany tekiz parallel dury gurşawlar wakuumda özara galtaşdyryp ýerleşdirilen bolsun. (5.8-nji çyzgy). Şeýle ulgamdan geçen ýagtylyk şöhlesi ilkibaşdaky ugruna parallel ýaýraýar, ýagny $\alpha = \beta$. (5.6)

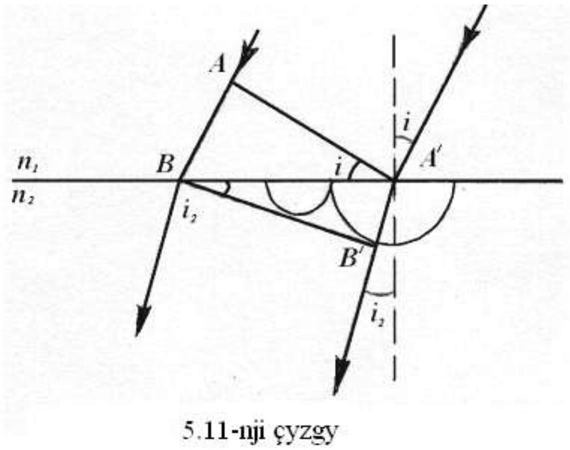
Çyzgyda görkezilen üç araçäk üçin ýagtylygyň döwülme kanuny:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin i_1} = n_1 , \quad \frac{\sin i_1}{\sin i_2} = n_{2,1} , \quad \frac{\sin i_2}{\sin\beta} = \frac{1}{n_2} . \qquad (5.7)$$

Bu ýerde $$\frac{\sin i_1}{\sin i_2}=\frac{n_2}{n_1}\ ;\ n_{2,1}=\frac{n_2}{n_1}. \qquad (5.8)$$

Şeýlelikde, ikinji gurşawyň birinji gurşawa görä döwme görkezijisi, ol gurşawlaryň absolýut döwme görkezijileriniň gatnaşygyna deňdir. (5.8) aňlatmadan görnüşi ýaly $n_1 > n_2$ bolsa $i_2 > i$ ýa-da tersine (5.9-njy çyzgy).

Çyzgydan görnüşi ýaly ýagtylyk şöhlesi döwme görkezijisi uly gurşawdan döwme görkezijisi kiçi gurşawa geçende, döwme burçy düşme burçundan uly bolýar (eger $i \neq 0$ bolsa). Bu ýagdaýda döwülme burçy 90^o bolanda-da düşme burçy ($i < 90^o$) 90^o –dan kiçi bolýar.



5.11-nji çyzgy

Döwme burçy 90^o bolanda döwülen şöhle iki gurşawyň araçägi boýunça ýaýraýar. (5.10-njy çyzgy). Döwme burçy 90^o bolanda düşme burçunyň ululygyna çäk burç diýilýär.

Düşme burçy çäk burçdan uly bolsa döwülen şöhle serpigen şöhlä goşulýar. Bu hadysa ýagtylygyň doly içki serpikmesi diýilýär.

Ýagtylygyň gurşawda ýaýrama tizligi, gurşawyň döwme görkezijisine baglydyr. Bu baglanşygy Gýuýgensiň düzgüninden peýdalanyp getirip çykarmak mümkin. Goý, absolýut döwme görkezijileri degişlilikde n_1 we n_2 bolan gurşawlaryň araçägine AA' tekiz tolkun fronty düşýän bolsun. Onda Gyuýgensiň düzgünine laýyklykda BB' tekiz tolkun fronty alarys (5.11-nji çyzgy).

Eger ýagtylygyň birinji gurşawda ýaýrama tizligi ϑ_1 we ikinji gurşawda ýaýrama tizligini ϑ_2 diýip kabul etsek, onda AA' tolkun frontynyň A nokady iki gurşawyň araçägine Δt wagtda B nokatda ýeter. Bu wagtyň dowamynda A' nokat B' nokada süýşer, ýagny:

$$AB=\vartheta_1\Delta t, \quad A'B'=\vartheta_2\Delta t.$$

5.11-nji çyzgydan:

$$\sin i = \frac{\vartheta_1 \Delta t}{BA'}, \quad \sin i_2 = \frac{\vartheta_2 \Delta t}{BA'}.$$

Deňlikleri gatnaşdyryp alarys:

$$\frac{\sin i}{\sin i_2} = \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2}. \qquad (5.9)$$

(5.8) we (5.9) deňliklerden:

$$\frac{\sin i}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2}. \qquad (5.10)$$

Eger birinji gurşaw wakuum diýsek, onda

$$n_1 = 1, \ \vartheta_1 = c, \quad n_2 = \frac{c}{\vartheta_2} \qquad (5.11)$$

bolar.

Eger ikinji gurşaw wakuum diýsek, onda

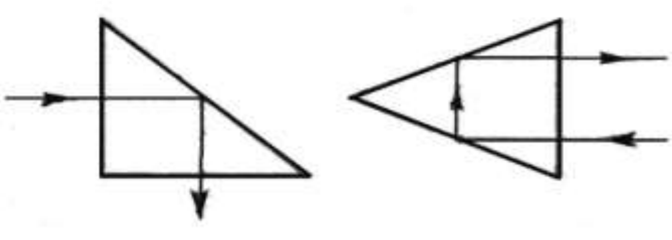
$$n_2 = 1, \ \vartheta_2 = c, \quad n_1 = \frac{c}{\vartheta_1}. \qquad (5.12)$$

bolar.

(5.2) we (5.9) aňlatmalarda gurşawlaryň absolýut döwme görkezijileriniň fiziki manysy ýüze çykýar. Döwme görkezijisiniň fiziki manysy: ýagtylygyň gurşawda ýaýrama tizliginiň onuň wakuumda ýaýrama tizliginden näçe esse kiçidigini aňladýar.

5.4 Süýüm optikasy

Optikanyň ýagtylyk energiýasyny inçe turbajyklar arkaly aralygy geçirmek meseleleri bilen meşgullanýan ýörite bölümine “süýüm optikasy” diýilýär.

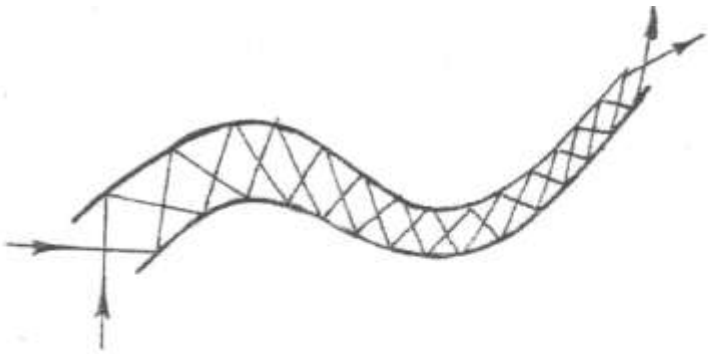


5.12-nji çyzgy

Ýagtylygyň doly içki serpikme hadysasyndan peýdalanyp onuň islendik ugra ugrukdyrylmagyny gazanmak mümkin. Mysal üçin, prizmanyň kömegi bilen ýagtylygyň ýaýraýan ugruny 90^o-a ýa-da 180^o-a üýtgedip bolýar, (5.12-nji çyzgy).

“Ýagtylygy äkidiji” (swetowod) diýlip atlandyrylýan abzal ýagtylygyň doly içki serpikme hadysasynyň esasynda ýasalýar. Ýagtylygy äkidiji – içi dury madda bilen örtülen çeýe turbajyk (süýüm) görnüşinde bolýar.

Ýagtylygy äkidiji boýunça ýagtylygyň ýaýramagy üçin ýagtylygyň ýagtylykgeçirijiniň diwaryna düşme burçy doly içki serpikme burçundan uly bolmagy üpjün edilýär. Käbir ýagtylygy äkidijilere seredip geçeliň, (5.13-nji çyzgy).

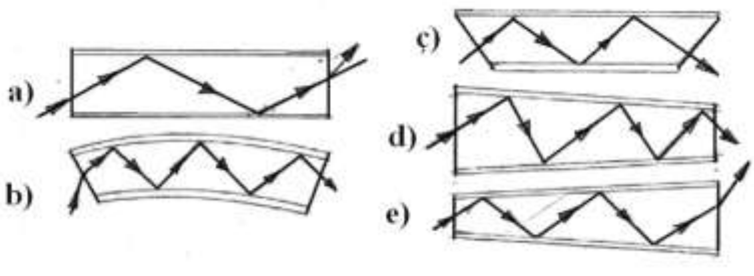


5.13-nji çyzgy

Eger optiki süýmüň diametri ýagtylygyň ýaýraýan ugruna barha kiçelip gidýän bolsa oňa “fokon” süýüm diýilýär. 5.14-nji d çyzgy. Fokonlar aralyga berilýän şekili kiçeldip geçirýärler.

Eger optiki süýmüň diametri ýagtylygyň ýaýraýan ugruna barha ulalyp gidýän bolsa oňa “afokon” süýüm diýilýär, 5.14-nji e çyzgy. Afokonlar aralyga berilýän şekili ulaldyp geçirýärler.

Häzirki döwürde optiki süýümleriň iki görnüşi giňden peýdalanylýar: 1) Daşy gorag gatlagy bilen örtülen inçe süýümleriň dessesi görnüşinde; 2) Ýokary çeýelige eýe bolan süýümler döwme görkezijisi kiçi bolan maddada ýerleşdirilen görnüşde.



5.14-nji çyzgy

Optiki süýmler barha giň gerim bilen halk hojalygynyň dürli pudaklarynda ulanylýar.

Optiki süýümli aragatnaşyk serişdesiniñ esasy bölegi bolan ýagtylyk çeşmesiniñ täze görnüşi lazerler geçen asyryñ 60-njy ýyllarynda peýda bolup başlady.Şeýlelikde ýokary kogerentlige eýe bolan inçe zolakly ugrukdyrylýan ýagtylygyñ optiki şöhlelendirijileri süýüm optikasynyñ ösmegine uly itergi berdi.

Ýarymgeçirijili lazer diodlarynyñ elektrik toguny ýokary tizlikde modulirlemegi amala aşyrmagy fotodiodlaryñ bolsa giñ zolakly optiki signallary kabul etmäge ukyplylygy aragatnaşygyñ süýümli-optiki ulgamynyñ döremegine getirdi.

Häzirki wagtda optiki süýümli ýagtylyk geçirijiler daşky gabygy bolan köp sanly inçe sapaklardan ybarat kabel görnüşinde ýasalýar.Saçyñ ýogynlygyndaky ýekeje süýüm kiçiräk kärhananyñ ulanýan telefonlaryny,kompýuterlerini we telewizorlaryny işletmek üçin zerur bolan signallary geçirmäge ukyplydyr.Optiki süýüm kabellerinde 72-den 144-de çenli sapak görnüşli ýagtylyk geçirijiler ýerleşýärler. Täze tehnologiýanyñ esasynda döredilen ýeke modaly süýmlerde ýagtylygyñ depgininiñ aralyga baglylykda ýitgisi örän az. Ýeke modaly süýümlerden ybarat kabeller 1 sekundyñ dowamynda 1,2 mlrd bit mukdardaky signallary geçirmäge ukyplydyr, mundan başgada gaýtalap güýçlendirijileriñ hyzmat edýän aralygy 50 km çenli ýetirildi.

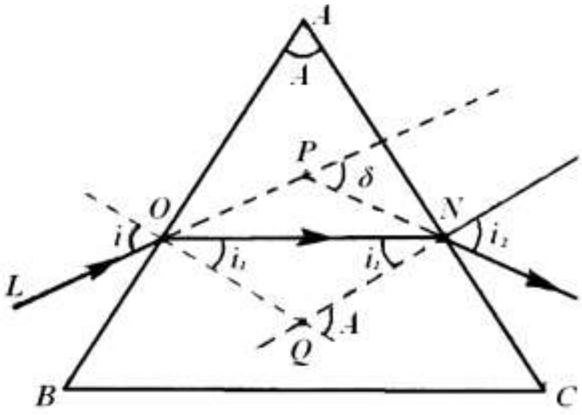
Telefon aragatnaşygy uly aralykda amala aşyrmaga niýetlenen optiki süýümli kabeller ABŞ-da,Ýaponiýada,Günbatar Ýewropada ýarym asyra golaý wagtdan bäri hyzmat edýär. Demirgazyk Amerika bilen Ýewropany şeýlede Aziýany birleşdirýän ummanaşa optiki süýümli kabelli aragatnaşyk ulgamy 1990-njy ýýldan bäri bökdençsiz işläp gelýär.

Süýüm optikasy lukmançylykda ulanylýan dürli abzallarda giñden peýdalanylýar.Adamyñ içki organlaryna ýeñillik bilen aralaşyp bilýän optiki süýüm nähoşuñ zeper ýeten bölegi baradaky maglumaty telekamera bermäge ýa-da göni gözegçilik etmäge mümkinçilik berýär.Tehnika babatda süýüm optikasy zawod-fabriklerdäki stanoklaryñ we beýleki iş-enjamlarynyñ işini sazlamakda we uzak aralykdan telewizor arkaly gözegçilik etmeklikde bahasyna ýetip bolmajak mümkinçilikler döredýär

5.5 Ýagtylygyň üç granly prizmadan geçişi

Optikada üç granly prizma dürli maksatlar üçin peýdalanylýar. Ýagtylyk şöhlesi prizma düşürilse onuň tekiz granlarynda serpikmä we döwülmä sezewar bolýar. Döwülme görkezijisi n bolan üç gyranly prizmadan ýagtylyk şöhlesiniň geçişine seredeliň (5.15-nji çyzgy).

Çyzgydaky ýaly prizma gönükdirlen L-ýagtylyk şöhlesi onuň AB we AC tekiz granlarynda döwülip, prizmanyň içinden geçýär. Ýagtylyk şöhlesiniň döwülýän granlarynyň arasyndaky burça ($\angle A$) prizmanyň döwüji burçy diýilýär. Prizmadan geçen ýagtylyk şöhlesi başlangyç ugurdan δ burça üýtgeýär. Bu burça prizmanyň gyşartma burçy diýilýär. Prizmanyň gyşartma burçy ýagtylygyň düşme burçuna baglylykda üýtgeýär, ýöne prizmanyň gyşartma burçynyň kiçi ululygynyň kesgitli çägi bolýar. Beýle iň kiçi gyşarma ýagtylyk prizmadan simmetrik geçende ýüze çykýar. Deňýanly üçburçlygy emele getirýän prizmanyň içinde ýagtylyk şöhlesi prizmanyň esasyna parallel ýaýraýan bolsa, onda ol prizmadan simmetrik geçýär (5.15-nji çyzgy)



5.15-nji çyzgy

Bu ýagdaýda

$$i = i_2, \quad i_1 = i_1'. \qquad (5.13)$$

Eger prizma howa gurşawda ýerleşen bolsa ($n_h \approx 1$) onda prizmanyň AB grany üçin ýagtylygyň döwülme kanuny

$$\frac{\sin i}{\sin i_1} = n \qquad (5.14)$$ görnüşde bolar.

δ burç OPN üçburçlygyň daşky burçudyr. Belli bolşy ýaly üçburçlygyň daşky burçy, onuň bilen ýanaşyk bolmadyk iki içki burçyň jemine deňdir.

Diýmek: $\delta = (i - i_1) + (i_2 - i_1')$. (5.15)

OQ we NQ çyzyklar degişlilikde prizmanyň AB we AC granlaryna geçirilen normaldyr. Şoňa görä olaryň kesişmegi bilen emele gelen A burç prizmanyň döwüji burçuna deňdir. Bu ($\angle A$) burç OQN üçburçlygyň daşky burçudyr. Diýmek

$$A = i_1 + i_1' . \qquad (5.16)$$

(5.15) deňligi $\delta = (i + i_2) - (i_1 + i_1')$ görnüşde ýazyp, (5.13) we (5.16) deňlemelerden alarys: $\delta = 2i - A$. Bu ýerden

$$i = \frac{A+\delta}{2} . \qquad (5.17)$$

(5.13) we (5.16) aňlamalardan

$$A = 2i_1, \text{ we } i_1 = \frac{A}{2} \qquad (5.18) \text{ alarys.}$$

Onda (5.14) aňlatmany aşakdaky ýaly ýazyp bileris:

$$n = \frac{\sin\frac{A+\delta}{2}}{\sin\frac{A}{2}} . \qquad (5.19)$$

Eger δ –burçuň ululygy (5.19) şerti kanagatlandyrýan bolsa, onda oňa iň kiçi gyşartma burç diýilýär. Prizmanyň döwüji burçy kiçi bolsa onuň gyşartma burçy hem kiçi bolýar. Bu ýagdaýda prizma pahna görnüşli prizma ýa-da ýöne Pahna diýilýär. Pahna görnüşli prizmalar üçin $\sin\frac{A+\delta}{2} \approx \frac{A+\delta}{2}$ we $\sin\frac{A}{2} \approx \frac{A}{2}$ diýip hasap etmek mümkin.

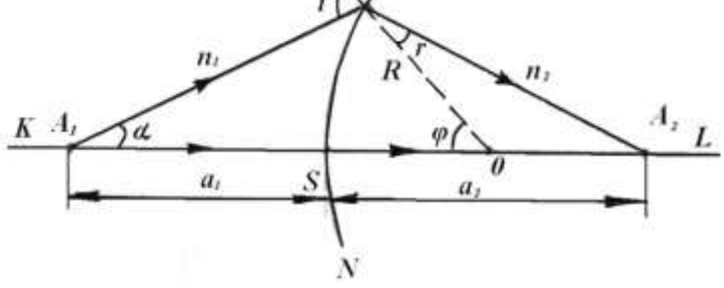
Onda Pahnanyň ýagtylyk şöhlesini gyşartma burçy üçin aňlatma

$$\delta = (n-1)A \qquad (5.20)$$

görnüşe eýe bolar.

5.6 Sferik üstde ýagtylygyň döwülmesi

Döwme görkezijileri degişlilikde n_1 we n_2 gurşawlaryň araçäginden geçýän R radiusly MN sferik üstden ýagtylyk şöhlesiniň geçişine seredeliň. (5.16-njy çyzgy)



5.16-njy çyzgy

Sferanyň merkezi O nokatdan we sferanyň depesi S nokatdan geçýän KL göni çyzygy geçireliň.

S depeden a_1 uzaklykda A_1 nokatda ýagtylanýan çeşme ýerleşen bolsun. A_1 nokatdan çykýan şöhle sferanyň B nokadyna düşüp, döwlenden soň KL göniniň A_2 nokadyna düşýän bolsun. A_2 nokat sferanyň S depesinden a_2 aralykda ýerleşýär. A_2 nokat A_1 nokadyň şekili bolmagy üçin, A_1 nokatdan çykýan şöhleleriň ählisi MN üstde döwlip A_2 nokada düşmelidir. Bu ýagdaýda A_1 nokatdan çykan şöhleleriň ählisiniň A_2 nokada çenli optiki ýollary özara deň bolýarlar. Muňa optiki ýollaryň deňlik düzgüni diýilýär.

KL göni çyzyga, berlen ulgamyň optiki oky diýilýär. Optiki okuň golaýynda $A_1B \approx A_1S$ şerti kanagatlandyrylýan şöhlelere paraksial (oka ýakyn) şöhleler diýilýär. Onda A_1 çeşmeden 2α burçuň çäginde ýaýraýan şöhleler A_2 nokatda kesişer, ýagny olar paraksialdyr. Diýmek: $A_1B \approx A_1S$, $A_2B \approx A_2S$,

A_1BO üçburçlykdan $\frac{A_1O}{A_1B} = \frac{\sin(180^o - i)}{\sin\varphi} = \frac{\sin i}{\sin\varphi}$,

A_2BO üçburçlykdan $\frac{A_2B}{A_2O} = \frac{\sin(180^o - \varphi)}{\sin r} = \frac{\sin\varphi}{\sin r}$.

Alnan deňlikleri özara köpeldip alarys:

$$\frac{A_1O}{A_1B} \cdot \frac{A_2B}{A_2O} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}. \qquad (5.21)$$

Ulgamyň optiki okunyň üstünde ýatan kesimler S nokatdan başlap ölçenilýär we şöhläniň ýaýraýan ugrunda kesimleri položitel, garşylykly ugurda bolsa otrisatel alamaty bilen almak kabul edilen. Diýmek

$$BA_1 \approx SA_1 = -a_1,$$

$$BA_2 \approx SA_2 = a_2,$$

$$BO = SO = R.$$

Onda

$$A_1O = -a_1 + R,$$

$$A_2O = a_2 - R.$$

Bu ululyklary (5.21)-de ornuna goýup alarys: $\frac{-a_1 + R}{-a_1} \cdot \frac{a_2}{a_2 - R} = \frac{n_2}{n_1}$.

Bu ýerden $(-a_1)a_2 \cdot n_1 + a_2 R n_1 = (-a_1)a_2 \cdot n_2 + a_1 R n_2$.

Alnan aňlatmanyň ähli agzalaryny $a_1 a_2 R$ ululyga bölüp, alarys:

$$n_1\left(\frac{1}{a_1}-\frac{1}{R}\right)=n_2\left(\frac{1}{a_2}-\frac{1}{R}\right)=Q. \qquad (5.22)$$

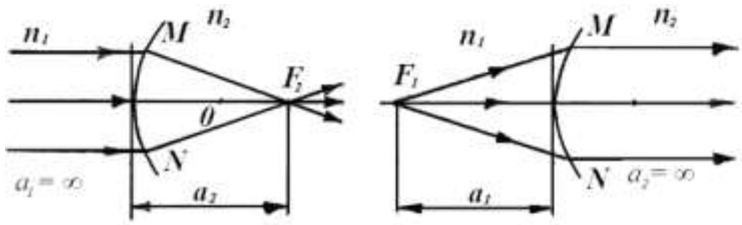
(5.22) aňlatmadan görnüşi ýaly $n\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{R}\right)=Q$ ululyk sferik üstde ýagtylyk döwlende üýtgemän galýar. Bu Q ululyga Abbeniň nolunjy inwarianty diýilýär. Käbir maksatlar üçin (5.22) aňlatmany

$$\frac{n_1}{a_1}-\frac{n_2}{a_2}=\frac{n_1-n_2}{R} \qquad (5.23)$$

görnüşde ýazmak amatlydyr.

Bir nokatdan çykýan şöhlelere gomosentrik (umumy bir merkezi bolan) şöhleler diýilýär. (5.23) deňlik islendik paraksial ýagtylyk şöhleleri üçin adalatlydyr. Şeýlelikde A_1 nokatlanç çeşmeden çykýan paraksial gomosentrik ýagtylyk dessesiniň ähli şöhleleri, *KL* optiki oky şol bir A_2 nokatda kesip geçýärler. Şonuň üçin A_2 nokat A_1 nokadyň stigmatik (ýokary takyklykda A_1 nokada meňzeş) şekili bolup hyzmat edýär. Eger sferik üstüň egrilik radiusy *R>0* bolsa, onda ol güberçek üst hasap edilýär.

Eger şekil we çeşme sferik üstüň garşylykly taraplarynda ýerleşýän bolsalar, onda $a_2 > 0$ bolýar. Beýle şekile hakyky şekil diýilýär. Eger şekil we çeşme sferik üstüň haýsy-da bolsa bir tarapynda ýerleşen bolsalar, onda $a_2 < 0$. Beýle şekile hyýaly şekil diýilýär, sebäbi sferik üstde döwlen şöhleler dargaýar, şekil bu şöhleleriň hyýaly kesişýän nokadynda emele gelýär.



5.17-nji çyzgy

(5.23) aňlatmadan peýdalanyp sferik üstüň fokusy kesgitlenilýär.

Goý, nokatlanç ýagtylyk çeşmesi sferik üstden tükeniksiz uzak aralykda ýerleşen bolsun, ýagny $a_1 = \infty$ bolsun. Bu ýagdaýda ýagtylyk şöhleleri sferik üstüň optiki okuna parallel ýaýraýar diýip kabul etmek mümkin. Onda:

$$a_2 = \frac{n_2 R}{n_2 - n_1} = F_2 . \quad (5.24)$$

ýagny sferik üstde döwlen şöhleler $a_2 = F_2$ nokatda kesişýärler. Bu nokada sferik üstüň fokusy diýilýär (5.17-nji çyzgynyň çepdäkisi).

Eger şekil sferik üstden tükeniksiz uzaklykda emele gelýän bolsa, onda $a_2 = \infty$ bolýar. Bu ýagdaýda sferik üstde döwlen şöhleler optiki oka parallel ýaýraýarlar. (5.17-nji çyzgynyň sagdakysy). Onda

$$a_1 = \frac{n_1 R}{n_1 - n_2} = F_1 . \quad (5.25)$$

Diýmek, nokatlanç ýagtylyk çeşmesi $a_1 = F_1$ nokatda ýerleşende sferada döwlenden soň parallel ýaýraýanlygy sebäpli F_1 nokat onuň fokusydyr. Şeýlelikde, sferik üstüň iki fokusy bolup, F_1-e öňki fokus F_2-ä yzdaky fokus diýilýär. Sferik üstden fokus nokada çenli aralyga fokus aralyk diýilýär.

Sferik üst döwlme görkezijileri degişlilikde n_1 we n_2 bolan gurşawlaryň araçäginde ýerleşendigine görä $n_1 \neq n_2$ bolsa $F_1 \neq F_2$ bolýar. Eger $n_1 = -n_2$ bolsa, ýagny sferik üst aýna (zerkalo) diýsek (5.23) aňlatma aşakdaky görnüşe eýe bolar:

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = \frac{2}{R} . \quad (5.26)$$

Şu ýerden görnüşi ýaly sferik aýnanyň (zerkalonyň) fokus aralygy:

$$F = \frac{R}{2} . \quad (5.27)$$

$n_1 = -n_2$ diýlip alynmagynyň sebäbi, aýnadan ýagtylygyň doly serpikýänligi üçindir. Eger (5.26) aňlatmada $R = \infty$ diýip kabul etsek, onda

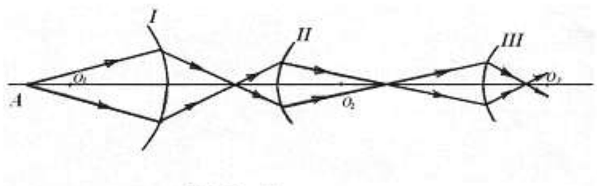
$$a_1 = -a_2 . \quad (5.28)$$

Ýagny predmet tekiz aýnadan näçe uzaklykda ýerleşen bolsa, şekil hem aýnadan şonça aralykda ýerleşýär diýmekdir.

5.7 Ýuka linzalar. Linzanyň deňlemesi.

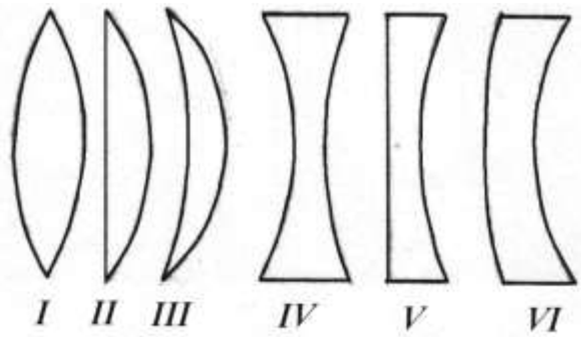
Adaty optiki ulgamlar, iki ýa-da ondan köp ýagtylygy döwüji üstlerden ybarat bolýar.

Eger optiki ulgama girýän sferik üstleriň ählisiniň merkezleri bir gönüde ýatýan bolsalar, onda beýle optiki ulgama merkezleşdirilen diýilýär. (5.18-nji çyzgy)



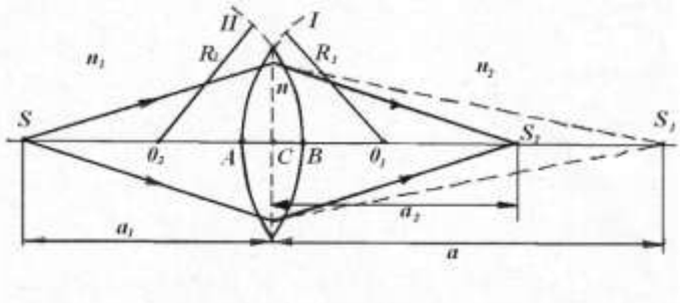
5.18-nji çyzgy

Optiki ulgamdaky sferik üstleriň merkezlerinden geçýän göni çyzyga baş optiki ok diýilýär. Merkezleşdirilen optiki ulgam, paraksial dessäniň gomosentrikligini saklamak häsiýetine eýedir. Ýagny, bu ulgamda döwüji (ýa-da serpikdiriji) üstleriň sanyna garamazdan gomosentrik paraksial desse gomosentrik bolup galýar.



5.19-njy çyzgy

Has ýönekeý merkezleşdirilen optiki ulgama mysal hökmünde linzany görkezmek bolar. Linza – iki sany üst bilen çäklenen, dury maddadan (köplenç aýnadan) ybaratdyr. Onuň çäklenýän üstleriniň biri hökman sferik bolup beýlekisi sferik ýa-da tekiz bolup biler. Çäklenen üstleriň görnüşi boýunça linzalar goşagüberçek, tekizgüberçek, goşaoýuk, tekizoýuk, oýukgüberçek bolup bilýärler. (5.19-njy çyzgy).



5.20-nji çyzgy

Eger linzanyň maddasynyň döwme görkezijisi onuň ýerleşen gurşawynyň döwme görkezijisinden uly bolsa, onda I, II, III linzalara ýygnaýjy linzalar, IV, V, VI linzalara dargadyjy linzalar diýilýär. Eger tersine bolsa, onda I, II, III linzalara dargadyjy linzalar, IV, V, VI linzalara ýygnaýjy linzalar diýilýär.

Goşagüberçek linzalardan ýagtylyk şöhlesiniň geçişine seredeliň (5.20-nji çyzgy) Eger linzanyň galyňlygy (*AB*), ony çäklendirýän sferik üstleriniň egrilik radiuslaryndan has kiçi bolsa, onda beýle linza ýuka linza diýilýär. Ýuka linzalarda *A* we *B* depeler *C* merkez bilen gabat gelýär diýip hasap edilýär. Linzanyň optiki merkezinden (*C*) geçýän islendik göni çyzyga optiki ok diýilýär. Diýmek linzanyň oklarynyň sany tükeniksiz bolup, baş optiki oky ýekedir.

Goý, döwme görkezijisi *n* bolan linza döwme görkezijileri degişlilikde n_1 we n_2 bolan gurşawlaryň araçäginde ýerleşen bolsun (5.20-nji çyzgy).

Linzanyň baş optiki okunda ýerleşen nokatlanç ýagtylyk çeşmesiniň şekiliniň alnylyşyna seredeliň. Onuň üçin ilki R_1 radiusly steranyň kömegi bilen şekili gurmaly. Bu ýagdaýda sferadan çep tarapda n_1 döwülme görkezijili gurşaw ýerleşer we (5.23) şerte laýyklykda, alarys:

$$\frac{n_1}{a_1} - \frac{n}{a} = \frac{n_1 - n}{R}. \qquad (5.29)$$

S nokatlanç ýagtylgyjyň şekili S_1 nokat bolar. S_1 nokat R_2 radiusly sfera üçin hyýaly nokatlanç ýagtylgyç bolup hyzmat edýär. R_2 radiusly sferanyň kömegi bilen S_1 ýagtylgyjyň şekili S_2 nokatda bolar. Bu ýagdaýda R_2 radiusly sferanyň çep tarapynda döwme görkezijisi *n* bolan gurşaw, sag tarapynda döwme görkezijisi n_2 bolan gurşaw ýerleşer. Onda (5.23) şerte laýyklykda, alarys:

$$\frac{n}{a} - \frac{n_2}{a_2} = \frac{n - n_2}{R_2}. \qquad (5.30)$$

Adaty şertlerde linzanyň iki üsti hem şol bir gurşawda ýerleşýär, onda $n_1 = n_2$ diýip, (5,29) we (5.30) deňlemeleri goşup alarys:

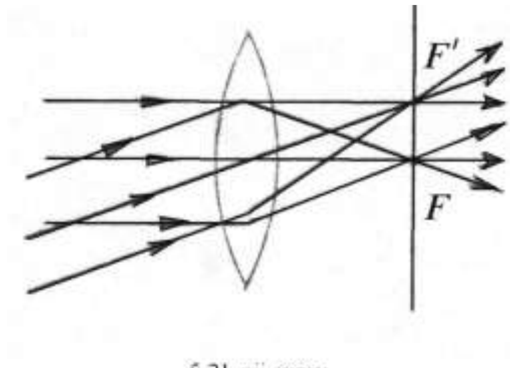
$$n_1\left(\frac{1}{a_2} - \frac{1}{a_1}\right) = (n - n_1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

ýa-da

$$\frac{1}{a_2} - \frac{1}{a_1} = \left(\frac{n}{n_1} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right).$$

Bu ýerde $\frac{n}{n_1}=N$ linzanyň gurşawa görä döwme görkezijisini aňladýar. Onda

$$\frac{1}{a_2}-\frac{1}{a_1}=(N-1)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right). \qquad (5.31)$$



5.21-nji çyzgy

Bu alnan deňlemä ýuka linzanyň deňlemesi diýilýär. Bu aňlatma islendik görnüşli yuka linzalar üçin hem dogrudyr. Öň kabul edişimiz ýaly ölçemeler linzanyň merkezinde ölçenilip, ýagtylygyň ýaýraýan ugruna položitel, ýagtylygyň ýaýraýan ugruna garşylykly ugurlarda bolsa otrisatel hasap edilýär.

Baş optiki okda ýerleşen ýagtylanýan S nokat linzadan daşlaşdyrylsa onuň şekili S_2 nokat linza ýakynlaşýar. S ýagtylgyç tükeniksizlige çenli daşlaşdyrylanda onuň şekiliniň emele gelýän nokadyna linzanyň fokusy diýilýär. Fokus nokatdan linzanyň baş optiki okuna perpendikulýar geçýän tekizlige linzanyň fokal tekizligi diýilýär.

Eger parallel şöhleler baş optiki ok bilen käbir burç emele getirip, linzanyň üstüne düşse onda olar hem fokal tekizlikde bir nokatda kesişerler (5.21-nji çyzgyda F' nokat).

(5.31) aňlatmadan yuka linzanyň fokus aralyklary üçin aňlatmalary alarys: $a_1=\infty$ bolanda

$$a_2=F_2=\frac{1}{(N-1)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)}, \qquad (5.32)$$

$a_2=\infty$ bolanda

$$a_1=F_1=-\frac{1}{(N-1)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)}, \qquad (5.33)$$

ýagny

$$F_1=-F_2. \qquad (5.34)$$

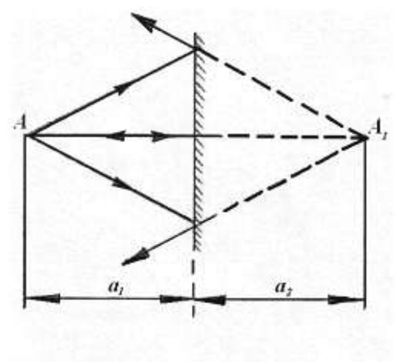
F_1 ululyga linzanyň birinji fokusy, F_2 ululyga bolsa linzanyň ikinji fokusy diýilýär. Ýuka linzalarda birinji we ikinji fokuslar ululyklary boýunça deň we alamatlary boýunça garşylyklydyrlar. Başgaça aýdanymyzda fokuslar linzanyň garşylykly taraplarynda ýerleşýärler. R_1 we R_2 hem-de (N-1) ululyklaryň alamatyna baglylykda F_1-iň we F_2-iň alamatlary položitel ýa-da otrisatel bolup bilýär. Eger fokusyň alamaty položitel bolsa hakyky, otrisatel bolsa hyýaly fokus diýilýär. Eger linzanyň fokusy hakyky bolsa, onda linza düşýän parallel şöhleler linzada döwlenden soň bir nokatda kesişýärler (ýygnanýarlar). Beýle linzalara ýygnaýjy ýa-da položitel linzalar diýilýär. Eger fokus hyýaly bolsa, onda parallel şöhleler linzada döwlenden soň kesişmeýärler (dargaýarlar). Beýle linzalara dargadyjy ýa-da otrisatel linzalar diýilýär. Ýuka linzalaryň fokus aralygy üçin alan 5.32 we 5.33 aňlatmalardan peýdalanyp, 5.31 aňlatmany aşakdaky ýaly ýazyp bileris:

$$\frac{1}{a_2} - \frac{1}{a_1} = \frac{1}{F}. \qquad (5.35)$$

5.8 Aýnalarda we linzalarda şekil gurmak

Aýnada şekil gurmak üçin ýagtylygyň serpikme kanuny ýeterlikdir. Predmetiň şekilini gurmak üçin ilki nokadyň şekilini gurmaly. Sebäbi islendik jisime nokatlar ulgamy hökmünde seretmek mümkin. Aýnada nokadyň şekili, şol nokatdan ýaýraýan şöhleleriň aýnadan serpigenden soň olaryň kesişmegi ýa-da hyýaly kesişmesi bilen emele gelýär.

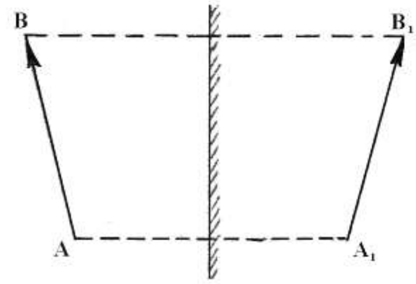
Eger şöhleler aýnada serpigip, soňra kesişmesi bilen şekil emele gelse, onda hakyky şekil alynýar. Eger şöhleler aýnada serpigip olaryň hyýaly kesişmesi bilen şekil emele gelse, onda hyýaly şekil alynýar. Çyzgyny sadalaşdyrmak üçin nokadyň şekili gurlanda, diňe iki ýa-da üç şöhle peýdalanylýar. Tekiz aýna düşýän şöhleler serpigip hyýaly kesişýärler (5.22-nji çyzgy).



5.22-nji çyzgy

Çyzgydan görnüşi ýaly A nokadyň tekiz aýnadaky A_1 şekili hyýalydyr.

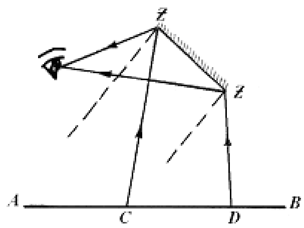
Tekiz aýnada elmydama nokatdan aýna çenli aralyk a_1, aýnadan nokadyň şekiline çenli aralyk a_2. Şu düzgüniň esasynda gurlan AB gönüniň şekili A_1B_1 göni (5.23-nji çyzgy).



5.23-nji çyzgy

Tekiz aýnada alynýan şekiliň ululygy elmydama predmetiň ululygyna deň bolýar. Şekiliň ululygynyň predmetiň hakyky ululygyna gatnaşygyna ulaldyş diýilýär. Tekiz aýnanyň ulaldyşy bire deňdir.

Tekiz aýnada şekil gurmak bilen baglanyşykly aşakdaky ýaly mysala seredeliň. Kesgitli ölçegleri bolan we erkin ýerleşen aýnada, käbir predmetiň gözegçä görünýän böleginiň çägini kesgitlemek gerek bolsun.

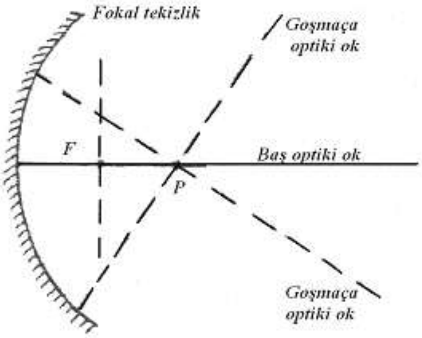


5.24-nji çyzgy

Goý käbir AB ölçegli predmete ZZ tekiz aýna arkaly syn edilýän bolsun (5.24-nji çyzgy).

AB predmetiň ähli nokatlaryndan aýnanyň üstüne şöhleler düşmegi mümkin, ýöne ol şöhleleriň aýnadan serpigip gözegçiniň gözüne düşýänleri predmetiň käbir bölegini görkezip biler. Predmetiň gözegçä görünýän böleginiň çäklerini kesgitlemek üçin ilki ZZ aýnanyň iň çetki nokatlaryndan gözegçiniň gözüne şöhle düşürmeli.

(5.24-nji çyzgydaky ýaly). Soňra serpikme kanunynyň esasynda ol şöhleleriň predmetiň haýsy nokatlaryna düşjekdigini kesgitlemeli.

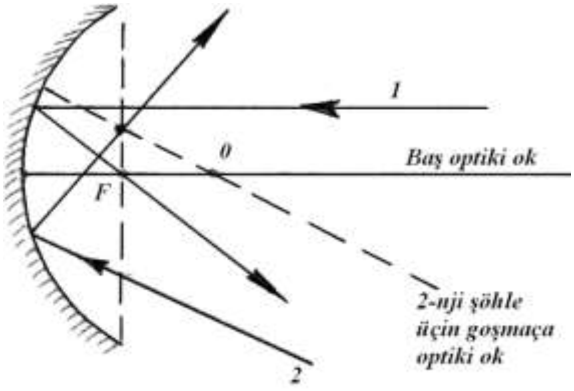


5.25-nji çyzgy

Çyzgydan görnüşi ýaly AB predmetiň görünýän bölegi CD-e deňdir. Bu ululyk gözegçi bilen aýnanyň we predmet bilen aýnanyň aradaşlygyna baglydyr.

Sferik aýnalarda şekiliň guralyşyna seretmek üçin käbir düşünjeleri girizeliň.

Sferik aýnanyň ortasyndaky nokatdan we egrilik merkezinden geçýän göni çyzyga baş optiki ok diýilýär; baş optiki oka parallel şöhleleriň sferik aýnadan serpigenden soň kesişýän nokadyna baş fokus diýilýär; baş optiki oka perpendikulýar we baş fokus nokadyň üstünden geçýän tekizlige fokal tekizlik diýilýär. Sferik aýnada hem, linzalarda bolşy ýaly, baş optiki ok bir sanydyr, goşmaça optiki oklar köpdür (5.25-nji çyzgy).



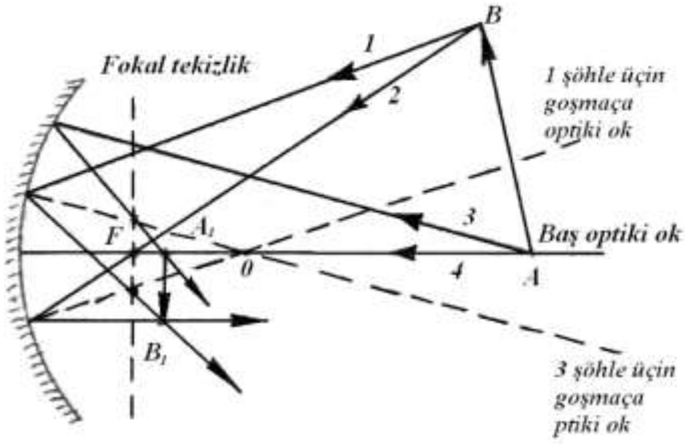
5.26-njy çyzgy

Sferik aýnalarda baş optiki oka parallel şöhleler serpigenden soň baş optiki ok bilen baş fokusda kesişýärler; baş optiki oka parallel bolmadyk şöhleler serpigenden soň düşýän şöhlelere parallel bolan goşmaça optiki ok bilen fokal tekizlikde kesişýärler (5.26-njy çyzgy).

Bu kesişme nokat goşmaça fokusdyr. Sferik aýnalaryň ähli goşmaça fokuslary fokal tekizlikde ýerleşýärler.

Oýuk sferik aýnada *AB* gönüniň şekiliniň alnyşyna seredeliň. (5.27-nji çyzgy).

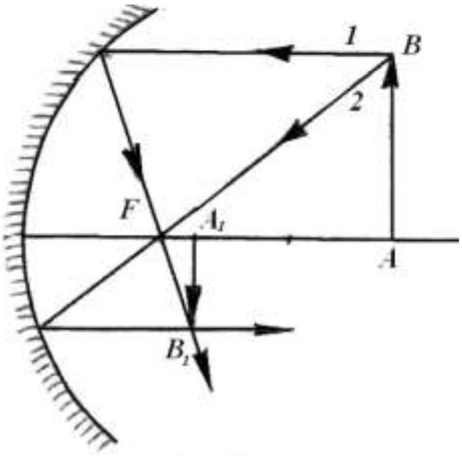
Göni çyzygyň şekilini gurmak üçin onuň iki nokadynyň şekilini gurup, soňra ol iki nokady göni arkaly birleşdirmeli. Ilki *B* nokadyň şekilini guralyň. Onuň üçin *B* nokatdan oýuk aýna iki sany şöhle (1 we 2) düşürilýär. Şöhle 2 baş fokusdan



5.27-nji çyzgy

geçýändigine görä aýnadan serpigenden soň baş optiki oka parallel ugurda ýaýraýar. Şöhle 1 aýnadan serpigenden soň goşmaça optiki ok bilen fokal tekizlikde kesişip, şöhle 2 bilen B_1 nokatda kesişýär.

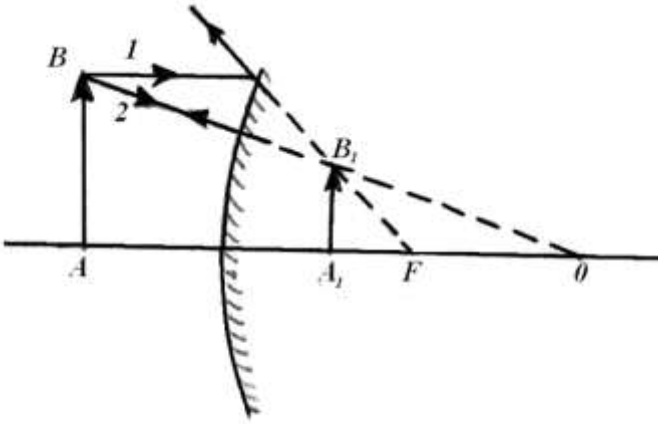
A nokadyň şekilini gurmak üçin hem *A* nokatdan iki sany şöhläni (3 we 4) aýna düşürmeli. Şöhle 4 baş optiki okuň ugry bilen ýaýrap, aýnadan serpigenden şol ýol bilen yzyna ýaýraýar. Şöhle 3 bolsa aýnadan serpigenden soň şöhle 4 bilen A_1 nokatda kesişýär. A_1 we B_1 nokatlary birleşdirip *AB* gönüniň A_1B_1 şekilini alarys.



5.28-nji çyzgy

Goý bir ujy (*A* nokat) sferik aýnanyň baş optiki okunda ýerleşen predmetiň (*AB*) şekilini gurmak talap edilýän bolsun (5.28-nji çyzgy).

B nokadyň şekilini gurmak üçin *B* nokatdan iki sany şöhläni aýna gönükdirmeli. Şöhle 1 baş fokusa parallel, ol aýnadan serpigen soň baş fokusyň üstünden geçýär; şöhle 2 bolsa baş fokusyň üstünden geçýär, aýnadan serpigenden soň öňki ýoly bilen tersine ýaýraýar. Şeýlelikde şöhle 1 we 2 B_1 nokatda kesişip, *B* nokadyň şekilini emele getirýär. B_1 nokatdan baş optiki oka perpendikulýar geçirip, onuň baş optiki ok bilen kesişýän nokadynda *A* nokadyň şekili A_1 nokady alarys. Netijede *AB* predmetiň A_1B_1 şekili alynýar.

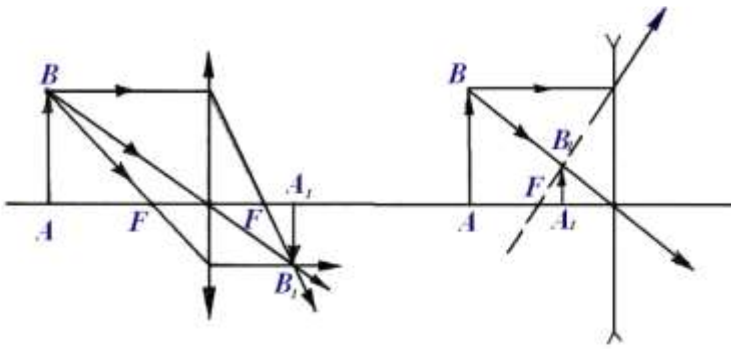


5.29-njy çyzgy

Güberçek aýnalarda hem şekil gurmagyň düzgüni oýuk aýnalaryňky ýaly. Ýöne bu ýagdaýda aýnadan serpigen şöhleleriň hyýaly kesişmesi arkaly şekil alynýar.

Güberçek sferik aýnada *AB* predmetiň şekilini almak üçin ilki predmetiň *B* nokadynyň şekilini iki şöhläni (1 we 2) aýna gönükdirip almaly. Şöhle 1 baş optiki oka parallel, şonuň üçin ol baş fokus bilen hyýaly kesişýär.

Şöhle 2 bolsa goşmaça optiki oka parallel ugurda ýaýraýar. Şeýlelikde 1 we 2 şöhleler B_1 nokatda hyýaly kesişýärler hem-de B nokadyň hyýaly şekilini emele getirýärler. B_1 nokatdan baş optiki oka perpendikulýar göni geçirip, olaryň kesişýän nokadynda A nokadyň şekili A_1 nokat alynýar. Ýokarda getirilen mysallardan görnüşi ýaly, oýuk aýnada hakyky, güberçek aýnada bolsa hyýaly şekil alynýar.



5.30-njy çyzgy

Linzanyň kömeginde şekiliň alnyşy sferik aýnadaka meňzeş bolýar. Sebäbi linzalarda-da baş optiki ok, goşmaça optiki oklar, baş fokus, fokal tekizlik diýilýän häsiýetlendiriji ululyklar bar.

Linzalary aýnalardan tapawutlandyrýan häsiýeti şöhläniň linzadan geçýänligidir.

Linzalarda hem şekil gurmak üçin 2 ýa-da 3 şöhle peýdalanylýar.

Goşagüberçek (ýygnaýjy) linzalaryň baş optiki okuna parallel şöhleler düşürlende olar linzada döwlüp, baş fokus nokatdan geçýärler. Linzanyň optiki merkezinden geçýän şöhleler öz ugruny üýtgetmeýär. Baş fokusdan geçip, linza düşýän şöhleler döwlüp baş optiki oka parallel ýaýraýarlar.

Ýygnaýjy we dargadyjy linzalarda şekiliň alynyşynyň mysaly 5.30-njy çyzgyda görkezilen.

5.9 Linzalaryň aberrasiýasy

Linzanyň aňlatmasy çykarylanda we linzanyň kömeginde şekil gurlanda, bir nokatdan çykýan ýagtylyk dessesi linzada döwlenden soň, bir nokatda ýygnanýar diýen düşünjeden ugur alyndy. Bu ýagdaý diňe aşakdaky şertler ýerine ýetende bolup bilýär:

1) Ýagtylyk linza paraksial (inçe) desse görnüşinde düşende;

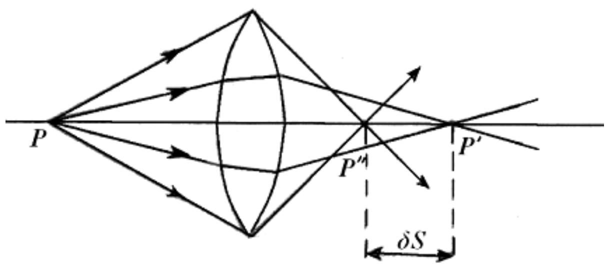
2) Ýagtylyk şöhleleri linzanyň baş optiki oky bilen kiçi burç emele getirýän ýagdaýynda;
3) Linzanyň döwme görkezijisi ähli ýagtylyk tolkunlary üçin birdeň bolanda.

Bu şertler amalýetde doly ýerine ýetmeýär. Linzanyň döwme görkezijisi dürli reňkli ýagtylyk üçin dürli bolýar (dispersiýa), linzanyň ýagtylyk güýjüni ulaltmak üçin giň şöhle dessesinden peýdalanmaly bolýar. Bu bolsa linzanyň kömeginde alynýan şekiliň ýoýulmagyna getirýär we linzanyň aberrasiýasyny ýüze çykarýar. Linzanyň aberrasiýasynyň dürli görnüşleri tapawutlanýar, olara aýratynlykda seretmek maksadalaýykdyr.

1. Sferik aberrasiýa

Eger *P* nokatlanç ýagtylyk çeşmesinden çykýan şöhleler ýygnaýjy linza giň desse görnüşde düşýän bolsa (5.31-nji çyzgy) onda döwlen şöhleler linzadan dürli aralykda baş optiki ok bilen kesişýärler. Baş optiki oka ýakyn ýerleşen şöhleler linzadan uzakrakda (P' nokat), baş optiki okdan uzak aralykda ýerleşen şöhleler linza ýakynrak aralykda kesişýärler (P'' nokat).

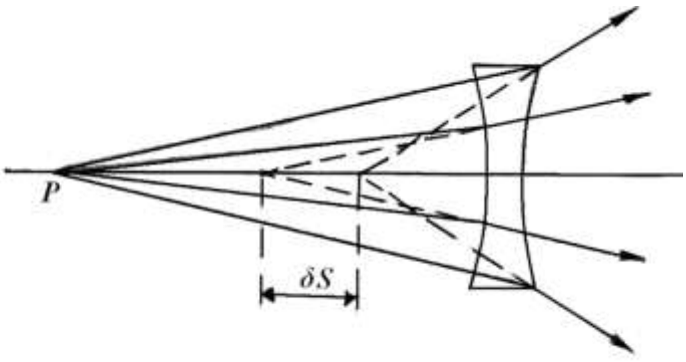
Şeýlelikde, ekran P' nokatda ýerleşdirilse-de, P'' nokatda ýerleşdirilse-de *P* nokadyň şekili käbir diametrli ýagty menek görmüşde alynýar. Bu bolsa linzanyň kömeginde alynan şekiliň ýoýulýandygyny görkezýär.



5.31-nji çyzgy

Linzanyň şekili ýoýmasyna sferik aberrasiýa diýilýär. $\delta S = P'' - P'$ aralyk sferik aberrasiýanyň ululygyny kesgitleýär. Bu ululyk ýygnaýjy linza üçin otrisatel ($\delta S < 0$) dargadyjy linza üçin položitel ($\delta S > 0$) hasap edilýär (5.32-nji çyzgy).

Ýygnaýjy we dargadyjy linzalaryň sferik aberrasiýalarynyň garşylykly alamatly bolmaklary bu linzalary utgaşdyryp ýerleşdirmek bilen sferik aberrasiýany ýok etmäge mümkinçilik berýär. Şeýlelikde, sferik aberrasiýanyň bolmazlygyny gazanmak üçin:



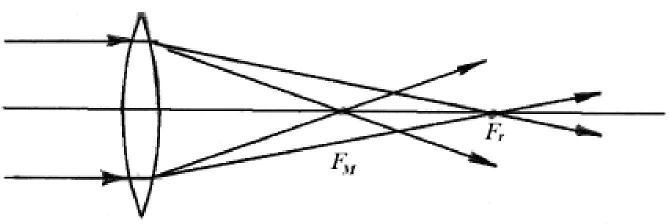
5.32-nji çyzgy

paraksial şöhle dessesini peýdalanmaly; ýa-da ýygnaýjy we dargadyjy linzalary utgaşdyryp ýerleşdirmek usulyndan peýdalanmaly.

2. Hromatik aberrasiýa

Bilişimiz ýaly linzanyň fokus aralygy $F = -\dfrac{1}{(n-1)\left(\dfrac{1}{R_1} - \dfrac{1}{R_2}\right)}$ aňlatma arkaly kesgitlenilýär. Bu ýerde n linzanyň döwme görkezijisi bolup, ol ýagtylygyň reňkine (tolkun uzynlygyna) baglydyr. Başgaça aýdanymyzda dürli reňkli ýagtylyk üçin döwme görkezijisi dürlidir we şoňa laýyklykda linzanyň fokus aralygy (F) dürlidir. Eger melewşe ýagtylyk üçin döwme görkezijini n_m, gyzyl ýagtylyk üçin n_g diýip bellesek, onda $n_m > n_g$ bolmagyna görä $F_m < F_g$ bolar. (5.33-nji çyzgy).

Eger linza “ak” ýagtylyk düşýän bolsa onda linzadan döwlüp geçen melewşe şöhleler linza ýakynrak aralykda (F_m nokat), gyzyl şöhleler linzadan uzakrak aralykda (F_g nokat) ýygnanýarlar.



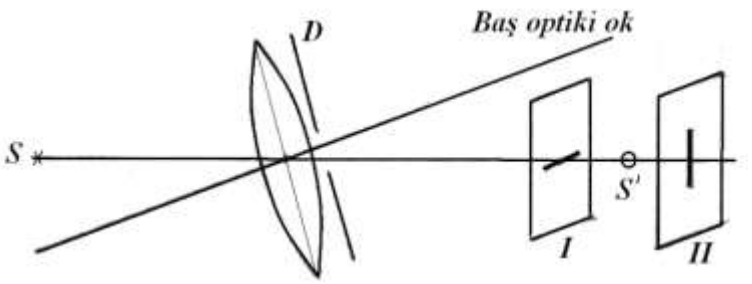
5.33-nji çyzgy

Netijede, F_m nokatda ekran ýerleşdirilse, ortasynda melewşe, onuň daşynda dürli reňkli halkalar alynýar. Iň daşky halkanyň reňki gyzyldyr. Beýle hadysa hromatik (hromos-reňk) aberrasiýa diýilýär. Linzanyň beýle kemçiligini ýok etmek üçin monohromatik ýagtylyk peýdalanylýar ýa-da ýygnaýjy we dargadyjy linzalar utgaşdyrylyp ýerleşdirmek usuly peýdalanylýar. Hromatik aberrasiýasy ýok edilen linza ahromatik linza diýilýär.

3. Astigmatizm

Eger linzanyň üstüne onuň baş optiki oky bilen käbir burç emele getirýän şöhleler düşürilse, onda nokadyň stegmatik şekili alynýar, ýagny ýagtylanýan nokadyň şekili nokat görnüşinde bolmaýar. Linzalaryň beýle kemçiligine astigmatizm diýilýär. Astigmatizme aşakdaky mysalda gözegçilik etmek bolar. (5.34-nji çyzgy).

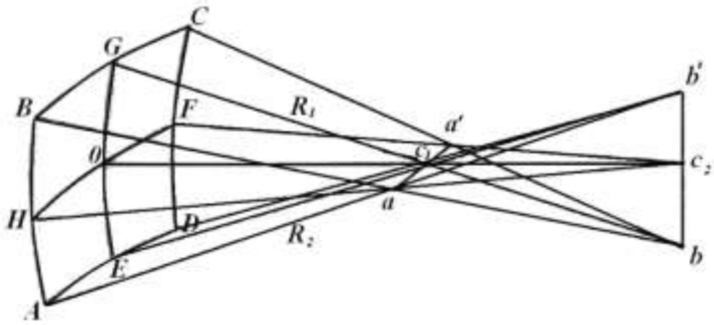
Goý, linza SS' şöhle linzanyň baş optiki oky bilen $(30-40)^o$ burç emele getirer ýaly düşürilýän bolsun. Linzadan geçen şöhleleriň inçe dessesi D germawyň (diafragmanyň) kömegi arkaly alynýar. SS' şöhlä (oka) perpendikulýar süýşýän ekran ýerleşdirilýär.



5.34-nji çyzgy

Ekrany linza görä şüýşürip iki ýagdaýda anyk şekil (I we II) almak mümkin. Ol şekiller: I ýagdaýda kese ýagty çyzyk, II ýagdaýda dik ýagty çyzyk görnüşinde bolýar. Ekran I we II ýagdaýlaryň ortasynda ýerleşdirilende S' tegelek ýagty menek alynýar. Beýle şekilleriň ýüze çykmagynyň sebäbi aşakdaky ýaly düşündirilýär:

Eger ýagtylyk fronty linzanyň üstüne gyşyk düşse, ýagny 5.34-nji çyzgydaky ýaly, onda linzadan döwülip geçen ýagtylyk frontynyň dürli bölekleriniň egrilik radiusy birmeňzeş bolmaýar.



5.35-nji çyzgy

Goý, belli bir R radiusly *ABCD* sferik ýagtylyk fronty, linzadan geçende onuň kese we dik ugurlar boýunça egrilik radiusy üýtgeýän bolsun (5.35-nji çyzgy).

Tolkun frontunyň özara perpendikulýar *HOF* we *FOG* kesiklerine seredeliň.

Goý, *EOG* kesige R_1 egrilik radiusy, *HOF* kesige R_2 egrilik radiusy degişli bolsun. R_1 radiusly tolkun frontunyň *E,O,G* nokatlaryna inderilen perpendikulýar çyzyklar egriniň merkezi bolan C_1 nokatda kesişýärler, R_2 radiusly tolkun frontunyň *H,O,F* nokatlaryna inderilen perpendikulýar çyzyklar egriniň merkezi bolan C_2 nokatda kesişýärler. *EOG* egrä parallel bolan *AHB* we *DFC* egriler R_1 radiusly üste degişlidirler, şoňa görä *A,H,B* nokatlara inderilen perpendikulýar çyzyklar a nokatda, *D,F,C* nokatlara inderilen perpendikulýar çyzyklar a' nokatda kesişýärler. *HOF* egrä parallel bolan *AED* we *BGC* egriler R_2 radiusly üste degişlidirler. Şoňa görä, *A,E,D* nokatlara inderilen perpendikulýar çyzyklar b' nokatda, *B,G,C* nokatlara inderilen perpendikulýar çyzyklar b nokatda kesişýärler. aa' we bb' gönüler özara perpendikulýardyr.

Nokadyň şekiliniň özara perpendikulýar iki sany ýagty çyzyk görnüşde emele gelmegine astigmatik şekil diýilýär. aa' we bb' nokatlarynyň aralygyna astigmatik tapawut diýilýär.

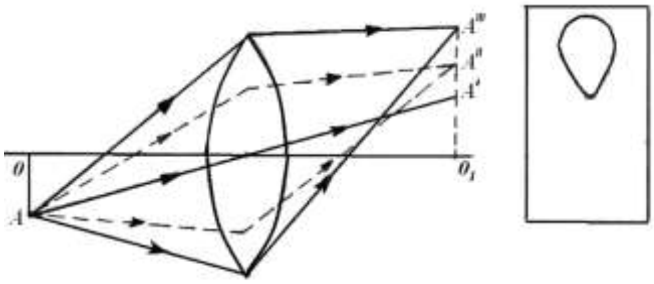
Astigmatizmi ýok etmek üçin döwüji üstleriň dürli bölekleriniň egrilik radiusyny üýtgetmek ýaly çylşyrymly usullar peýdalanylýar. Astigmatizmi ýok edilen optiki ulgama *anastigmat* ulgam diýilýär.

4. Koma

Ýagtylyk şöhleleri linzanyň baş optiki oky bilen käbir burç emele getirip, linzanyň üstüne düşende, *koma* diýlip atlandyrylýan aberrasiýa ýüze çykýar. Linzanyň baş optiki okunyň üstünde ýatmaýan nokatlanç ýagtylyk çeşmesinden şöhleler giň desse görnüşinde linzanyň üstüne düşse, linzanyň fokal tekizliginde ýerleşen ekranda ýagty nokat alynman, süýndürilen simmetrik bolmadyk ýagty menek alynýar. Bu menek, görnüşi boýunça kometa (guýrukly ýyldyz) meňzeş bolýanlygy sebäpli oňa ***koma*** diýilýär.

Aberrasiýanyň koma görnüşiniň alnyşy we onuň hususy görnüşi 5.36-njy çyzgyda şekillendirilen.

Koma görnüşli aberrasiýa ýygnaýjy we dargadyjy linzalary utgaşdyryp ýerleşdirmek bilen ýok edilýär.

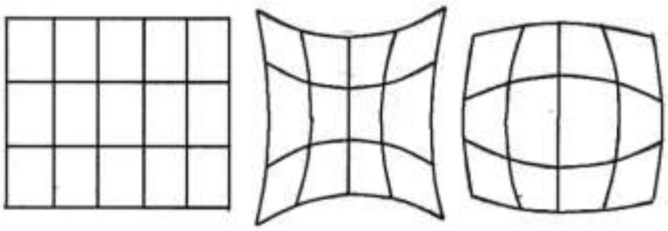


5.36-njy çyzgy

5. Distorsiýa

Aberrasiýanyň bu görnüşi görüş meýdanynyň çäginde ulaldyşyň hemişelik bolmazlygy sebäpli ýüze çykýar.

Beýle aberrasiýanyň netijesinde, gönüburçly öýjüklere linza arkaly syn edilende gönü çyzyklar gyşyk bolup görnüp öýjükleriň görnüşiniň üýtgemesi ýüze çykýar. Distorsiýa sebäpli şekiliň ýoýulmasy 5.37-nji çyzgyda görkesilen.



5.37-nji çyzgy

Distorsiýany ýok etmek üçin hem dürli dury maddalardan ýasalan ýygnaýjy we dargadyjy linzalary utgaşdyrmak usuly peýdalanýar.

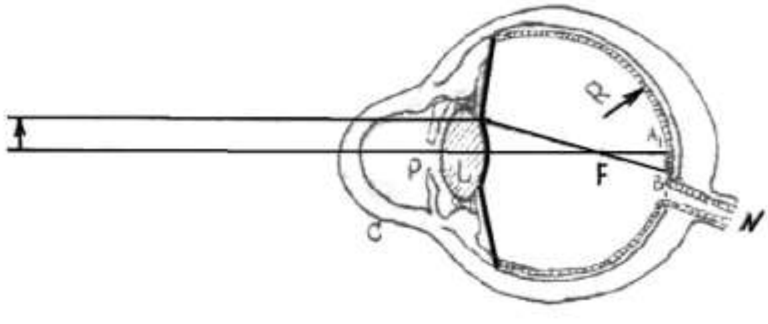
5.10. Göz optiki ulgam hökmünde

Görünme, gözüň duýujy elementlerinde ýagtylyk energiýasynyň himiki energiýa öwrülmegi bilen baglanyşyklydyr.

Adamyň gözi diametri ortaça 2,5**sm** bolan, sfera görnüşe eýedir. Adam gözüniň kese-kesigi 5.38-nji çyzgyda şekillendirilen görnüşdedir.

Gözüň öňündäki böleginde göz perdesi (C) ýerleşýär. Perde bilen hrustaljygyň (L) arasynda suwuklyk bolýar. Hrustaljyk goşagüberçek linza görnüşindäki dury maddadyr.

Göz myşsalarynyň täsiri arkaly hrustaljygyň üstleriniň egrilik radiusy we onuň bilen baglanyşyklykda fokus aralygy üýtgedilýär. Bu bolsa ýakyndaky we uzakdaky zatlary anyk görmekligi üpjün edýär. Hrustaljygyň yzynda aýna şekilli goýy dury suwuklyk bolýar. Hrustaljygyň öňündäki suwuklyk, hrustaljyk we dury aýna şekilli suwuklyk gözüň optiki ulgamy bolup hyzmat edýär. Gözüň fokusy (F) dury aýna şekilli maddanyň içinde ýerleşýär.



5.38-nji çyzgy

Hrustaljygyň edil öňünde ortasy deşikli reňkli ýorka ýerleşýär. Bu deşige göreç ýa-da gözüň garasy diýilýär. Ýagtylandyrylyşa baglylykda görejiň ölçegleri üýtgeýär: ýagtylandyryş uly bolsa göreç kiçelýär we tersine.

Gözüň töründe torjumak (setçatka) örtük ýerleşýär. Torjumak örtükde ýagtylygy duýujy nerwler ýerleşýär. Görünýän zadyň (AB) şekili A_1B_1 torjumak örtügiň üstünde emele gelýär. Görüş nerwleri (N) kelle beýnisi bilen göni birikýär. Ýagtylygy duýujy nerwler iki görnüşde bolýarlar. Olar taýajyklar we küzejikler diýlip atlandyrylyp, mukdary hem-de ýagtylygy duýujylygy bilen bir-birinden tapawutlanýarlar.

Küzejikleriň sany $7\cdot10^5$ çemesi, taýajyklaryň sany $133\cdot10^6$-e çenli bolýar. Taýajyklar ýagtylyga has duýgur bolup reňkleri tapawutlandyryp bilmeýärler. Küzejikleriň ýagtylygy duýuşy taýajyklaryňkydan gowşak bolup reňkleri gowy tapawutlandyrýarlar. Şu sebäpli iňrik wagty we gije görüş taýajyklar arkaly amala aşyrylýar, ähli zatlar bir reňkde görünýär.

Küzejikleriň duýgurlygy gowşak bolan göz reňki saýgaryp bilmeýär. Beýle gözli adama daltonik diýilýär.

Ýagtylandyrşy kadaly ýerden, dessine has gowşak ýagtylandyryşly ýere geçende göz bir bada görmeýär, sebäbi göreç kiçi bolýar we az mukdardaky ýagtylandyryş görüş duýgusyny döredip bilmeýär. Garaňkyda göreç ýuwaş-ýuwaşdan ulalýar (garaňka uýgunlaşýar) we göz görmek ukybyna eýe bolýar. Edil şonuň ýaly garaňkydan dessine güýçli ýagta çykan adamyň gözi gamaşýar. Sebäbi garaňka uýgunlaşan gözüň göreji uly bolup, ýagta çykanda ondan geçýän ýagtylygyň mukdary has köp bolýar we görüş nerwlerini gyjyndyrýar. Biraz wagtdan göreç kiçelýär we adam ýagta uýgunlaşýar. Gözüň dürli ululykdaky ýagtylandyryşlara uýgunlaşmasyna adaptasiýa diýilýär.

Uzakdaky zatlar görende göz ýadamaýar. Sebäbi hrustaljygyň egrilik radiusyny üýtgedýän myşsalar erkin ýagdaýda bolýar. Göze ýakyn ýerleşen zatlar görlende göz myşsalary dartgynly ýagdaýda bolup hrustaljygyň egrilik radiusyny ulaldyp saklaýar. Şonuň üçin hem göz ýadaýar.

Kadaly gözüň ýakyndan görmek aralygy ýaş aýratynlygyna baglylykda dürli bolýar. 20 ýaşa çenli görmek aralygy 10 sm töwereginde, 40 ýaşa çenli 22 sm töwerekleri bolýar. Kadaly göz üçin ýakyndan görmek aralygy ortaça 25 sm hasap edilýär. Ýaşyň ulalmagy bilen ýakyndan görmek aralygy hem artýar. Kadaly gözde 25 sm-den başlap islendik uzaklykdaky zatlaryň anyk şekili torjumak örtügiň üstünde emele gelýär. Kemçilikli gözde uzakdaky ýa-da ýakyndaky zatlaryň anyk şekili torjumak örtügiň üstünde emele gelmeýär. Beýle ýagdaýda zatlar aýdyň görünmeýär. Bu kemçilik äýnegiň kömegi bilen düzedilýär.

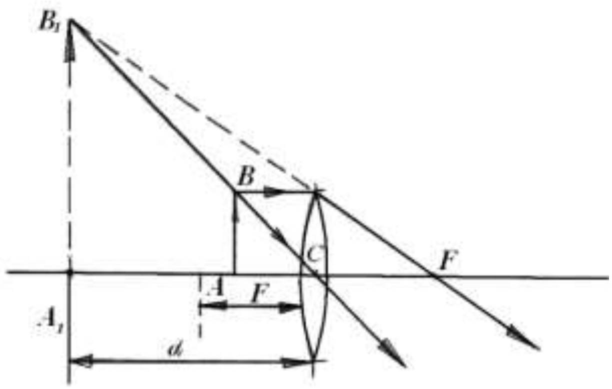
Görüş düýgusy göze ýagtylyk düşen badyna döremeýär. Ol ýagtylygyň depginine baglylykda göze ýagtylyk düşenden ($0{,}1 \div 0{,}25$ s-de) soň oýandyrylýar. Ýagtylyk göze düşmesini bes edende-de görüş duýgusy bada-bat aýrylmaýar. Gözüň bu häsiýeti kino, telewizora tomaşa edende çalt üýtgeýän ýagtylygy üznüksiz görnüşde kabul etmäge mümkinçilik berýär .

5.11. Optiki abzallar

Optiki abzallaryň dürli kysymlylary we örän köp görnüşileri bardyr. Olaryň käbirlerine, ýagny gözi ýaraglandyryjy optiki abzallara seredip geçeris. Bu abzallaryň aglabasynda obýektiwi we okulýary bolýar. Obýektiw-aberrasiýalardan halas bolan linza ýa-da linzalar ulgamydyr. Ol predmetleriň ulaldylan hakyky şekilini almak üçin niýetlenendir. Okulýar hem aberrasiýalardan halas bolan linza ýa-da linzalar ulgamy bolmak bilen, obýektiwiň kömeginde alnan şekili has ulaldyp, göze düşürmek wezipesini ýerine ýetirýär. Eger ýakyn aralykda ýerleşen ownuk zatlaryň $10 \div 20$ esse ulaldylan şekilini görmek ýeterlik bolsa, onda diňe okulýar peýdalanylyp biliner. Şeýle okulýara mysal hökmünde lupany görkezmek bolar.

1. Lupa

Lupa, gysga fokusly ýygnaýjy linzadyr. Ölçegleri ulaldylyp görülmäge degişli zat (*AB*) fokus nokat bilen linzanyň aralygynda fokus nokada ýakyn ýerleşdirilýär 5.39-njy çyzgy.



5.39-njy çyzgy

Lupa predmetiň ulaldylan hyýaly şekilini (A_1B_1) d aralykda emele getirýär. Bu aralyk kadaly göz üçin iň gowy görünme aralygy hasap edilip, $d = 25sm$. ABC we $A_1B_1C_1$ üçburçlyklaryň meňzeşliginden

alarys
$$\frac{A_1B_1}{AB} = \frac{d}{F}$$

Bu ýerde $AC \approx F$ diýip kabul etdik. Bu gatnaşyk lupanyň ulaldyşyny berýär. Onda lupanyň ulaldyşy üçin ýazyp bileris:

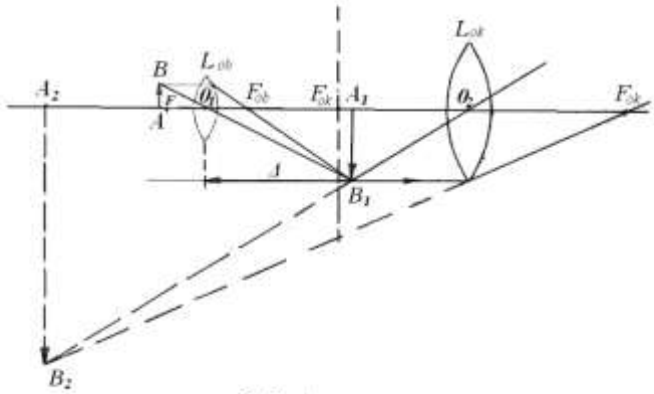
$$\Gamma = \frac{25sm}{F} \qquad (5.36)$$

Lupa üçin $F \approx (1{,}2 \div 5)sm$. Diýmek, lupanyň aňrybaş ulaldyşy 20 esse çemesidir, abzallarda ulaldyş N^x görnüşde ($N = 5{,}10{,}20{,}...$) belgilenýär.

2. Mikroskop

Örän kiçi (mikrometriň çäklerinde) bölejikleri görmek üçin *mikroskop* diýilip atlandyrylýan optiki abzal peýdalanylýar. Mikroskop gysga fokusly obýektiwden we gysga fokusly okulýardan ybaratdyr. Mikroskopda şekiliň alnyşyny görkezmek üçin onuň obýektiwini (L_{ob}) şeýle-de okulýaryny (L_{ok}) bir sany linzadan ybarat, sadalaşdyrylan görnüşde şekillendireris. Hakykatda mikroskobyň obýektiwi birnäçe linzadan ybaratdyr.

Görmek gerek bolan ownujak bölejek (*AB*) obýektiwiň birinji fokus nokadyna ýakyn ýagdaýda ýerleşdirilýär. (5.40-njy çyzgy).



5.40-njy çyzgy

Obýektiwiň kömeginde bölejigiň ulaldylan hakyky şekili (A_1B_1) emele getirilýär. Obýektiwiň ulaldyşy

$$\Gamma_{ob} = \frac{\Delta}{F_{ob}} = \frac{A_1B_1}{AB}. \qquad (5.36)$$

Bu ýerde Δ-obýektiwiň ikinji fokusyndan okulýaryň birinji fokusyna çenli aralyk. Obýektiwiň fokus aralygy kiçi bolýandygyna görä Δ-aralyk A_1B_1 şekile çenli aralyga deň diýlip kabul edilýär. Obýektiwiň şeýle-de okulýaryň fokus aralyklarynyň kiçiligi sebäpli, köplenç Δ ululyk obýektiwden okulýara çenli aralyga, ýagny mikroskopyň turbasynyň uzynlygyna deň hasap edilýär. Obýektiwiň kömeginde alnan şekil (A_1B_1) okulýaryň birinji fokusyndan azajyk geçip ýerleşýär. Okulýar, obýektiwiň emele getiren şekilini (A_2B_2) ulaldyp hyýaly şekili emele getirýär. Okulýaryň ulaldyşy lupanyň ulaldyşy ýaly kesgitlenilýär:

$$\Gamma_{ok} = \frac{A_2B_2}{A_1B_1} = \frac{25sm}{F_{ok}}. \qquad (5.37)$$

Onda mikroskopyň ulaldyşy

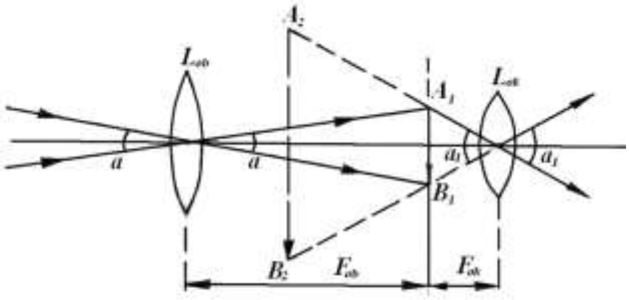
$$\Gamma_m = \frac{A_2B_2}{AB} = \Gamma_{ob} \cdot \Gamma_{ok} = \frac{\Delta 25sm}{F_{ob} \cdot F_{ok}}. \qquad (5.38)$$

Optiki (görünýän ýagtylykda işleýän) mikroskoplaryň ulaldyşy 2000 essä çenli bolýar.

3. Teleskop

Örän uzakdaky jisimleri (mysal üçin, asman jisimlariniň) ulaldylan şekilini görmek üçin niýetlenen optiki abzala *teleskop* diýilýär. Teleskop uly fokusly obýektiwden we kiçi fokusly okulýardan ybaratdyr.

Teleskopyň obýektiwiniň ikinji fokusy onuň okulýarynyň birinji fokusyna gabat geler ýaly edilip, bir optiki okda ýerleşdirilýär (5.41-nji çyzgy).



5.41-nji çyzgy

Şeýle optiki ulgama teleskop diýilýär. Uzak aralykdaky jisimleriň şekili (A_1B_1). teleskopyň obýektiwiniň fokal tekizliginde emele gelýar. Okulýar onuň ulaldylan hyýaly (A_2B_2) şekilini berýär.

Uzakdaky jisime obýektiwiň merkezinden seredende nähili α burçuň çäginde görünýän bolsa şol burç bilen ol obýektiwden geçýär. Okulýardan seredilende A_1B_1 şekil α_1 burçuň çäginde görünýär. Diýmek, obýektiw üçin A_1B_1 şekiliň burç ululygy $\alpha = \dfrac{A_1B_1}{F_{ob}}$ bolar.

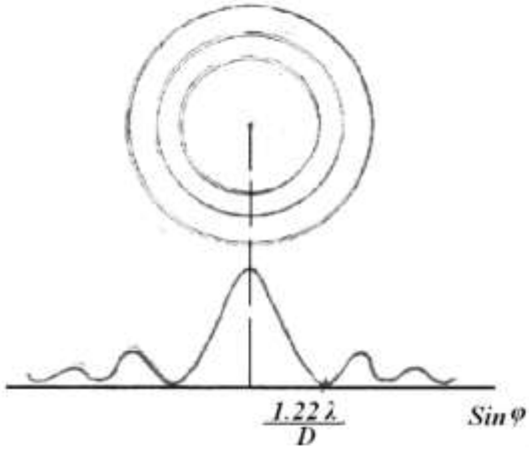
Okulýar üçin A_1B_1 şekiliň burç ululygy $\alpha_1 = \dfrac{A_1B_1}{F_{ok}}$ bolýar. Onda teleskopyň burç ulaldyşy

$$\Gamma_t = \frac{\alpha_1}{\alpha} = \frac{F_{ob}}{F_{ok}}. \qquad (5.39)$$

Teleskopda jisimleriň ters şekili alynýar. Asman jisimlerine gözegçilik edilende onuň ähmiýeti bildirmeýär. Emma Ýeriň üstündäki uzak aralykdaky jisimlere gözegçilik edilende şekil öz bolşy ýaly görünmegi amatlydyr. Bu kemçiligi aýyrmak üçin teleskopa ýörite şekili öwüriji ulgam oturdulýar. Ýeriň üstünde uzak aralykdaky zatlary görmek üçin şeýle-de umman gämilerinde ulanylýan teleskoplara görüş turbasy diýilýär.

5.12 Şekiliň difraksiýa tebigaty. Optiki abzallaryň saýgaryjylyk ukyby

Islendik optiki abzalda (teleskop, mikroskop we ş.m-de) şekil abzalyň içine, apertura germawynyň kömegi bilen çäklendirilip geçirilýän ýagtylyk dessesi arkaly emele getirilýär. Apertura germawyň kiçelmegi bilen optiki ulgamlaryň aberrasiýasy azalýar, ýöne difraksiýa güýçlenýär. Netijede, ýagtylanýan nokadyň şekili interferensiýa halkalar bilen gurşalan ýagty menek görnüşde bolýar. Bu ýagdaý optiki abzallaryň saýgaryjylyk ukybyny, ýagny iki sany, bir-birine ýakyn ýerleşen nokatlaryň aýratyn şekillerini emele getirmegi çäklendirýär. 5.42-nji çyzgyda ýagtylanýan nokadyň optiki abzalda emele getirýän şekili we difraksiýasynyň grafigi şekillendirilen.

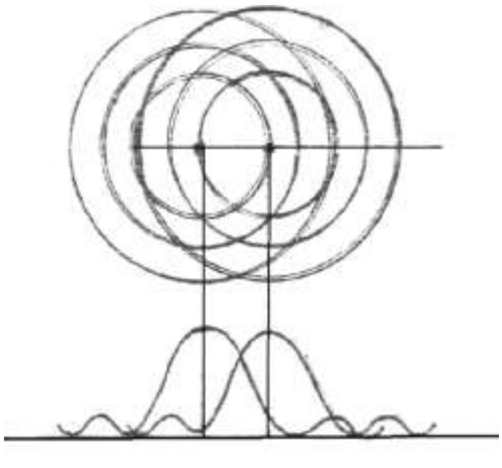


5.42-nji çyzgy

Garaňky halkalaryň radiusy

$$\sin\varphi = m\frac{1,22}{D}\lambda \qquad (5.40)$$

aňlatma arkaly kesgitlenilýar. Bu ýerde D-germawyň ýagtylygy geçirýän deşiginiň diametri, φ difraksiýa burçy, m garaňky halkalaryň tertip belgisi. Nokadyň şekili hökmünde difraksiýa zerarly ýagtylygyň depgininiň iň uly güýçlenmesi (ortadaky ýagty menek) alynýar. Grafikde görünişi ýaly merkezi iň uly güýçlenme, iki tarapyndan iň kiçi gowşama bilen çäklenýär. Merkezi iň uly



5.43-nji çyzgy

güýçlenmäniň radiusy (5.40) aňlatma boýunça $m=1$ bolanda $\sin\varphi = 1{,}22\frac{\lambda}{D}$ gatnaşykdan kesgitlenilýär. Ýanaşyk ýerleşen iki nokat iki sany difraksiýa şekili emele getirýär (5.43-nji çyzgy).

Ýanaşyk ýerleşen nokatlaryň aýratyn görünmegi üçin merkezi iň uly güýçlenmeler saýgarylýan bolmaly. Releýiň kanuny boýunça iň uly güýçlenmeleriň aralygy:

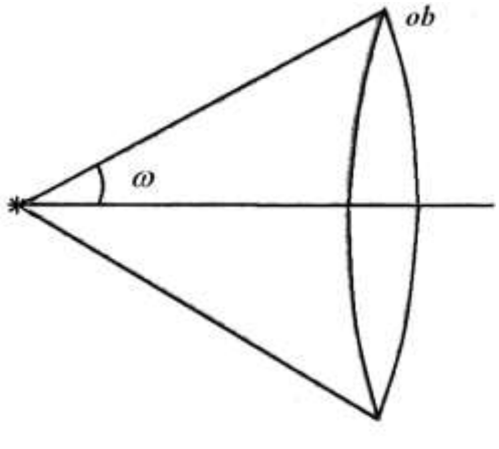
$$\sin(\Delta\varphi) \geq \frac{1{,}22}{D}\lambda \qquad (5.41)$$

gatnaşygy kanagatlandyrýan bolsa, onda olar saýgarylýandyr. Difraksiýa burçunyň kiçiligi sebäpli (5.41) gatnaşygy $\Delta\varphi \geq 1{,}22\frac{\lambda}{D}$

görnüşde ýazmak mümkin. 5.43-nji çyzgyda $\Delta\varphi = 1{,}22\frac{\lambda}{D}$ şerti kanagatlandyrýan ýagdaý şekillendirilen. Eger-de teleskopda iki sany ýakyn ýerleşen ýyldyzlar görünýän bolsa we ol ýyldyzlaryň şekili (5.41) şerti kanagatlandyrýan bolsa, onda olar aýratyn görünýär diýilip hasap edilýär

$$\Delta\varphi_0 = 1{,}22\frac{\lambda}{D}$$

ululyga teleskopyň saýgarma burçunyň çägi diýilýär. $\frac{1}{\Delta\varphi_0}$ ululyga teleskopyň saýgarma güýji diýilýär.



5.44-nji çyzgy

Kadaly gözüň saýgarma burçunyň çägi $\Delta\varphi_0 \approx 1'$ çemesidir (görejiň diametri $D \approx 2mm$).

Mikroskopyň saýgaryjylyk ukyby diýlende ýanaşyk ýerleşen iki nokadyň aýratyn görünýän şekilleriniň arasyndaky iň kiçi aralyk (Δl_0) göz öňünde tutulýar:

$$\Delta l_0 = \frac{0{,}61}{A}\lambda_0 .$$

Bu ýerde λ_0-ýagtylygyň wakuumdaky tolkun uzynlygy, $A = n\sin\omega$ - obýektiwiň san aperturasy, ***n***-obýektiwiň ýerleşen gurşawynyň döwülme görkezijisi, ω - predmetiň nokadyndan çykyp, mikroskopyň obýektiwine düşýän şöhläniň giňelme burçunyň ýarysy (5.44-nji çyzgy).

Eger gözegçilik edilýän bölejigiň özi ýagtylanýan bolsa, onda $\Delta l_0 \geq \frac{\lambda_0}{A}$ bolar. Şu ýerden görnüşi ýaly mikroskopyň saýgaryjylyk ukybyny artdyrmak (Δl_0-y içeltmek) üçin λ_0 kiçi ýa-da A uly bolmalydyr.

Altynjy bap

Ýagtylygyň polýarlanmasy

6.1. Polýarlanan we polýarlanmadyk ýagtylyk. Çyzykly, ellips görnüşli we töwerekleýin polýarlanma

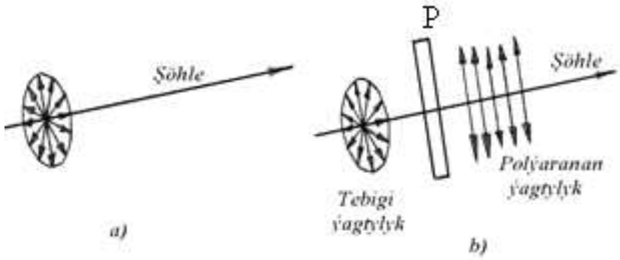
Tolkunlaryň interferensiýa, difraksiýa hadysalary kese tolkunlarda-da, boý tolkunlarda-da ýüze çykýar. Emma diňe kese tolkunlarda ýüze çykýan hadysalar hem bar. Şeýle hadysa mysal hökmünde ýagtylygyň polýarlanmasyny görkezmek bolýar.

Ýagtylygyň, elektrik we magnit wektorlary ýagtylygyň ýaýraýan ugruna perpendikulýar bolan, kese elektromagnit tolkundygy Makswel tarapyndan nazary taýdan subut edilen hakykatdyr. Emma ýagtylygyň kese tolkundygy, şonuň bilen baglanyşykly polýarlanmasynyň Maksweliň elektromagnit nazaryýetinden (1865ý) has öň ýüze çykarylandygyny bellemek ýerliklidir

Belli bolşy ýaly ýagtylyk oýandyrylan atomlar tarapyndan aýry-aýry suglar (tolkun parçalary) görnüşinde şöhlelendirilýär. Her bir atom bir şöhlelenme pursatynda bir tolkun parçasy göýberýär. Tolkun parçasynyň elektrik ($\vec{E}$) we magnit ($\vec{H}$) wektorlary özara perpendikulýar bolup giňişlikde käbir ugur boýunça ugrukdyrylýarlar.

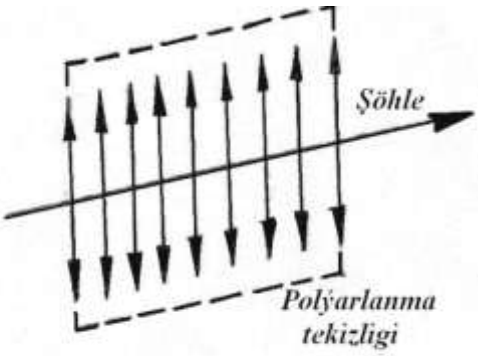
Ýagtylyk hadysalarynda onuň elektrik wektory esasy orny eýeleýändigini göz öňünde tutup, magnit wektory barada gürrüň etmeris.

Maddanyň oýandyrylan atomlary bir-birine baglanyşyksyz şöhlelenýärler. Şoňa görä dürli atomlaryň şöhlelendirýän tolkun parçasynyň elektrik wektorlary giňişlikde dürli ugra ugrukdyrylandyr. Beýle ýagtylyga tebigy ýa-da polýarlanmadyk ýagtylyk diýilýär. Ol 6.1-nji “*a*” çyzgydaky ýaly şekillendirilip bilinýär. Elektrik wektorlary özara parallel bolan ýagtylyga polýarlanan ýagtylyk diýilýär. Tebigy ýagtylyk käbir maddanyň ýuka gatlagyndan geçende onuň elektrik wektorlary özara parallel ýagdaýda bolýar. Ol 6.1-nji “*b*” çyzgydaky ýaly şekillendirilýär.



6.1-nji çyzgy

Bu ýerde (P) madda polýarlaýjy diýilýär. Polýarlanan ýagtylygyň elektrik wektorynyň ýerleşen tekizligi üýtgemese, onda oňa tekiz ýa-da çyzykly polýarlanan ýagtylyk diýilýär. Bu tekizlige ýagtylygyň polýarlanma tekizligi diýilýär. 6.2-nji çyzgyda şekillendirilen tekizlik.

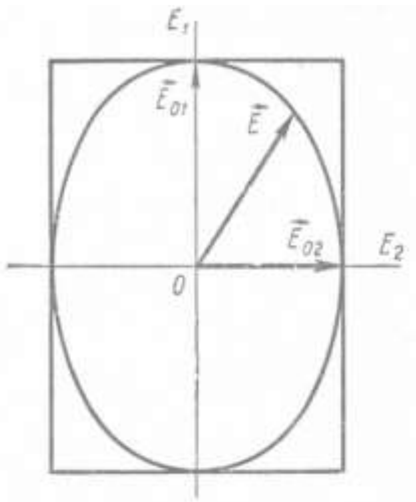


6.2-nji çyzgy

Polýarlanma tekizlikleri özara perpendikulýar bolan iki sany kogerent, çyzykly polýarlanan ýagtylyklary goşmak bilen ellips görnüşli ýa-da tölwerekleýin polýarlanan ýagtylyklary almak mümkin. Beýle ýagtylyk giňişlikde ýaýranda onuň elektrik wektorynyň ujy ellips ýa-da töwerek çyzýar.

Goý, bize elektrik wektorlary degişlilikde $\vec{E}_1$ we $\vec{E}_2$ bolan we özara perpendikulýar tekizlikde yrgyldaýan garmoniki yrgyldylar berlen bolsun:

$$\begin{aligned} \vec{E}_1 &= \vec{E}_{01}\cos\omega t, \\ \vec{E}_2 &= \vec{E}_{02}\sin\omega t. \end{aligned} \qquad (6.1)$$



6.3-nji çyzgy

Bu ýerde $\vec{E}_{01}$ we $\vec{E}_{02}$ degişlilikde yrgyldylaryň wertikal we gorizontal ugurlardaky amplituda wektorlary, $\omega = 2\pi\nu$ - yrgyldylaryň aýlaw ýygylygy. Bu iki yrgyldynyň goşulyp emele getirýän netijeleýji yrgyldysynyň deňlemesi:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = \vec{E}_{01}\cos\omega t + \vec{E}_{02}\sin\omega t\,. \qquad (6.2)$$

Eger $\left|\vec{E}_{01}\right| = \left|\vec{E}_{02}\right|$, onda $\vec{E}$ wektoryň ujy töwerek çyzýar. (6.2) aňlatma töwerek boýunça sagyna polýarlanan ýagtylyga degişli (elektromagnit meýdanynyň wektorlary sagat diliniň hereketiniň ugruna aýlanýan ýagdaýy). Töwerek boýunça çepine polýarlanan ýagtylygyň deňlemesi:

$$\vec{E}' = \vec{E}_{01}\cos\omega t - \vec{E}_{02}\sin\omega t\,. \qquad (6.3)$$

$\vec{E}_{01}$ we $\vec{E}_{02}$ amplituda wektorlaryň ululyklarynyň deň ýagdaýy üçin

$$\vec{E}_{02} = \left[\vec{E}_{01}\vec{n}\right] \qquad (5.4)$$

aňlatmany ýazmak mümkin.

$\vec{E}_{01}$ amplituda wektoryny $\vec{E}_0$ bilen belläp (6.2) we (6.3) aňlatmalary aşakdaky ýaly ýazyp bileris:

$$\begin{aligned} \vec{E} &= \vec{E}_0\cos\omega t + \left[\vec{E}_0\vec{n}\right]\sin\omega t, \\ \vec{E}' &= \vec{E}_0\cos\omega t - \left[\vec{E}_0\vec{n}\right]\sin\omega t. \end{aligned} \qquad (5.5)$$

Ähli amplituda wektorlarynyň ululyklary özara deň diýip kabul edilen ýagdaýynda

$$\left|\vec{E}\right| = \left|\vec{E}'\right| = \left|\vec{E}_{01}\right| = \left|\vec{E}_{02}\right| = \left|\vec{E}_0\right| = E_0\,.$$

Bu ýerde E_0 - $\vec{E}_0$ - wektoryň we beýlekileriň skalýar bahasy.

(6.1) aňlatmalaryň ikisini hem kwadrata göterip, goşup, degişli matematiki özgertme geçirip, aňlatmany alarys:

$$\frac{E_1^2}{E_0^2} + \frac{E_2^2}{E_0^2} = 1. \qquad (6.6)$$

Bu deňleme E_1, E_2 koordinata ulgamynda töweregiň deňlemesini aňladýar. Deňlemedäki E_1 we E_2 degişlilikde $\vec{E}_1$ we $\vec{E}_2$ wektorlaryň skalýar bahalary.

Şeýlelikde töwerekleýin polýarlanan ýagtylygy iki sany çyzykly polýarlanan ýagtylyk tolkunlarynyň jemi hökmünde seredip boljakdygyny subut etdik.

Eger $\left|\vec{E}_{01}\right| \neq \left|\vec{E}_{02}\right|$, onda (6.2) we (6.3) deňlemeler ellips görnüşli polýarlanan ýagtylygy berýär.

(6.1) aňlatmalaryň ikisini hem kwadrata göterip, käbir matematiki özgertmeleriň esasynda

$$\frac{E_1^2}{E_{01}^2}+\frac{E_2^2}{E_{02}^2}=1 \qquad (6.7)$$

aňlatmany alarys. Bu deňleme E_1, E_2 koordinata ulgamynda ellipsiň kanoniki görnüşdäki deňlemesidir. 6.3-nji çyzgyda (6.7) deňlemäniň esasynda alnan ellips şekillendirilen.

Has umumy görnüşde $\vec{E}_1$we $\vec{E}_2$ wektorlaryň deňlemesi aşakdaky görnüşde aňladylýar:

$$\begin{aligned}\vec{E}_1 &= \vec{E}_{01}\cos\omega t,\\ \vec{E}_2 &= \vec{E}_{02}\cos(\omega t-\delta).\end{aligned} \qquad (6.8)$$

Bu ýerde δ -$\vec{E}_1$we $\vec{E}_2$wektorlaryň faza tapawudy .

Bu ýagdaýda netijeleýji wektor

$$\vec{E}=\vec{E}_{01}\cos\omega t+\vec{E}_{02}\cos(\omega t-\delta) \qquad (5.9)$$

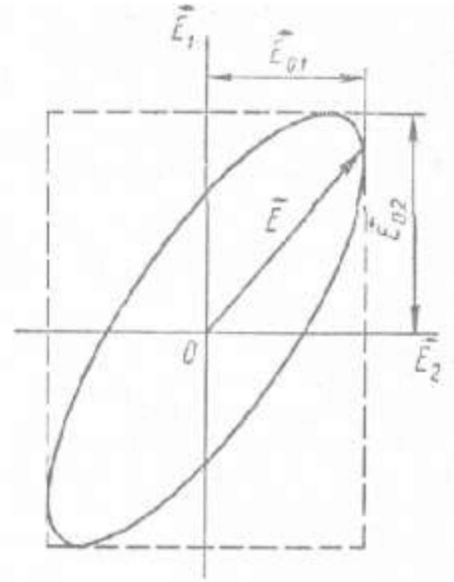
görnüşde aňladylýar. (6.8) aňlatmalary

$$\begin{aligned}\frac{E_1}{E_{01}} &= \cos\omega t,\\ \frac{E_2}{E_{02}} &= \cos\omega t\cos\delta+\sin\omega t\sin\delta\end{aligned} \qquad (6.10)$$

görnüşde ýazalyň.

Bu ýerden

$$\frac{E_2}{E_{02}}-\frac{E_1}{E_{01}}\cos\delta=\sin\omega t\sin\delta\,. \qquad (6.11)$$



6.4-nji çyzgy

(6.10) aňlatmanyň birinjisini $\sin\delta$ köpeldip, kwadrata göterip, (6.11) aňlatmany hem kwadrata göterip özara göşmak arkaly

$$\frac{E_1^2}{E_{01}^2}+\frac{E_2^2}{E_{02}^2}-2\left(\frac{E_1}{E_{01}}\right)\left(\frac{E_2}{E_{02}}\right)\cos\delta=\sin^2\delta \qquad (6.12)$$

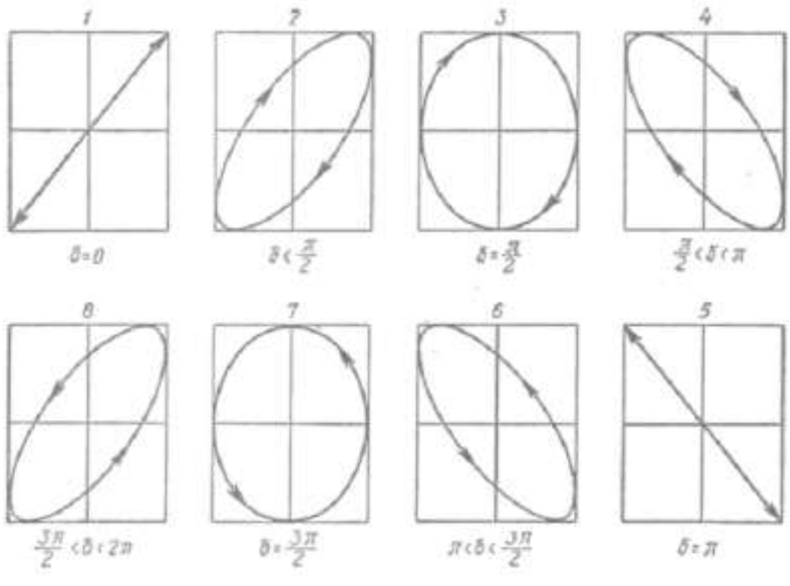
görnüşdäki aňlatmany alarys.

Bu (6.12) deňleme E_1, E_2 koordinata ulgamynda taraplary degişlilikde $2E_{01}$ we $2E_{02}$ bolan gönüburçlykda çyzylan ellipsiň deňlemesidir.

Şu ýerden görnüşi ýaly netijeleýji tolkunyň elektrik wektory goşulýan tolkunlaryň elektrik wektorlarynyň geometrik jemine deň bolup $\left(\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2\right)$, onuň ujy ýagtylyk şöhlesiniň ýaýraýan ugruna perpendikulýar ýerleşen tekizlikde ellips görnüşli traýektoriýany çyzýar.

Belli bolşy ýaly töwerekleýin polýarlanmada aýlanmanyň ýygylygy ýagtylyk yrgyldylarynyň ν ýygylygyna deň bolýar. Eger $\delta = \frac{\pi}{2}$ ýa-da $\delta = (2m+1)\frac{\pi}{2}$ bolsa $(m = 1,2,3,...)$, onda $\sin\delta = \pm 1,\ \cos\delta = 0$ bolar. Bu ýagdaýda (6.12) ellipsiň deňlemesi kanoniki görnüşe (6.7) eýe bolar. Netijeleýji tolkunyň $\vec{E}$ we $\vec{H}$ wektorlaryň aýlanýan ugry δ burça baglydyr. Eger $0 < \delta < \pi$ bolsa, onda aýlanma sagat diliniň hereketiniň ugruna bolýar. Eger $\pi < \delta < 2\pi$ bolsa onda aýlanma sagat diliniň hereketiniň tersine bolýar. 6.5-nji çyzgyda ellips görnüşli polýarlanmanyň dürli ýagdaýlary şekillendirilen.

Eger $E_{01} = E_{02}$ we $\delta = \frac{\pi}{2}$ ýa-da $\delta = (2m+1)\frac{\pi}{2}$ bolsa, onda ellips töwerege öwrülýär. Eger $\delta \neq \frac{\pi}{2}$ ýa-da $\delta \neq (2m+1)\frac{\pi}{2}$ hem-de $E_{01} = E_{02}$ bolan ýagdaýynda-da traýektoriýanyň ellips görnüşine eýe bolmagy aýratyn üns bermeli ýagdaýdyr.



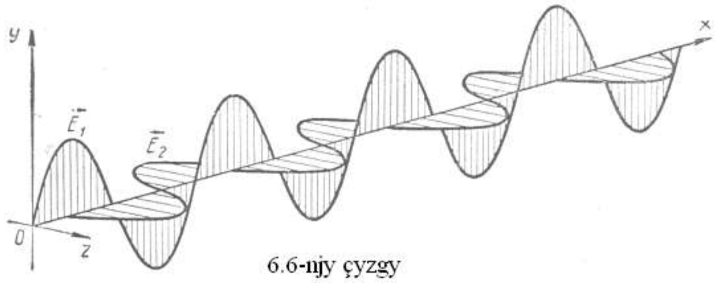
6.5-nji çyzgy

Haçanda $\delta = 0$ ýa-da $\delta = m\pi$, $\sin\delta = 0$ bolsa, onda traýektoriýa

$$\frac{E_1}{E_{01}} \pm \frac{E_2}{E_{02}} = 0 \qquad (6.13)$$

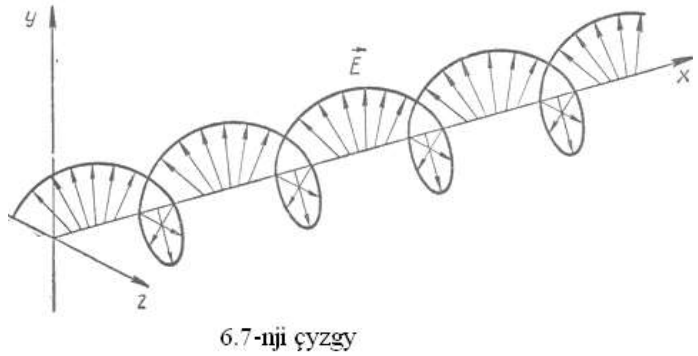
görnüşdäki deňleme bilen kesgitlenilýän göniçyzyga öwrülýär. Bu ýagdaýda netijeleýji ýagtylyk tolkuny çyzykly polýarlanan bolýar.

Iki sany bir ugra ýaýraýan we özara perpendikulýar tekizliklerde polýarlanan we biri-birinden fazasy boýunça $\frac{\pi}{2}$ ululyga tapawutlanýan elektromagnit tolkunlaryň grafigi 6.6-njy çyzgyda şekillendirilen.



6.6-njy çyzgy

Bu iki tolkun, şöhläniň daşynda aýlanýan töwerek ýa-da ellips görnüşli polýarlanan bir sany tolkuna ekwiwalentdir. Bu iki tolkunyň netijeleýji elektrik meýdanynyň güýjenme wektorynyň giňişlikde üýtgeýşi 6.7-njy çyzgyda şekillendirilen.



6.7-nji çyzgy

Netijeleýji tolkunyň $\vec{E}$ wektoryň uçlarynyň egiji çyzyklary şöhläniň ýaýraýyş okunuň daşyndaky hyr görnüşli egrini emele getirýär.

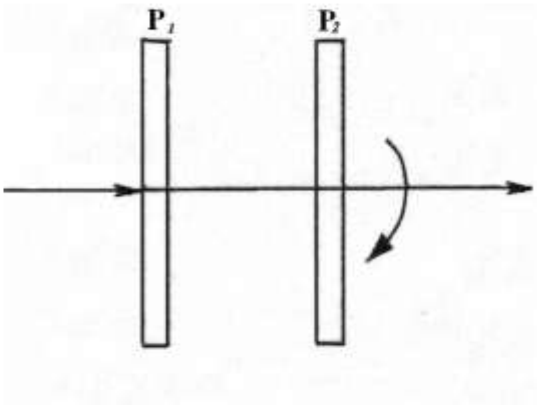
Käbir ugurda ýagtylyk yrgyldylary köpräk bolan ýagdaýa kem-käs polýarlanan ýagtylyk diýilýär. Kem-käs polýarlanan ýagtylygy polýarlaýjy maddanyň ýuka gatlagyndan geçirip, polýarlaýjy madda şöhläniň daşyndan aýlandyrylanda polýarlaýjydan geçýän ýagtylygyň depgini (intensiwligi) käbir iň uly $I_{iň\ uly}$ ululygyndan käbir iň kiçi $I_{iň\ kiçi}$ ululygyna çenli üýtgeýär. Ýagtylygyň depgininiň beýle üýtgemesi polýarlaýjyny 90° burça aýlamak bilen ýüze çykarylýar.

$$P = \frac{I_{iň\ uly} - I_{iň\ kiçi}}{I_{iň\ uly} + I_{iň\ kiçi}} \qquad (6.1)$$

gatnaşyk arkaly kesgitlenilýän ululyga ýagtylygyň polýarlanma derejesi diýilýär. Tekiz polýarlanan ýagtylyk üçin $I_{iň\ kiçi} = 0$ bolýar, bu ýagdaýda ýagtylygyň polýarlanma derejesi $P = 1$ bolýar. Tebigy ýagtylyk üçin $I_{iň\ uly} = I_{iň\ kiçi}$ bolýar, bu ýagdaýda ýagtylygyň polýarlanma derejesi $P=0$ bolýar.

6.2 Polýarlaýjylar we seljerijiler. Malýusyň kanuny

Polýarlanan ýagtylygy almak üçin kristallardan peýdalanylýar. Kristallarda optiki ok diýlip atlandyrylýan käbir ugurlar bolýar. Käbir kristallar (mysal üçin turmalin), tebigy ýagtylygyň elektrik wektory optiki okuna parallel bolan bölegini geçirýär, elektrik wektory optiki okuna perpendikulýar bölegini (siňdirýär) geçirmeýär. Beýle kristaldan geçen ýagtylyk doly polýarlanýar. Şeýle kristaldan, optiki okuna parallel kesilip alnan ýuka gatlak ýagtylygy polýarlaýjy bolup hyzmat edýär. Polýarlaýjydan geçen ýagtylygyň polýarlanmasyny kesgitlemek üçin tebigy ýagtylyk, özara parallel ýerleşen iki sany polýarlaýjydan geçirilýär. (6.8-nji çyzgy) Eger ikinji (P_2) polýarlaýjy şöhläniň daşynda aýlandyrylanda ondan geçýän ýagtylygyň depgininiň (intensiwliginiň) üýtgemesi ýüze çykýan bolsa, onda birinji (P_1) polýarlaýjydan geçen ýagtylyk polýarlanan hasap edilýär.



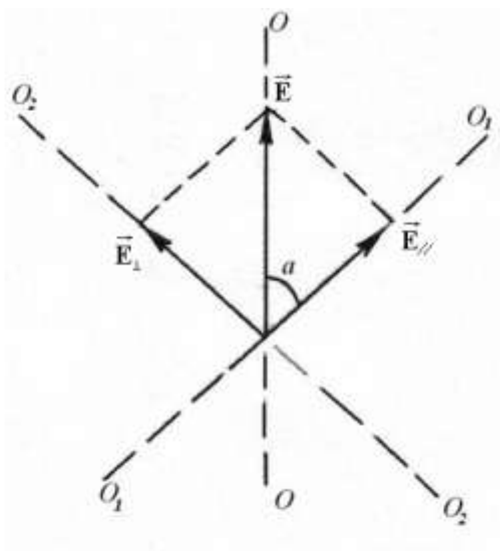
6.8-nji çyzgy

Ýagtylygyň depgininiň üýtgemesi ikinji polýarlaýjynyň (P_2) şöhläniň daşyndan $90°$ burça aýlanmasyndan bolup geçýär. Ikinji polýarlaýjynyň (P_2) käbir ýagdaýynda ondan ýagtylyk geçmeýär.

Bu bolsa birinji (P_1) polýarlaýjydan geçen ýagtylygyň doly polýarlanandygyny aňladýar. Şeýlelikde ikinji polýarlaýjy (P_2) birinji polýarlaýjydan (P_1) geçen ýagtylygyň polýarlanandygyny kesgitleýär (anyklaýar, ýüze çykarýar). Şonuň üçin ikinji polýarlaýja (P_2) seljeriji diýilýär.

Eger polýarlaýjynyň we seljerijiniň optiki oklary özara parallel bolsa, onda polýarlaýjydan geçen ýagtylygyň elektrik wektorlary seljerijiniň optiki okuna parallel bolýar we seljerijiden doly geçýärler. Bu ýagdaýda seljerijiden geçýän ýagtylygyň depginini (intensiwligini) iň uly ululygyna eýe bolýar. Eger seljeriji şöhläniň daşynda $90°$ burça aýlandyrylsa, onda polýarlaýjydan geçen ýagtylygyň elektrik wektorlary seljerijiniň optiki okuna perpendikulýar bolýar we seljerijiden geçýän ýagtylygyň depgini (intensiwligi) iň kiçi ululyga, ýagny nola deň bolýar.

Goý, polýarlaýjy we seljeriji optiki oklary özara käbir α burç emele getirýän ýagdaýynda ýerleşdirilen bolsun (6.9-nji çyzgy).



6.9-njy çyzgy

OO polýarlaýjynyň optiki oky, O_1O_1 seljerijiniň optiki oky. Polýarlaýjydan geçen ýagtylygyň elektrik wektorynyň amplitudasyny $\vec{E}$ özara perpendikulýar iki düzüjä (6.9-njy çyzgydaky ýaly) dargadylan görnüşde şekillendirmek mümkin.

Şu ýerden görnüşi ýaly seljerijiden O_1O_1 oka parallel $\vec{E}_{II}$ amplitudasy bolan ýagtylyk geçer, emma O_1O_1 oka perpendikulýar $E_\perp$ amplitudasy bolan ýagtylyk geçmez. Onda seljerijiden geçýän ýagtylygyň amplitudasynyň ululygy

$$E_{II} = E\cos\alpha \qquad (6.15)$$

bolar. Belli boluşy ýaly ýagtylygyň depgini onuň amplitudasynyň ikinji derejesine göni baglydyr, ýagny $I \sim E_{II}^2$ we $I_0 \sim E^2$.

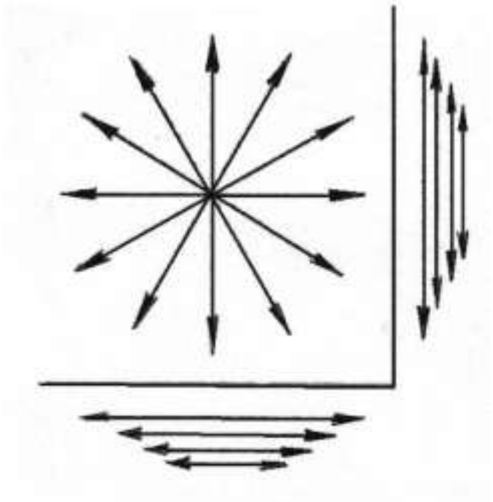
Onda seljerijiden geçen ýagtylygyň depgini

$$I = I_0 \cos^2 \alpha \quad (6.16)$$

görnüşde aňladylyp biliner.

Bu ýerde I_0 seljerijä düşýän polýarlanan ýagtylygyň depginini; I seljerijiden geçen ýagtylygyň depgini (6.16) aňlatma Malýusyň kanuny diýilýär.

Polýarlaýja tebigy ýagtylyk düşürilip ondan geçen şöhläniň daşynda polýarlaýjy aýlandyrylanda ýagtylygyň depginini (intensiwligini) üýtgemeýän bolsa onda polýarlaýja düşýän ýagtylygyň polýarlanma derejesiniň nola deňdigini aňladýar. Bu ýagdaýda polýarlaýjydan geçen ýagtylygyň depgini oňa düşýän ýagtylygyň depgininiň ýaýraýşyna deň bolýar. Bu ýagdaýy aşakdaky ýaly göz öňüne getirmek bolar: Tebigy ýagtylygyň elektrik wektorlaryny özara perpendikulýar iki tekizlige proýektirlenen görnüşde (6.10-nji çyzgy) şekillendirmek mümkin. Çyzgydan görnüşi ýaly her tekizlikdäki elektrik wektorlaryň umumy mukdary özara deňdir, diýmek, her tekizlige degişli ýagtylygyň depgini hem özara deňdir.



6.10-njy çyzgy

Polýarlaýjydan ýagtylygyň elektrik wektorlarynyň bir tekizlikde bolýany geçýändigine görä onuň depgini

$$I = \frac{1}{2} I_0 \qquad (6.18)$$

bolar. Bu ýerde I_0 – polýarlaýja düşýän tebigy ýagtylygyň depgini. Eger polýarlaýjydan ýagtylygyň käbir mukdary (k) siňdirilýän (ýitýän) bolsa, onda polýarlaýjydan geçen ýagtylygyň depgini

$$I = \frac{1}{2}(1-k) I_0 \qquad (6.18')$$

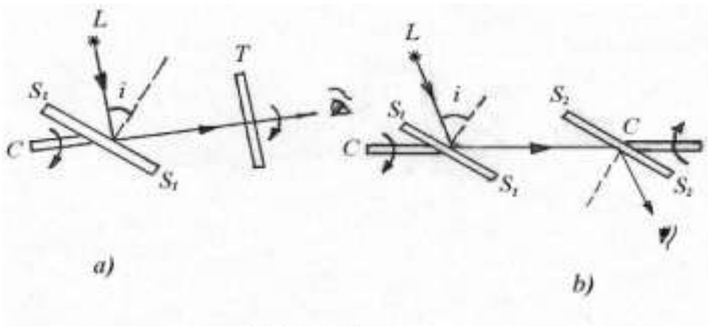
görnüşde aňladylýar.

Içinden geçýän ýagtylygy polýarlaýan kristallar, turmalinden başga-da köpdür. Mysal üçin, gerapatit kristallary (kükürturşy ýod-hinin). Gerapatit kristallaryň ölçegleri kiçi bolup, *0,3mm* galyňlykdaky gatlagy tebigy ýagtylygy doly polýarlap bilýär. Üstüniň meýdany uly bolan polýarlaýjylar birmeňzeş ugra ugrukdyrylan gerapatit kristaljagazlary bilen örtülen selluloid ýorkalar görnüşinde bolýar. Beýle ýorkalar polýaroid diýilip atlandyrylýarlar. Polýaroid taýýarlamak ýeňil, arzan we ulanmak üçin amatlydyr.

6.3 Ýagtylygyň dielektrik üstde serpikmesinde polýarlanmasy

Ýagtylygyň polýarlanmasy ýagtylygyň kristallardan geçen ýagdaýynda ýüze çykmasy ýeke-täk ýol däldir. Tebigy ýagtylyk, dielektrikleriň (aýna, suw we ş.m.) üstünden serpigende-de polýarlanýar.

Goý, S_1S_1 aýna üste tebigy ýagtylyk düşüp, serpikýän bolsun (6.19-njy çyzgy).



6.11-nji çyzgy

Serpigen ýagtylygyň polýarlanmasy *(T)* turmalin kristaly arkaly seljerilýär. S_1S_1 aýna ýagtylyk nähili burç bilen düşse-de *(C)* sapyň kömeginde S_1S_1 aýnany aýlap serpigen şöhläni *(T)* turmalin kristalyna gönükdirmek mümkin. Eger kristal şöhläniň daşynda aýlandyrylsa kristaldan geçen ýagtylygyň depgininiň periodiki üýtgemesi ýüze çykýar. Bu ýagdaý *T* kristal dynçlykda bolup, S_1S_1 aýna *C* sapyň kömeginde aýlandyrylanda hem ýüze çykýar. Beýle hadysa S_1S_1 aýnadan (dielektrikden) serpigen ýagtylyk belli bir derejede polýarlanan ýagdaýynda bolup bilýär. Bu tejribede S_1S_1 aýna polýarlaýjy, *T* turmalin kristaly seljeriji bolup hyzmat edýär. Eger *T* turmalin kristalynyň ornuna S_2S_2 aýna ýerleşdirilse hem ýokardaky tejribede ýüze çykarlan ýagdaý gaýtalanýar (6.19-njy “b”çyzgy).

Birinji tejribede *T* turmalin kristalynyň optiki oky S_1S_1 aýna ýagtylygyň düşme tekizligine parallel bolsa, ikinji tejribede S_1S_1 we S_2S_2 aýna ýagtylygyň düşme tekizlikleri özara perpendikulýar bolsa, onda gözegçiniň gözüne düşýän şöhläniň depgini iň kiçi ululygyna eýe bolýar. Bu ýagdaýda dielektrikden serpigen ýagtylyk tolkunlarynyň köpüsiniň elektrik wektorlary ýagtylygyň düşme tekizligine perpendikulýar bolýar. Tejribelerde T turmalin kristaly ýa-da S_2S_2 aýna şöhläniň daşynda $90°$ burça aýlandyrylanda gözegçiniň gözüne düşýän şöhläniň depgini iň uly ululygyna eýe bolýar. Şeýlelikde dielektrigiň üstüne islendik burç bilen düşen şöhle serpikdirilende doly polýarlanmaýar. Düşme burçunyň üýtgemesi bilen serpigen ýagtylygyň polýarlanma derejesi hem üýtgeýär. Düşme burçunyň käbir kesgitli ululygynda serpigen ýagtylyk doly polýarlanan bolýar. Bu burçuň ululygy

$$tgi_B = n \qquad (6.19)$$

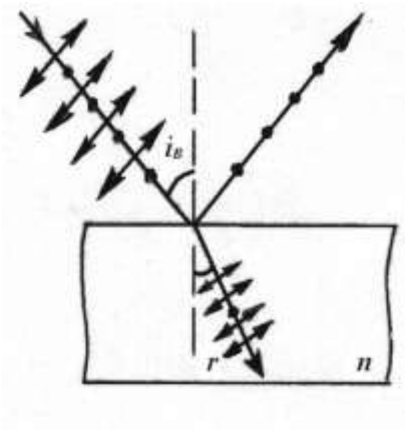
aňlatma arkaly kesgitlenilýär.

Bu aňlatma Brýusteriň kanuny diýilýär. Bu ýerde i_B – Brýusteriň burçy; n-dielektrigiň döwme görkezijisi.

Eger ýagtylyk döwme görkezijileri degişlilikde n_1 we n_2 bolan iki dielektrigiň tekiz araçäginden serpigen bolsa, onda Brýusteriň kanuny

$$tgi_B = \frac{n_2}{n_1} \qquad (6.20)$$

görnüşe eýe bolýar.



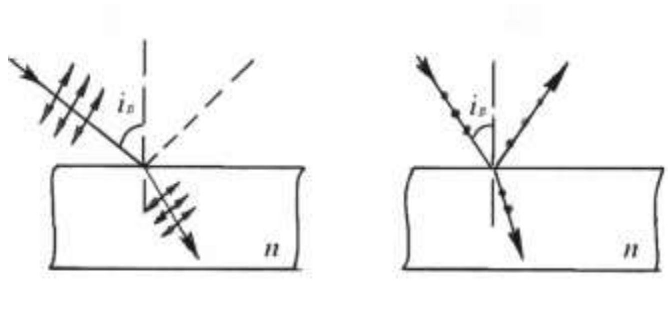
6.12-nji çyzgy

Dury dielektrigiň üstüne käbir burç bilen düşen ýagtylygyň bir bölegi döwlüp, onuň içine geçýär. Döwlen şöhle seljerijiden geçende onuň belli bir derejede polýarlanýandygy ýüze çykýar. Tebigy ýagtylyk Brýusteriň burçy bilen dielektrige düşürilende-de döwlen şöhle doly polýarlanmaýar, ýöne onuň polýarlanma derejesi iň uly baha eýe bolýar.

Ýokarda belläp geçişimiz ýaly, serpigen ýagtylygyň polýarlanma tekizligi ýagtylygyň düşme tekizligine perpendikulýardyr (6.12-nji çyzgy).

Dielektrigiň üstüne tebigy ýagtylyk Brýusteriň burçy bilen düşende, serpigen we döwlen şöhleler özara perpendikulýar bolýar. Muny subut etmek üçin ýagtylygyň döwülme kanunyndan peýdalanylýar. Ýagny,

$\frac{\sin i_B}{\sin r} = n$, $tgi_B = n$. Diýmek bu dielektrik üçin $\frac{\sin i_B}{\sin r} = tgi_B = n = \frac{\sin i_B}{\cos i_B}$ onda $\sin r = \cos i_B$; $i_B = 90° - r$ ýa-da $i_B + r = 90°$. Serpigen we döwlen şöhleleleriň özara perpendikulýar bolmagy, dielektrigiň üstüne ýagtylygyň Brýusteriň burçy bilen düşmeginiň subudydyr.

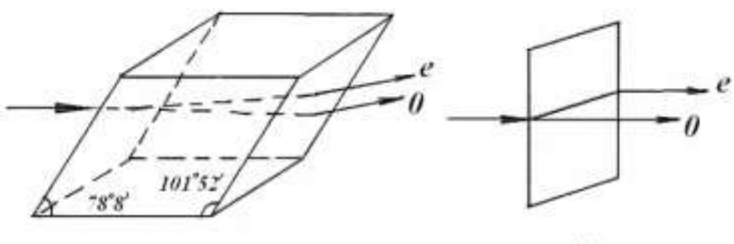


6.13-nji çyzgy

Dielektrigiň üstüne doly polýarlanan ýagtylyk düşürilse aşakdaky ýaly ýagdaýlaryň ýüze çykmagy mümkin (6.13-nji çyzgy): eger ýagtylygyň polýarlanma tekizligi düşme tekizligine parallel bolsa, onda polýarlanan ýagtylyk şöhlesi dielektrikden serpikmeýär, eger ýagtylygyň polýarlanma tekizligi düşme tekizligine perpendikulýar bolsa onda polýarlanan ýagtylyk şöhlesi dielektrikden serpikýär, ýöne az mukdary döwülip dielektrige geçýär.

6.4. Ikilenen şöhle döwülmede ýagtylygyň polýarlanmasy

Käbir kristallara düşen ýagtylygyň inçe dessesi kristalyň içinde ikä bölnüp ýäýraýar. Bu hadysa ikilenen şöhle döwülme diýilýär. Island şpatynyň kristalynda ($CaCO_3$) ýagtylyk şöhlesi ikä bölnüp ýaýraýar. Island şpatynyň kristal gözenegi romboedr geometrik görnüşe eýe bolup, granynyň ýiti burçy $78°8'$ we kütek burçy $101°52'$-a deňdir. (6.14-njy “*a*”çyzgy).

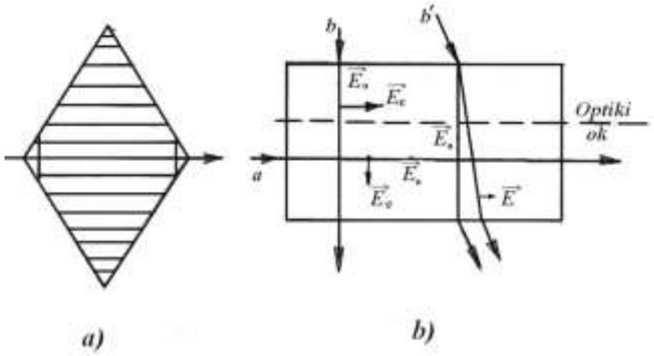


a) b)

6.14-nji çyzgy

Eger ýagtylyk şöhlesi bu kristalyň bir granyna perpendikulýar düşse, onda ikä bölnen şöhleleriň biri şöhläniň düşýän ugry boýunça ýaýraýar, beýlekisi gyşarýar. Düşýän şöhläniň ugry boýunça ýaýraýan şöhlä adaty, gyşaran şöhlä adaty däl ýagtylyk diýilýär. Munuň sebäbi ýagtylygyň döwülme kanuny bilen baglanyşykly. Ýagtylygyň döwülme kanunyna boýun egýän (*i=0, r=0*) şöhlä adaty ýagtylyk diýilýär. Ýagtylygyň döwülme kanunyna boýun egmeýän şöhlä adaty däl ýagtylyk diýilýär.

Kristallarda ýagtylyk şöhlesini ikä bölýän bir ýa-da iki ugur bolýar. Bu ugra kristalyň optiki oky diýilýär. Diýmek, bir optiki okly we iki optiki okly kristallar bolup bilýärler. Island şpatynyň kristaly bir okly kristallara degişlidir. Bu kristalyň optiki oky onuň romboedro görnüşli öýjügiň kütek burçlaryny birleşdirýän ugur bilen gabat gelýär. (5.15-njy "*a*"çyzgy). Şu ugra parallel bolan ähli çyzyklar kristalyň optiki oklarydyr.



6.15-nji çyzgy

Şoňa görä, kristala şöhläniň düşme nokadynyň üstünden hemişe optiki ok geçirmek mümkin. Bu okuň we düşýän şöhläniň üstünden geçýän tekizlige şu şöhle üçin baş tekizlik ýa-da baş kesik diýilýär. Adaty we adaty däl

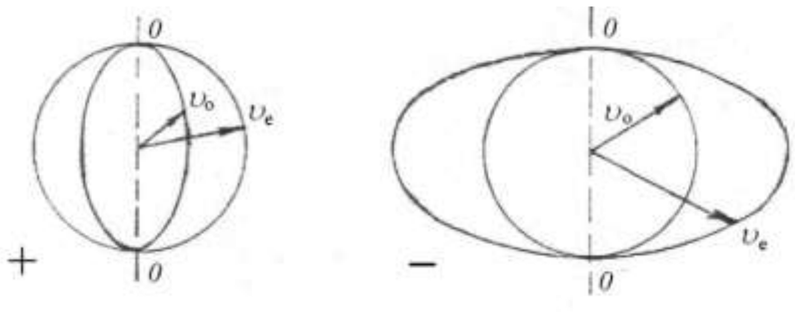
ýagtylyklar özara perpendikulýar tekizliklerde doly polýarlanan bolýarlar. Şeýlelikde, adaty ýagtylyk baş tekizlige perpendikulýar tekizlikde, adaty däl ýagtylyk bolsa baş tekizlikde polýarlanan bolýar. (6.15-nji "*b*"çyzgy). "*a*" şöhle optiki okuň ugry bilen ýaýraýar, şonuň üçin ol ikä bölünmeýär; "b" şöhle optiki oka perpendikulýar ugur boýunça ýaýraýar, ol hem ikä bölünmeýär; b'-şöhle kristala erkin ugrukdyrylan ýagdaýynda ol ika bölünýär. Munuň sebäbi Freneliň nazaryýetine görä kristalyň içinde ýagtylygyň ýaýrama tizligi iki düzgünden ybarat bolýar ýagny, adaty we adaty däl ýagtylyklaryň ýaýrama tizlikleri bir-birinden tapawutlanýarlar. Şonuň üçin hem kristala erkin ($0° < i < 90°$) ugrukdyrylanda ýagtylyk şöhlesi kristalyň içinde dürli tizlik bilen ýaýraýan iki dessä bölünýär.

Eger ýagtylyk şöhlesi kristalyň granyna perpendikulýar düşürilip, kristal şöhläniň daşynda aýlandyrylanda adaty ýagtylyk şöhlesi ugruny üýtgetmeýär.

Adaty däl ýagtylyk şöhlesi kristal bilen bilelikde adaty ýagtylyk şöhlesiniň daşyndan aýlanýar.

Adaty ýa-da adaty däl ýagtylyk kristala gönükdirilse ýene-de adaty we adaty däl ýagtylyklara bölünýär.

Käbir kristallar (mysal üçin turmalin) adaty we adaty däl ýagtylyklary deň derejede geçirmeýär (birini güýçli siňdirýär). Bu ýagdaýa optikada *dihroizm* diýilýär.



6.16-njy çyzgy

Adaty ýagtylygyň ähli ugurlar boýunça ýaýrama tizligi deňdir. Şoňa görä onuň tolkun fronty sfera görnüşli üsti emele getirýär. Adaty däl ýagtylygyň ýaýrama tizligi dürli ugurlar boýunça deň ululyga eýe bolmaýar. Şoňa görä onuň tolkun fronty aýlanma ellipsoidi emele getirýär (6.16-nji çyzgy).

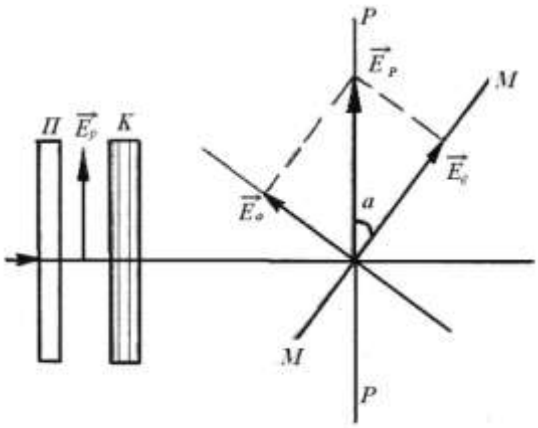
Optiki okuň ugry boýunça adaty we adaty däl ýagtylyklaryň ýaýrama tizlikleri özara deňdir (6.16-nji çyzgyda *OO* optiki ok) $\vartheta_o = \vartheta_e$. Eger $\vartheta_e < \vartheta_o$ bolsa, onda kristal položitel hasap edilýär, eger $\vartheta_e > \vartheta_o$ bolsa, onda kristal otrisatel hasap edilýär.

6.5. $\lambda/4$ we $\lambda/2$ galyňlykly kristallar. Tekiz polýarlanan tolkunlaryň interferensiýasy

Adaty we adaty däl ýagtylyklar özara perpendikulýar tekizliklerde polýarlanan bolýarlar, ýöne olar kogerent bolmaýarlar, sebäbi adaty we adaty däl ýagtylyklar dürli suglara degişlidirler. Diňe adaty ýa-da adaty däl ýagtylygy emele getirýän suglar kogerent bolýarlar. *Sug* – bir şöhlelenme pursatynda atomyň şöhlelendirýän tolkun parçasy. Şonuň üçin kristalyň ýuka gatlagyna düşürlen polýarlanan adaty ýa-da adaty däl ýagtylyk, kristaldan geçende kogerent bolýar.

Goý, optiki okuna parallel kesilip alnan **d** galyňlykly kristala polýarlanan ýagtylyk normal boýunça düşýän bolsun (6.17-nji çyzgy).

Çyzgyda *P*-polýarlaýjy; *K* - kristal; *PP*-polýarlaýjynyň optiki oky; *MM*-kristalyň optiki oky; $\vec{E}_p$- kristala düşýän ýagtylygyň elektrik wektory; $\vec{E}_o$ we $\vec{E}_e$ - kristalyň içinde ýaýraýan adaty we adaty däl ýagtylyklaryň elektrik wektorlary; α *PP* we *MM* oklaryň arasyndaky burç. Çyzgydan görnüşi ýaly



6.17-nji çyzgy

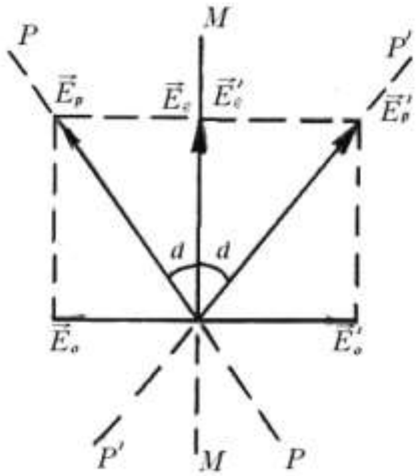
$$E_e = E_p \cos\alpha\,; \quad E_o = E_p \sin\alpha\,.$$

$\alpha = 45°$ bolan ýagdaýynda $E_o = E_e$ ýagny, adaty we adaty däl ýagtylyklaryň elektrik wektorlarynyň amplitudalary özara deň bolýar, diýmek, olaryň depginleri hem deňdir.

Kristala giren pursatynda $\vec{E}_o$ we $\vec{E}_e$ wektorlar şol bir fazada yrgyldaýarlar. Kristalyň içinde adaty we adaty däl ýagtylyklar dürli tizlik bilen ýaýraýarlar, netijede, kristaldan çykan pursatynda

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0}\Delta r = \frac{2\pi}{\lambda_0} d(n_o - n_e) \qquad (6.21)$$

ululyga deň bolan fazalar tapawudyna eýe bolýarlar. Bu ýerde $\Delta r = d(n_o - n_e)$ adaty we adaty däl ýagtylyklaryň optiki ýollarynyň tapawudy; λ_0- ýagtylygyň wakuumdaky tolkun uzynlygy. Kristaldan geçen adaty we adaty däl ýagtylyklaryň elektrik wektorlary $\vec{E}'_o$ we $\vec{E}'_e$ hem-de olaryň geometrik jemi $\vec{E}'_p = \vec{E}'_o + \vec{E}'_e$ bolsa, onda kristalyň *d* galyňlygyna baglylykda aşakdaky ýagdaýlar bolup biler:

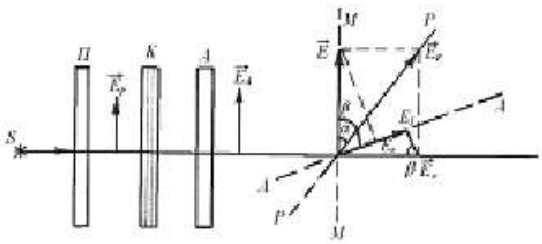


6.18-nji çyzgy

1) Eger-de kristalyň galyňlygy $d(n_o - n_e) = \pm\left(m + \frac{1}{4}\right)\lambda_0$ (m=0,1,2,3,...) şerti kanagatlandyrýan bolsa, onda $\vec{E}'_o$ we $\vec{E}'_e$ wektorlaryň yrgyldylary, fazasy boýunça $\Delta\varphi = 90°$- a tapawutlanýarlar. Bu ýagdaýda, eger $\alpha \neq 45°$ bolsa adaty we adaty däl ýagtylyklar goşulyp, elliptik polýarlanan ýagtylyk alynýar. Ýagny $\vec{E}'_p$ wektoryň ujy şöhläniň ýaýraýan ugruna perpendikulýar bolan tekizlikde ellips çyzýar. Eger $\alpha = 45°$ bolsa, onda töwerekleýin polýarlanan ýagtylyk alynýar. Beýle galyňlykdaky kristala çärýek tolkun ($\lambda/4$) galyňlykly kristal diýilýär.

2) Eger-de kristalyň galyňlygy $d(n_o - n_e) = \pm\left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda_0$ (m=0,1,2,3,...) şerti kanagatlandyrýan bolsa, onda $\vec{E}'_o$ we $\vec{E}'_e$ wektorlaryň yrgyldylary, fazasy boýunça $\Delta\varphi = 180°$ tapawutlanýarlar. Bu ýagdaýda, $\vec{E}'_p$ wektoryň ujy ellips ýa-da töwerek çyzman, belli bir ýagdaýda galýar. Beýle galyňlykdaky kristala ýarym tolkun ($\lambda/2$) galyňlykly kristal diýilýär. Kristala girýän ýagtylyk tolkunynyň $\vec{E}_p$ wektory we kristaldan geçen (çykýan) ýagtylyk tolkunynyň $\vec{E}'_p$ wektory kristalyň optiki okuna simmetrik ýerleşýär (6.18-nji çyzgy).
$\vec{E}_p$ we $\vec{E}'_p$ wektorlaryň arasyndaky burç 2α deňdir. Çyzykly polýarlanan ýagtylyk ýarym tolkun galyňlykly kristaldan geçende ýene-de çyzykly polýarlanan bolýar.

Kristaldan geçen adaty we adaty däl ýagtylyklar, kogerent bolsalarda goşulanda interferensiýany ýüze çykarmaýarlar. Sebäbi olar özara perpendikulýar tekizlikde polýarlanan bolýarlar, diýmek, interferensiýany ýüze çykarmagy üçin olaryň polýarlanma tekizlikleriniň parallel bolmagyny gazanmaly.



6.19-njy çyzgy

Onuň üçin kristaldan çykan ýagtylygy ýene-de bir polýarlaýjydan (seljerijiden) geçirmeli. (6.19-njy çyzgy).

S çeşmeden çykan tebigy ýagtylyk şöhlesi *P*-polýarlaýjydan geçende, $\vec{E}_p$ wektory çyzykly-polýarlanan ýagtylyga öwrülýär. Soňra *k*-kristaldan geçende $\vec{E}_o$ we $\vec{E}_e$ wektorly iki düzüjä (adaty we adaty däl) dargap çykýar. Bu düzüjiler seljerijiden geçende seljerijiniň optiki okuna parallel bolan ($\vec{E}_1, \vec{E}_2$) düzüjiler bolýarlar. Bu düzüjiler goşulyp interferensiýany ýüze çykarýarlar. Bu düzüjileriň goşulmagy bilen

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\Delta\varphi \qquad (6.22)$$

depgine eýe bolan ýagtylyk alynýar. Belli bolşy ýaly $E^2 \sim \mathrm{I}$, $E_1^2 \sim \mathrm{I}_1$, $E_2^2 \sim \mathrm{I}_2$ Onda

$$E^2 = \mathrm{E}_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos\Delta\varphi \qquad (6.23)$$

deňligi ýazyp bileris.

6.19-njy çyzgydan görnüşi ýaly

$$E_1 = E_o \sin\beta,\ E_2 = E_e\cos\beta, \qquad (6.24)$$

$$E_o = E_p\sin\alpha,\ E_e = E_p\cos\alpha. \quad (6.25)$$

Onda $E_1 = E_p\sin\alpha\sin\beta$; $E_2 = E_p\cos\alpha\cos\beta$ Bu ululyklary (6.23) aňlatmada ornuna goýup alarys: $E^2 = \mathrm{E}_\mathrm{p}^2\left(\sin^2\alpha\cdot\sin^2\beta + \cos^2\alpha\cdot\cos^2\beta + 2\sin\alpha\cos\alpha\sin\beta\cos\beta\cos\Delta\varphi\right)$.

Bu ýede $\cos\Delta\varphi$ kristalyň galyňlygyna bagly bolup, (6.21) aňlatmadan kesgitlenilýär. Soňky aňlatmadan görnüşi ýaly goşulýan adaty we adaty däl ýagtylyklaryň jemleýji tolkunynyň elektrik wektorynyň amplitudasynyň kwadraty (E^2) α we β burçlara hem-de kristalyň galyňlygyna baglydyr.

Eger kristalyň galyňlygy $d(n_o - n_e) = \frac{\lambda_0}{2}$ şerti kanagatlandyrýan bolsa (ýarym tolkun galyňlykly kristal), onda $\Delta\varphi = 180°$; $\cos\Delta\varphi = -1$. Eger $\alpha = 45°$ bolsa, onda $E^2 = 0$ bolýar. Diýmek $I = 0$ (interferensiýa zerarly jemleýji ýagtylygyň depgini iň kiçi gowşama eýe bolýar). Eger $\beta = 135°$ bolsa, onda $PP \perp DD$, $\cos 135° = -\cos 45°$, $\sin 135° = \sin 45°$, $\mathrm{E}_\mathrm{o}^2 = E_p^2$. Diýmek $I = I_p$ (jemleýji depginiň iň uly güýçlenmesi). Şeýlelikde α-nyň we β-nyň we *d*-niň ululyklaryny üýtgedip, interferensiýanyň hasabyna ýagtylygyň depgininiň iň uly güýçlenmesini we iň kiçi gowşamasyny almak mümkin.

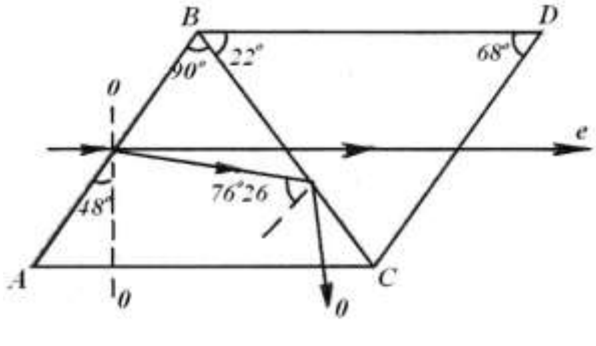
Eger kristala çyzykly polýarlanan ak ýagtylyk düşürilip, seljeriji arkaly syn edilende kristal reňkli bolup görünýär. Şöhläniň daşynda aýlandyrylanda kristalyň reňki üýtgeýär. Eger kristalyň galyňlygy ähli ýerinde deň bolmasa, onda onuň dürli ýerleriniň reňki hem dürli bolýar. Eger kristalyň galyňlygy hemişelik bolup, dürli ýerlerinde n_o we n_e üýtgeýän bolsa onda ýene-de kristal dürli reňkli bolup görünýär.

6.6. Polýarlaýjy abzallar

Tebigy ýagtylygy çyzykly polýarlanan ýagtylyga öwürmek üçin polýarlaýjy abzallardan peýdalanylýar. Ýagtylygy polýarlamagyň käbir usullary bilen ýokarda tanyşdyk: ýagtylygy turmalin kristalyndan, polýaroidden geçirmek, dielektrikden ýagtylygy Brýusteriň burçy boýunça serpikdirmek we ş.m.

Käbir kristallar adaty we adaty däl ýagtylyklary deň mukdarda geçirmeýärler. Şeýle kristallaryň käbiriniň n_o we n_e döwme görkezijileri güýçli tapawutlanýanlaryny polýarlaýjy hökmünde ulanmak mümkin. Şeýle kristallaryň biri island şpatynyň kristalydyr. $\lambda = 5893\overset{0}{A}$ tolkun uzynlyk üçin island şpatynyň kristalynyň döwme görkezijileri $n_o = 1{,}658$, $n_e = 1{,}486$. Muňa garamazdan bu kristal hem iki şöhläniň arasyny kän uzaklaşdyryp bilmeýär. Şoňa görä kristallardan taýýarlanan prizmalary utgaşdyryp polýarlaýjy abzallar ýasalýar. Şeýle abzallaryň iki görnüşi bar:

a) diňe bir sany çyzykly polýarlanan şöhläni almak üçin niýetlenen abzallar.
b) özara perpendikulýar tekizliklerde polýarlanan iki sany şöhläni almak üçin niýetlenen abzallar.



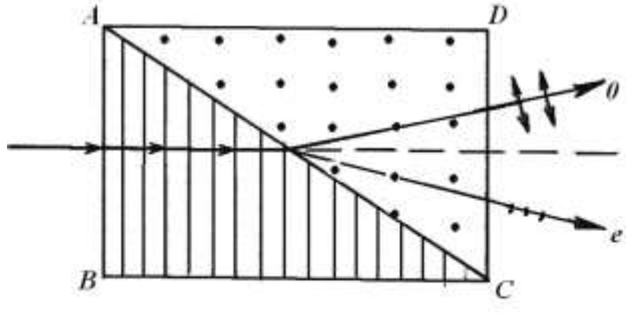
6.20-nji çyzgy

1. ***Nikolyň prizmasy***. Bu abzala ýöne nikol hem diýilýär. Ol island şpatyndan iki sany gönüburçly prizma görnüşinde kesilip alnyp, kanada balzamy bilen bir-birine ýelmenip ýasalýar, (6.20-nji çyzgy)

Prizmalaryň ýiti burçlary $22°$ we $68°$, ýagtylygyň düşýän *AB* grany kristalyň optiki oky (*OO*) bilen $48°$ burç emele getirýär. Kanada balzamynyň döwme görkezijisi $n_b = 1,55$, ýagny n_o-dan kiçidir ($n_b < n_o$).

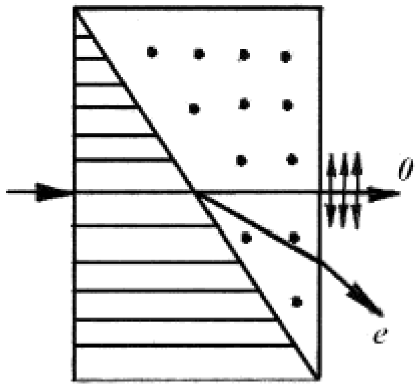
Adaty ýagtylyk iki prizmany sepleýän kanada balzamyna $76°26'$ burç bilen düşýär. Bu burç çäk burçdan uludyr, şonuň üçin doly içki serpikmä sezewar bolup prizmadan çykýar. Adaty däl ýagtylyk bolsa nikoldan çyzykly polýarlanan görnüşde geçýär. Nikolyň prizmasy ultramelewşe şöhlelere ulanarlykly däldir, sebäbi kanada balzamy bu şöhleleri siňdirýär.

2. ***Wollastonyň prizmasy.*** Bu abzal hem island şpatynyň kristalyndan ýasalyp, optiki oklary özara perpendikulýar bolan iki sany prizmadan ybaratdyr (6.21-njy çyzgy).



6.21-nji çyzgy

ABC prizmada optiki ok *AB* grana parallel, *ACD* prizmada optiki ok, çyzygyň tekizligine perpendikulýar. Tebigy ýagtylyk *AB* grana perpendikulýar düşýär *ABC* prizmada emele gelýän adaty we adaty däl ýagtylyklar prizmanyň optiki okuna perpendikulýar ugur boýunça dürli tizlikler bilen ýaýraýarlar. *ADC* prizmada-da adaty we adaty däl ýagtylyklar optiki oka perpendikulýar ýaýraýar. Prizmalaryň optiki oklary özara perpendikulýardyklaryna görä birinji (*ABC*) prizmadaky adaty ýagtylyk ikinji (*ADC*) prizmada adaty ýagtylyga we tersine öwrülýär. Şeýlelikde, birinji (*ABC*) prizmada adaty bolan ýagtylyk şöhleleri prizmalaryň araçäginde n_e / n_o göräli döwülme görkezijisi boýunça döwülýär, birinji (*ABC*) prizmada adaty däl bolan ýagtylyk şöhlesi prizmalaryň araçäginde n_o / n_e göräli döwülme görkezijisi boýunça

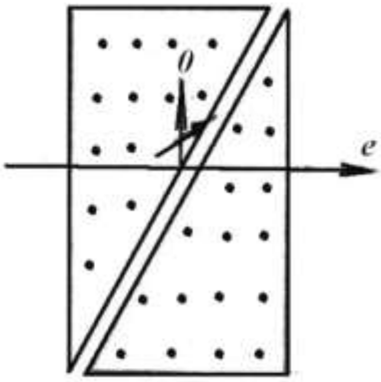


6.22-nji çyzgy

döwülýär. Island şpaty üçin $n_o > n_e$ onda $n_e / n_o < 1$ we $n_o / n_e > 1$ bolýandygyna görä Wollastonyň abzalyndan çykan çyzykly polýarlanan şöhleler ilki düşen ugruna simmetrik dürli tarapa ýaýraýarlar. Şeýlelikde adaty we adaty däl ýagtylyk şöhleleriniň arasy kanagatlanarly derejede uzaklaşýar.

3. ***Roşonyň prizmasy.*** Bu abzal Wollastonyň prizmasyna meňzeş bolýar. Bu abzalda birinji prizmada şöhle optiki oka parallel ýaýraýar (6.22-nji çyzgy).

Roşonyň prizmasynda adaty ýagtylyk şöhlesi tebigy ýagtylygyň düşýän ugry boýunça ýaýraýar, adaty däl şöhle döwlüp gyşarýar.



6.23-nji çyzgy

4. ***Glanyň-Fukonyň prizmasy.*** Bu abzalda prizmalaryň optiki oklary çyzgynyň tekizligine perpendikulýar görnüşde bolar ýaly ýerleşdirilýär (6.23-nji çyzgy).

Prizmalaryň arasynda howa gatlagy galar ýaly ýerleşdirilýär. Adaty ýagtylyk çäk burçdan uly ýagdaýda howa gatlagyna düşende doly serpikýär. Netijede, çyzykly polýarlanan adaty däl ýagtylyk şöhlesi abzaldan geçýär.

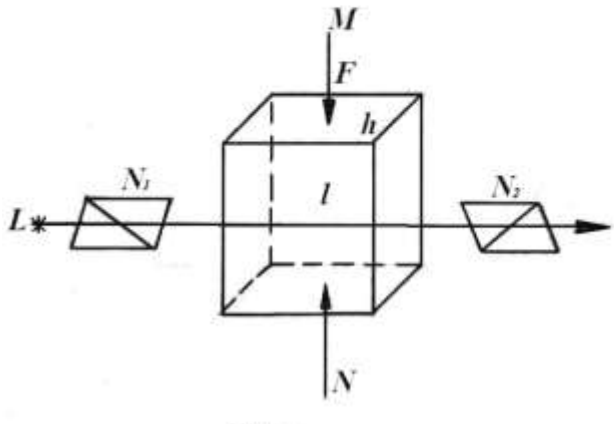
6.7. Emeli anizotroplyk

Adaty izotrop maddalar käbir daşky täsire sezewar edilende anizotrop häsiýetli madda öwrülýärler, ýagny içinden geçýän ýagtylygy ikä bölmek ukybyna eýe bolýarlar. Daşky täsir diýlende mehaniki (deformasiýany ýüze çykarýan) täsiri, elektrik meýdanynyň täsiri, magnit meýdanynyň täsiri göz öňünde tutulýar. Bularyň her birine aýratynlykda seredip geçmek maksadalaýykdyr.

1. Deformasiýanyň täsirinde döreýän anizotroplyk

Mehaniki deformasiýa sezewar edilen optiki izotrop maddalaryň käbiri optiki anizotrop madda öwrülýär. Mysal üçin, bir ugur bilen gysylanda (süýndürilende) käbir galyňlykly adaty aýna bir okly kristalyň häsiýetine eýe bolýar. Onuň optiki oky gysylýan (süýndürilýän) ugur bilen gabat gelýär. Mehaniki deformasiýanyň täsirindäki anizotroplyga 6.19-njy çyzgyda şekillendirilen gurnama arkaly syn etmek mümkin.

Baş tekizlikleri özara perpendikulýar bolan N_1 we N_2 nikollaryň arasynda käbir l galyňlykly aýna ýerleşdirilýär (6.24-nji çyzgy). Eger aýna deformasiýa sezewar edilmese, bu ulgamdan ýagtylyk geçmeýär, ýagny N_1 nikoldan



6.24-nji çyzgy

çyzykly polýarlanyp çykan ýagtylyk N_2 nikoldan geçmeýär. Aýna deformirleýji güýç goýlanda oňa giren ýagtylyk şöhlesi adaty we adaty däl ýagtylyklara dargaýar. Netijede, N_2 nikoldan ýagtylyk geçýär. N_1 we N_2 polýarlaýjylaryň baş tekizliklerini deformasiýa sebäpli aýnada ýüze çykan "optiki ok" bilen $45°$ burç emele geler ýaly ýerleşdirilende has gowy netije alynýar. Anizotroplygy häsiýetlendirýän ululyk, adaty we adaty däl ýagtylyklaryň döwme görkezijileriniň tapawudydyr ($n_o - n_e$). Bu ululyk aýna goýulýan naprýeženiýe (üst birligine düşýän güýjüň) göni baglydyr. Belli bolşy ýaly naprýeženiýe: $P_z = \frac{F}{S} = \frac{F}{lh}$ görnüşde aňladylýar. Onda $n_o - \mathrm{n_e} = kP_z$.

Bu ýerde k maddanyň tebigatyna bagly bolan hemişelik. Galyňlygy l-e deň bolan aýnadan geçen adaty we adaty däl ýagtylyklaryň optiki ýollarynyň tapawudy

$$\delta = l(n_o - \mathrm{n_e}) = kP_z l \quad (6.26)$$

aňlatma arkaly kesgitlenilýär. Optiki ýollaryň tapawudyny ýagtylygyň tolkun uzynlygyna bölüp alarys:

$$\delta_1 = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{k}{\lambda} P_z l = cP_z l. \qquad (6.27)$$

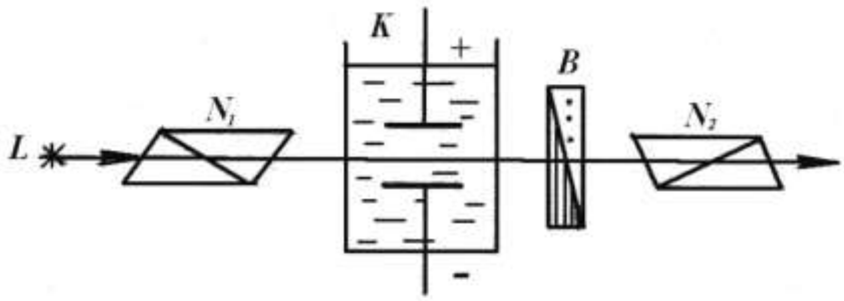
Bu ýerde $c = \frac{k}{\lambda}$-maddany häsiýetlendirýän ululyk. $(n_o - \mathrm{n_e})$-ululyk položitel-de, otrisatel-de bolup bilýär.

Emeli anizotroplyga monohromatik ýagtylykda N_2 polýarlaýjy arkaly syn edilende aýnanyň kä ýeri garaňky, kä ýeri ýagty bolup görünýär we aýnada naprýeženiýe (P_z) paýlanşy barada maglumat almaga mümkinçilik berýär. Eger ak ýagtylykda syn edilse onda aýnanyň dürli ýerleriniň reňki dürli bolup görünýär.

Emeli anizotroplyk, dury maddalarda naprýeženiýäniň (P_z) paýlanmasyny derňemekde örän duýgur usuldyr. Tehnikada we gurluşykda naprýeženiýäniň paýlanmasyny bilmekligiň ähmiýeti uludyr. Şonuň üçin dury maddalardan taýýarlanan mysaly şekillerde naprýeženiýäniň paýlanmasy öwrenilip soňra alynan netijäni durydäl maddalara ulanmakda peýdalanýarlar.

2. Elektrik meýdanynyň täsirindäki anizotroplyk. Kerriň effekti

1875-nji ýylda Kerr, köp suwuklyklaryň, elektrik meýdanynyň täsirinde anizotrop häsiýete eýe bolýandygyny, tejribeler arkaly ýüze çykardy. Elektrik meýdanynyň täsirinde izotrop maddalar (suwuklyklar, gazlar, gaty jisimler) bir okly kristala meňzeş häsiýete eýe bolýar. Bu maddalaryň "optiki oky" elektrik meýdanynyň güýjenme wektorynyň ugry boýunça ugrukdyrylýar. Kerriň effektini ýüze çykarýan gurnama 6.25-nji çyzgyda şekillendirilen.



6.25-nji çyzgy

Baş tekizlikleri özara perpendikulýar bolar ýaly ýerleşdirilen N_1 we N_2 nikollaryň arasynda iki elektrodly dury gaba (*K*) suwuklyk guýlup ýerleşdirilýär. Eger elektrodlar elektrik çeşmesine birikdirilip zarýadlandyrylmasa ulgamdan ýagtylyk geçmeýär. Eger elektrodlar zarýadlandyrylyp olaryň arasynda elektrik meýdany ýüze çykanda N_2 nikoldan ýagtylyk geçýär. Hadysanyň anyk görünmegi üçin polýarlaýjylaryň (N_1we N_2) baş tekizlikleri meýdanyň güýjenme wektory ("optiki ok") bilen $45°$ burç emele getirer ýaly ýerleşdirilýär. 6.20-nji çyzgydaky *K* gaba Kerriň öýjügi (ýaçeýkasy) diýilýär. Kerriň öýjüginden geçen ýagtylyk elliptik polýarlanan bolýar, ol *B* öwezini dolduryjy (kompensator) arkaly derňelýär.

Elektrik meýdanynyň täsirinde ýüze çykýan anizotroplygyň hasabyna $(n_o - \mathrm{n_e})$ tapawut döreýär. Bu tapawut kesgitli tolkun uzynlykly ýagtylyk üçin elektrik meýdanynyň güýjenme wektorynyň ($\vec{E}$) ululygynyň kwadratyna proporsional bolýar $(n_o - \mathrm{n_e}) = kE^2$.

Ýagtylyk *l* galyňlykly maddadan geçende, adaty we adaty däl ýagtylyklaryň optiki ýollarynyň tapawudy:

$$\delta = l(n_o - \mathrm{n_e}) = klE^2. \qquad (6.28)$$

Olaryň fazalarynyň tapawudyny optiki ýollarynyň tapawudy arkaly aňladyp alarys:

$$\Delta\varphi = 2\pi\frac{\delta}{\lambda} = 2\pi BlE^2. \qquad (6.29)$$

Bu ýerde $B = \frac{k}{\lambda}$ Kerriň hemişeligi. Köp suwuklyklar üçin $n_e > n_o$, ýagny *B>0*. Emma *B<0* bolan suwuklyklar hem bolýar.

Kerriň effektiniň dowamlylygy örän gysga $\tau \sim 10^{-12}s$. Şoňa görä Kerriň effekti örän gysga wagt dowamynda açylyp-ýapylýan gurluş (fotozatwor) hökmünde, ýagtylygyň depginini modulirleýji hökmünde we ş.m. maksatlar üçin ylymda we tehnikada giňden peýdalanylýar.

3. Magnit meýdanynyň täsirindäki anizotroplyk. Kottonyň – Mutonyň effekti

Käbir izotrop maddalar magnit meýdanynyň täsirinde anizotrop häsiýete eýe bolýarlar. Bu hadysa 1907-nji ýylda E.Kotton we H.Muton tarapyndan ýüze çykaryldy. Şoňa görä oňa Kottonyň-Mutonyň effekti hem diýilýär. Bu hadysa gözegçilik edilýän gurnama Kerriň effektini ýüze çykarýan gurnama meňzeşdir. Magnit meýdanynyň güýjenme wektory ýagtylygyň ýaýraýan ugruna perpendikulýar ugrukdyrylýar. Anizotroplyk sebäpli döreýän $(n_o - \mathrm{n_e})$ tapawut magnit güýjenme wektorynyň ($\vec{H}$) ululygynyň kwadratyna göni baglydyr: $n_o - \mathrm{n_e} = DH^2$. Onda optiki ýollaryň tapawudy

$\delta = l(n_o - \mathrm{n_e}) = DlH^2$,

fazalar tapawudy arkaly aňlatsak

$$\Delta\varphi = 2\pi\frac{\delta}{\lambda} = 2\pi\frac{D}{\lambda}lH^2 \qquad (6.30)$$

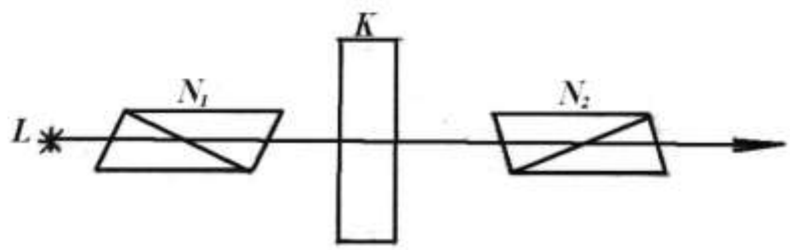
ýa-da $\Delta\varphi = 2\pi clH^2$.

Bu ýerde $c = \dfrac{D}{\lambda}$ - maddanyň tebigy häsiýetine bagly bolan hemişelik.

Kottonyň-Mutonyň effekti suwuklyklarda, dury gaty jisimlerde, kolloidlerde ýüze çykýar, emma gazlarda anyk ýüze çykmaýar.

6.8. Ýagtylygyň polýarlanma tekizliginiň aýlanmasy

Çyzykly polýarlanan ýagtylyk kwars kristalyndan onuň optiki okunyň ugry boýunça geçirilende, ýagtylygyň polýarlanma tekizligi şöhläniň daşynda aýlanýar. Bu hadysa 1816-njy ýylda fransuz fizikleri Arago we Frenel tarapyndan ýüze çykarlan. Hadysa syn etmek üçin niýetlenilen gurnama 6.26-nji çyzgyda şekillendirilen. Baş tekizlikleri özara perpendikulýar bolan N_1 we N_2 polýarlaýjylar (nikollar) ulgamynda ýagtylyk geçmeýär. Eger olaryň arasynda, optiki okuna perpendikulýar edip kwars kristaly ýerleşdirilse, N_2 polýarlaýjydan ýagtylyk geçýär.



6.26-njy çyzgy

Ulgamdan ýagtylygyň geçmezligini gazanmak üçin N_2 polýarlaýjyny şöhläniň daşynda käbir φ burça aýlamaly. Bu burç k kwars kristalynyň içinden geçýän ýagtylygyň polýarlanma tekizliginiň aýlanma burçudyr. Ýagtylygy polýarlanma tekizligini aýlamaga ukyply maddalara ***optiki işjeň*** maddalar diýilýär. Optiki işjeň maddalara ikilenen şöhledöwüji häsiýeti bolan kristallardan (island şpaty, kinowar we ş.m.) başgada käbir optiki izotrop kristallar, dury suwuklyklar (skipidar, nikotin we ş.m.) we erginler (benzolda komforyň ergini, gandyň suwdaky ergini we ş.m.) degişlidir.

Köp optiki işjeň maddalar, ýagtylygyň polýarlanma tekizligini çepe ýa-da saga aýlaýar. (ýagtylygyň polýarlanma tekizliginiň aýlanma ugry ýagtylyk şöhlesiniň ýaýraýan ugrunyň garşysyna seredilende sagat peýkamjygynyň aýlanýan ugruna aýlanýan bolsa, onda beýle işjeň maddalara saga aýlaýan ýa-da položitel işjeň maddalar diýilýär we tersine).

Optiki işjeň maddalarda ýagtylygyň polýarlanma tekizliginiň aýlanma burçy maddanyň ýagtylyk geçýän galyňlygyna baglydyr:

$$\varphi = \alpha l . \qquad (6.31)$$

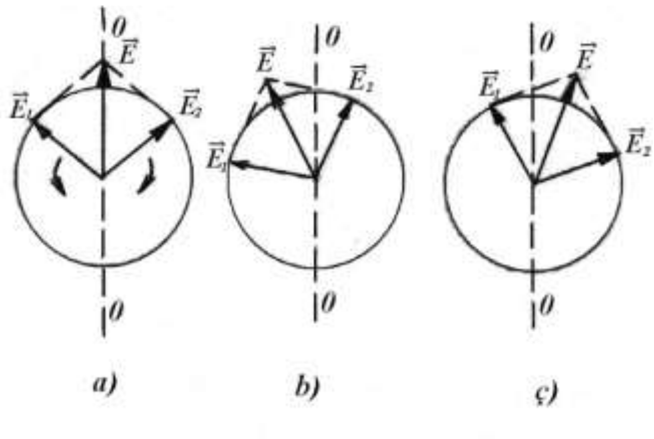
Bu ýerde α udel aýlanma burçy bolup optiki işjeň maddanyň bir birligine deň bolan galyňlygyň aýlama burçyny aňladýar. Erginler üçin:

$$\varphi = [\alpha]\, cl , \qquad (6.32)$$

c-optiki işjeň maddanyň göwrüm birligindäki mukdary $\frac{kg}{m^3}$; $[\alpha]$ erginiň udel aýlama burçy $\left(\frac{gradus}{m\frac{kg}{m^3}}\right)$. (6.32) aňlatma Bionyň kanuny hem diýilýär. Bu aňlatmanyň kömeginde ergindäki işjeň maddanyň göwrüm birligindäki mukdaryny kesgitlemek mümkin (mysal üçin, ergindäki gandyň mukdaryny). Ergindäki gandyň mukdaryny kesgitlemek üçin niýetlenen abzala polýarimetr ýa-da saharimetr diýilýär.

Tekiz polýarlanan ýagtylygyň polýarlanma tekizliginiň aýlanmasynyň sebäbini 1823-nji ýylda farnsuz fizigi Frenel düşündirýär.

Freneliň pikirine görä optiki işjeň madda tekiz polýarlanan monahromatik ýagtylyk giren desine, garşylykly ugra aýlanýan, töwerekleýän polýarlanan iki tolkuna dargaýar. Bu tolkunlaryň ýygylyklary düşýän tolkunyň ýygylygyna deň bolup, elektrik wektorlary



6.27-nji çyzgy

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 .$$

Gatnaşyk bilen baglanyşýar. Bu wektoryň diagrammasy 6.27-nji çyzgyda şekillendirilen. $\vec{E}_1$ we $\vec{E}_2$ wektorlaryň amplitudalary $\vec{E}$ wektoryň amplitudasynyň ýarsyna sanma-san deňdir. Eger $\vec{E}_1$ we $\vec{E}_2$ wektorlar şol bir burç tizlikde aýlanýan bolsalar, onda $\vec{E}$ wektar mydama OO okuň ugry boýunça ýerleşýär. (6.27-nji **a** çyzgy). $\vec{E}_1$ we $\vec{E}_2$ wektorlar optiki işjeň madda-da dürli burç tizlikler bilen aýlanýarlar. Şeýlelikde, ereg $\vartheta_1 > \vartheta_2$ bolsa $\vec{E}$ wektor çepe aýlanýar (6.27-nji **b** çyzgy), eger $\vartheta_2 > \vartheta_1$ bolsa $\vec{E}$ wektor saga aýlanýar (6.27-nji **ç** çyzgy). Optiki işjeň däl maddalarda $\vartheta_1 = \vartheta_2$.

Magnit meýdanynyň täsirinde optiki işjeň däl maddalaryň magnit meýdanynyň ugruna ýaýraýan ýagtylygyň polýarlanma tekizligini aýlanmaga ukyply bolýandygyny 1846-njy ýylda Faradeý ýüze çykardy. Bu hadysa Faradeýiň hadysasy (effekti) ýa-da polýarlanma tekizliginiň magnit aýlanmasy diýilýär. Polýarlanma tekizliginiň aýlanma burçy

$$\varphi = VlB \qquad (6.33)$$

aňlatma arkaly kesgitlenilýär. Bu ýerde l - ýagtylygyň magnit meýdanynda geçýän ýoly; B- daşky birhilli magnit meýdanynyň induksiýasy; V - Werdäniň hemişeligi. Ol maddanyň tebigatyna we ýagtylygyň tolukun uzynlygyna bagly bolup, berlen madda üçin hemişelik ululykdyr.

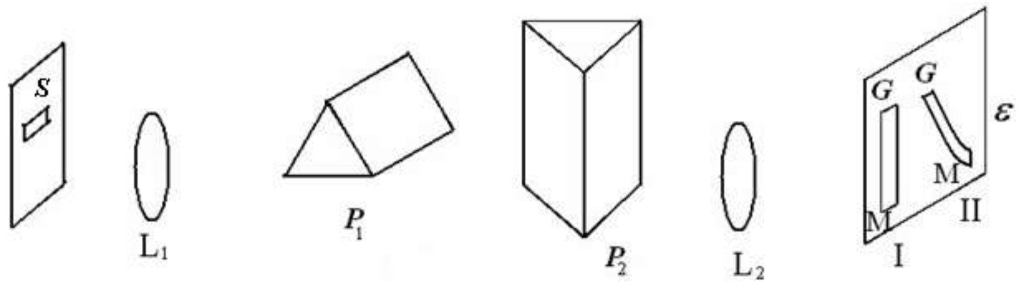
Ýedinji bap.

Ýagtylygyń dispersiýasy, siňdirilmesi we pytramasy

7.1. Kadaly (normal) dispersiýa. Kadaly däl (anomal) dispersiýa

Birhilli we izotop maddalaryń tekiz araçäginde ýagtylygyń döwülme kanuny

$$n = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} \qquad (7.1)$$



7.1-njy çyzgy

görnüşde ańladylýar.

Bu ańlatma dińe monohromatik ýagtylyk üçin dogrudyr. Dürli ýygylykly ýagtylyk üçin döwme görkeziji dürli ululyklara eýe bolýar. Başgaça aýdanymyzda maddalaryń ýagtylygy döwme görkezijisi ýygylygyń (tolkun uzynlygyń) funksiýasydyr:

$$n = f(\lambda_0)\,. \qquad (7.2)$$

Bu baglanyşyk ilkinji gezek 1672-nji ýylda Nýuton tarapyndan ýüze çykarylýar. Nýutonyń tejribesiniń gurnamasy 7.1.-nji çyzgyda şekillendirilen.

Çyzyk görnüşli yşdan *(s)* ak ýagtylyk şöhlesi ekrana *(* ε *)* gönükdirilýär. Eger şöhläniń ýolunda dińe bir sany prizma *(*P_1*)* ýerleşdirilse, onda ekranda *(* ε *)*dik dürli reńkli zolak *(I)* emele gelýär, onuń bir ujy gyzyl *(G)*, beýleki ujy melewşe *(M)* bolup ol ikisiniń arasynda ak ýagtylygyń düzümindäki reńkli ýagtylyklar ýerleşýär. Bu zolaga prizma arkaly (prizmatik) alynýan spektr diýilýär.

Ak ýagtylyk difraksiýa gözeneginden geçende-de spektre dargaýar. Emma spektriń reńkleriniń ýerleşiş tertibine ters bolýar. Difraksiýa gözenekden geçýän ýagtylykda

$$d\sin\varphi = \pm 2m\frac{\lambda}{2} \quad (m = 1,2,3,...) \qquad (7.3)$$

ańlatmadan görnüşi ýaly $\sin\varphi$ ýagtylygyń tolkun uzynlygyna göni proporsional. Şol sebäpli tolkun uzynlygy uly bolan (gyzyl reńklä) ýagtylyk tolkunlary tolkun uzynlygy kiçi bolan (melewşe reńkli) ýagtylyk tolkunyndan uly burça gyşarýar.

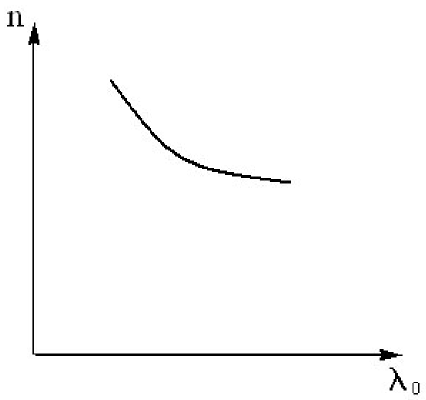
Ak ýagtylyk prizmadan geçende döwme görkezijä baglylykda spektre dargaýar. Şol sebäpli (kadaly dispersiýada) tolkun uzynlygy uly bolan (gyzyl reńkli) ýagtylyk tolkunlary tolkun uzynlygy kiçi bolan (melewşe reńkli) ýagtylyk tolkunlaryndan kiçi burça gyşarýar. Tolkun uzynlygynyń kiçelmegi bilen döwme görkeziji birsydyrgyn (monoton) artýar. Absolýut döwme görkezijiden tolkun uzynlyk boýunça alnan önüme $D = \frac{dn}{d\lambda}$ maddanyń dispersiýasy diýilýär. Bu ululyk tolkun uzynlygyna baglylykda döwme görkezijiniń üýtgeýşiniń çaltlygyny görkezýär.

Nýutonyń gurnamasynda ýagtylyk şöhlesiniń ýolunda birinji prizma *(P_1)* golaý aralykda, ońa atanak ýagdaýda ikinji prizma *(P_2)* ýerleşdirilse, onda ekranda *(ε)* dik zolagyń ýerine gyşyk zolak *(II)* alynýar. Gyşarma spektriń gysga tolkunlaryna süýşdügiçe güýçlenýär.

Dürli maddalarda ýagtylygyń ýaýraýşyny düşündirmek boýunça Treneliń garaýşyny ösdürip, Koşi döwme görkezijiniń tolkun uzynlygyna bagly funskiýasynyń (7.2) analitik ańlatmasyny

$$n = A + \frac{B}{\lambda_0^2} + \frac{C}{\lambda_0^4} \qquad (7.4)$$

görnüşini teklip etdi.



7.2-nji çyzgy

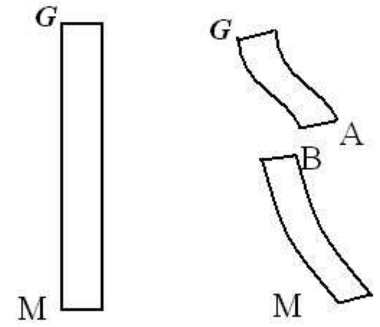
Bu ýerde **A,B,C** - hemişelik ululyklar, olar her bir madda üçin tejribe arkaly kesgitlenilýär. Köp halatlarda (7.4) ańlatmanyń birinji iki agzasy bilen kanagatlanarly netije gazanmak mümkin:

$$n = A + \frac{B}{\lambda_0^2}. \qquad (7.5)$$

Şu ýerden görnüşi ýaly tolkun uzynlygynyń (λ_0) kiçelmegi bilen döwme görkeziji *(n)* ulalýar.

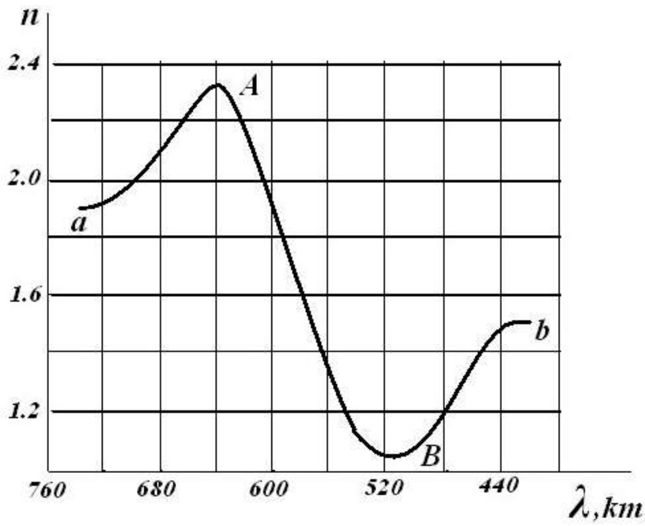
Ýagtylygyń maddanyň döwme görkezijisiniń tolkun uzynlygyna (λ_0) (ýygylygyna, faza tizligine) baglylykda üýtgemesine **dispersiýa** diýilýär.

Amalyýetde gińden ulanylýan köp maddalarda (aýna, kwars, suw we ş.m.) ýagtylygyń görüş duýgusyny döredýän tolkun uzynlyklarynyń çäginde, α_0-tolkun uzynlygynyń kiçelmegi bilen döwme görkeziji ulalýar. Muńa kadaly (normal) dispersiýa diýilýär (7.2-nji çyzgy).



7.3-nji çyzgy

Ýoduń bugy bilen doldurylan prizmadan ak ýagtylyk şöhlesi geçende gök şöhlelere görä gyzyl şöhleleriń güýçli gyşarýandygy 1862 ý.da fransuz fizigi Leru tarapyndan ýüze çykarylýar. Leru bu hadysa kadaly däl (anomal) dispersiýa diýip at berýär.



7.4-nji çyzgy

Nemes fizigi A.Kundt atanak ýerleşdirlen prizmalar usulyndan peýdalanyp, dürli maddalarda ýagtylygyń dispersiýasyny derňemek arkaly kadaly däl (anomal) dispersiýanyń ýagtylygyń madda tarapyndan sińdirilmesi bilen baglanyşygynyń kanunyny açdy. Spektriń käbir çäginde kadaly däl dispersiýany ýüze çykarýan her bir madda spektriń şol bölegini güýçli sińdirýär. Spektriń A-nokatdan B-nokada çenli aralygy üzük (7.3-nji çyzgy), bu aralyga degişli spektrler madda tarapyndan sińdirilen. Sianiniń ergininde görüş duýgusyny döredýän spektrde dispersiýa derńelende 7.4-nji çyzgydaky ýaly egri alynýar. Ergniniń *aA* we *Bb* böleginde λ tolkun uzynlygyń kiçelmegi bilen ***n*** döwme görkeziji ulalýar, diýmek, kadaly (normal) dispersiýa ýüze çykýar. Egriniń *AB* böleginde λ tolkun uzynlygyń kiçelmegi bilen ***n*** döwme görkeziji hem kiçelýär, diýmek kadaly däl (anomal) dispersiýa ýüze çykýar. Spektriń λ=600 **nm** tolkun uzynlygy sianiniń ergininde doly sińdirilýär şońa görä-de dispersiýanyń kadaly däldigi (anomallygy) ýüze çykýar.

Aýnanyń, kwarsyń we ş.m. käbir dury maddalarda görüş duýgysyny döredýän tolkunlaryň çäginde kadaly däl (anomal) dispersiýa ýüze çykmaýar. Sebäbi şeýle maddalar üçin kadaly däl dispersiýa ultramelewşe tolkunlaryň çägindedir. Şeýlelik bilen ähli maddalar hem spektriń ol ýa-da beýleki çägindäki tolkunlary sińdirýärler we netijede olaryń hem dispersiýa egrisi görnüşi boýunça 7.4-nji çyzgydaky ýaly bolýar. Diýmek, kadaly we kadaly däl dispersiýa düşünjeleri gapma-garşylykly däl-de özara baglanyşykly we şol bir kanuna boýun egýärler.

7.2. Dispersiýanyň nusgawy elektron nazarýeti

Ýagtylygyń dispersiýasy elektromagnit tolkunlarynyń maddanyń düzümindäki zarýadly bölejikler bilen özara täsiriniń netijesidir. Şol sebäpden D.K.Makswelliň makroskopik elektromagnit nazarýeti dispersiýa hadysasyny kanagatlanarly derejede düşündirmegi başarmady. Dispersiýanyń nusgawy nazaryýeti G.Lorens tarapyndan maddanyń gurluşynyń elektron nazaryýeti döredilenden soń
işlenilip düzüldi.

Makswelliń elektromagnit nazaryýetine görä maddanyń ýagtylygy absolýut döwme görkezijisiniň onuń göräli dielektrik syzyjylygy bilen baglanyşygy

$$n = \sqrt{\varepsilon} \qquad (7.6)$$

ańlatma görnüşindedir.

Göräýmäge bu ańlatma tejribede alnan netijä ters gelýän ýaly. Mysal üçin elektrostatistikadan belli bolşy ýaly suw üçin $\varepsilon = 81$. Şol bir wagtda göze täsir edýän elektromagnit tolkunlary üçin suwuń absolýut döwme görkezijisi 9 däl-de 1,33-e deńdir. Emma bu gapma-garşylyk Makswelliń nazaryýetiniń düýpli kemçilikleri bilen baglanyşykly bolman, eýsem dispersiýanyń hasaba alynmazlygy, ýagny (7.6) ańlatmanyň nädogry ulanylmasynyń netijesidir.

Göräli dielektrik syzyjylyk ε hem edil döwme görkeziji n ýaly üýtgeýän elektromagnt meýdanynyň ν ýygylygyna baglydyr: $\varepsilon = \varepsilon(\nu)$. Hakykatdan hem suwuň göräli dielektrik syzyjylygy durnukly elektrostatik meýdanda $\varepsilon(0)=81$ bolmagy, suwuň uly dipol momente eýe bolan molekulalaryň polýarlanmagy bilen şertlendirilýär. Üýtgeýän elektrik meýdanynda, suw molekulalarynyň noldan tapawutly inersiýa momentleri bardygy üçin, birbada kesgitli ugra ugrukdyrylmasy kyn bolýar. Üýtgeýän elektrik meýdanynyň ýygylygy kän bir uly bolmadyk, ýagny molekulalar kesgitli ugra doly ugrugyp bilmek mümkinçiligi bolýan ýygylyklarynda ε, $\varepsilon(0)=81$ -e ýakyn bahalara eýe bolup bilýär. Ýeterlik ýokary ýygylykly üýtgeýän elektrik meýdanda polýar molekulaly dielektriklerde molekulalaryň kesgitli ugurda polýarlanmasy amala aşyp bilmeýär. Şoňa görä, görünýän ýagtylyk *(ν~10^{15}Gs)* üçin maddanyň göräli dielektrik syzyjylygy diňe onuň elektronlarynyň polýarlanmasy bilen şertlendirilýär. Başgaça aýdanymyzda maddanyň düzümindäki atomlaryň, molekulalaryň, elektronlaryň ýa-da ionlaryň ýagtylyk tolkunlarynyň üýtgeýän elektromagnit meýdanynyň täsirindäki mejbury yrgyldysy bilen polýarlanmasy arkaly şertlendirilýär. Şoňa görä-de, suw üçin

$$\varepsilon(\nu)<\varepsilon(0) \text{ we } n<9$$

ýagdaý ýüze çykýar.

Dispersiýanyń elektron nazaryýetinde, birjynsly dielektrik, ýagtylyk şöhlesiniń (üýtgeýän elektromagnit meýdanynyň) täsirinde mejbury yrgyldaýan ossillýatotlaryń toplumy hökmünde seredilýär. Ýönekeý ýagdaýda atom hususy ýygylygy bolan garmoniki ossillýator diýlip kabul edilýär. (7.6) Ańlatmadan görnüşi ýaly ýönekeý ýagdaýda dispersiýa dielektrik syzyjylygyń ýygylyga baglylygynyń netijesi hökmünde seretmek mümkin.

Elektrik hadysalary dersinden bilşimiz ýaly dielektrik syzyjylyk

$$\varepsilon=1+\chi_e=1+\frac{P_e}{\varepsilon_o E}$$ (7.7) göşrnüşinde ańladýar.

Bu ýerde χ_e maddanyń dielektrik kabul edijiligi, E_0 elektrik hemişelik, P_e elektrik meýdanynyń $\overline{E}$ güýjenme wektorynyň ugruna polýarlanma wektorynyň proýeksiýasy.

Onda döwme görkeziji $n^2=1+\dfrac{P_e}{\varepsilon_0 E}$. (7.8)

Ýokarda belleýşimiz ýaly ýagtylyk tolkunlarynyń uly ýygylyga eýe bolmagyna görä, maddanyń polýarlanmasy dińe elektronlaryń süýşmesi bilen (elektron polýarlanma) şertlendirilýär. Onda birjynsly gurşaw üçin

$$P_e = N_o p_e. \qquad (7.9)$$

Bu ýerde N_o - göwrüm birligindäki atomlaryń sany, P_e-bir atomyń dipol momenti. Yönekeý ýagdaýda P_e-iń ululygy atomyń daşky elektron gatlagyndaky ýadro bilen gowşak baglanyşykdaky elektronyń süýşmesi arkaly kesgitlenilýär. Bu elektronlara **optiki elektronlar** diýilýär.

Onda bir sany optiki elektronly atomlar üçin

$$p_e = -ez_o \quad \text{we} \quad P_e = -N_o e z_o \qquad (7.10)$$

ańlatmany alarys.

Bu ýerde *e*-elektronyń elektrik zarýadynyń absolýut ululygy, z_o-ýagtylyk tolkunlarynyń elektrik meýdanynyń täsirinde elektronyń süýşmesi (deńagramly ýagdaýyndan gyşarmasy), minus alamaty p_e we P_e wektorlaryń otrisatel zarýadly elektronyń z_o süýşmesine garşylykly ugrukdyrylandygyny ańladýar.

Şeýlelik bilen (7.7) we (7.8) ańlatmalarda

$$n^2 = 1 - \frac{N_o e}{\varepsilon_o} \frac{z_o}{E} \qquad (7.7')$$ netije alynýar.

Görnüşi ýaly absolýut döwme görkezijiniń ýygylyga baglylygy elektronyń z süýşmesiniń E baglylygyny kesgitlemäge syrykdyrylýar.

Dury maddalar üçin ýönekeýleşdirilen ýagdaýda optiki elektrona üç sany güýç täsir edýär diýip kabul etmek mümkin.

a) Tolgundyryjy (mejbur ediji) güýç:

$$F=-eE=-eE_o \cdot exp(i\omega t). \qquad (7.11)$$

Bu ýerde E_o - elektrik meýdanynyń güýjenmesiniń amplitudasy, $\omega = 2\pi\nu$ -ýagtylyk tolkunynyń aýlaw ýygylygy.

b) optiki elektronyń atomyń beýleki bölegi bilen özara täsirinde döreýän yzyna gaýtaryjy kwazimaýyşgak güýç

$$F_{y.g} = -kz.$$

Bu ýerde $k = m\omega_o^{\ 2}$ - kwazimaýyşgak güýjüň koeffisiýenti, ω_0 - elektronyń hususy yrgyldysynyń aýlaw ýygylygy. Onda

$$F_{y.g} = m\omega_0^2 z\,. \quad (7.12)$$

ç) Ýagtylygyń täsirinde maddanyń atomlarynyń ikilenji elektromagnit tolkunlarynyń şöhlelendirmesi, atomlaryń çaknyşmasy arkaly şöhlelenmeleri we beýleki sebäplere görä energiýanyń ýitgilerini hasaba alyp, umumylaşdyryp, elektronyń tizligine proporsional garşylyk güýji täsir edýär diýip kabul etmek mümkin. Onda:

$$F_{g.g} = -r\frac{dz}{dt}\,. \qquad (7.13)$$

Şeýlelikde maddanyń optiki elektronlarynyń mejbury yrgyldyly hereketiniń differensial deńlemesi

$$m\frac{d^2z}{dt^2} = -r\frac{dz}{dt} - m\omega_0^2 zeE_0\exp(i\omega t)\,. \qquad (7.14)$$

Ýa-da

$$\frac{d^2z}{dt^2} + 2\beta\frac{dz}{dt} + \omega^2 z = -\frac{e}{m}E_0\exp(i\omega t) \qquad (7.15)$$

görnüşde ýazylyp biliner.

Bu ýerde $\beta = \frac{r}{2m}$.

(7.15) differensial deńlemäniń çözülişini

$$z = z_0E_0\exp(i\omega t) \qquad (7.16)$$

görnüşde almak mümkin.

(7.16) ańlatmany (7.15) ańlatmada ulanyp:

$$z_0 = \frac{\frac{e}{m}E}{\omega_0^2 - \omega^2 + j2\beta\omega} \qquad (7.17)$$

ańlatma alarys.

Bu alnan netijäni dielektrik syzyjylyk we maddanyń absolýut döwme görkezijisi üçin ańlatmalarda goýup

$$\varepsilon = 1 + \frac{N_0e^2}{m\varepsilon_0(\omega_0^2 - \omega^2) - i2\beta\omega}, \qquad (7.18)$$

$$n^2 = 1 + \frac{N_0 e^2}{m\varepsilon_0(\omega_0^2 - \omega^2) - i2\beta\omega} \qquad (7.19)$$

ańlatmalary alarys. Ańlatmalardan görnüşi ýaly maddanyń elektrik syzyjylygy we döwme görkezijisi ýagtylygyń ýygylygyna (ω) baglydyr.

Maddanyń polýarlanmasyny

$$P = NP = N\alpha E_0 \qquad (7.20)$$

görnüşde hem ýazmak mümkin, bu ýerde α -atomyń polýarlanmasyny ańladýar.

Onda $\alpha E_0 = ez_0$ bolýanlygy üçin

$$\alpha = \frac{ez_0}{E_0} = \frac{e^2}{m}\frac{1}{\omega_0^2 - \omega^2 + i2\beta\omega}. \qquad (7.21)$$

(7.18) we (7.21) ańlatmalardan görnüşi ýaly, maddanyń polýarlanmasy hem-de döwme görkezijisi kompleks ululykdyr.

Bu bolsa berlen maddada ýaýraýan tekiz tolkunyń, onuń fazasynyń şeýle-de amplitudasynyň üýtgeýändigini ańladýar. Tekiz tolkun maddada ýaýranda fazasynyń üýtgemesi onuń faza tizliginiń üýtgemesine getirýär. Bu bolsa öz gezeginde döwme görkezijini üýtgedýär, amplitudanyň üýtgemesi bolsa ýagtylygyń depginini üýtgedýär, ýagny ýagtylygyń maddada siňdirilmesini ýüze çykarýar.

Kompleks we hakyky döwme görkezijiler aşakdaky aňlatmanyň üsti bilen baglanyşandyrlar:

$$\tilde{n} = n - i\chi. \qquad (7.22)$$

Bu ýerde n we χ -hakyky ululykdyr. Şuńa meńzeşlikde kompleks tolkun sany:

$$\tilde{k} = \frac{\omega}{c}\tilde{n}$$

girizip, maddada käbir y ugur boýunça ýaýraýan tolkuny aşakdaky görnüşde ýazyp bileris:

$$E = E_0 \exp[i(\omega t - \tilde{k}y)] = E_0 \exp[i\omega(t - \frac{\tilde{n}}{c}y] = E_0 \exp(-\frac{\omega\chi}{c}y)\cdot \exp[i\omega(t - \frac{n}{c}y)]$$

ýa-da $$E = A(z)\exp[i\omega(t - \frac{n}{c}y)]. \qquad (7.23)$$

Bu alnan netije sönýän tekiz tolkunyń deńlemesidir.

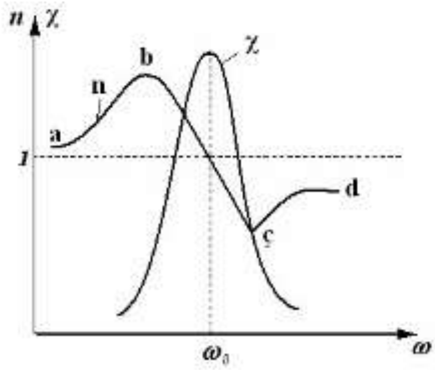
Bu ýerde

$$A(x) = E_0 \exp(-\frac{\omega\chi}{c} \cdot y). \quad (7.24)$$

Sönýän tekiz tolkunyń amplitudasydyr. Amplitudadan depgine geçsek, onda deňleme

$$I = I_0 \exp(-2\frac{\omega\chi}{c} y) \quad (7.25)$$

görnüşe eýe bolar. Bu yerde χ -ýagtylygyń sińdirilmesi bolup, oňa **ekstinksiýa** koeffisiýeti diýilýär.



7.5-nji çyzgy

$\omega = 2\pi\nu = 2\pi\frac{c}{\lambda}$ bahany (7.25) aňlatmada ýerine goýup, $I = I_0 \exp(-4\pi\frac{\chi}{\lambda} y)$ aňlatmany alarys.

Eger $k = 4\pi\frac{\chi}{\lambda}$ diýip bellesek, onda sönýän tolkunyń depgini aşakdaky görnüşe eýe bolar:

$$I = I_0 \exp(-ky). \quad (7.24)$$

Bu ýerde k - maddanyń ýagtylygy sińdirme koeffisiýenti. (7.26) ańlatma **Bugeriń - Lambertiń kanuny** diýilýär.

Gazlar üçin ($n \approx 1$). (7.15) differensial deńlemäniń çözülişinden gazlaryń döwme görkezijisi we ekstinksiýa koeffisiýenti üçin

$$n = 1 + \frac{N_0 e^2}{2m\varepsilon_0} \cdot \frac{\omega_0^2 - \omega^2}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta\omega^2} \quad (7.27)$$

we

$$\chi = \frac{N_0 e^2}{m} \frac{2\beta\omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2\omega^2} \quad (7.28)$$

ańlatmalaryń alynýandygyny görkezmek bolar.

Döwme görkezijiniń *(n)* we ekstinksiýa koeffisiýentiniń *(χ)*, ýagtylygyń ýygylygy bilen baglanyşygynyń egrisi 7.5-nji çyzgyda şekillendirilen görnüşde bolýar.

Grafikden görnüşi ýaly *“ab”* we *“çe”* çäklerde ω-nyń artmagy bilen *n* artýar (kadaly dispersiýa), *bç* çäkde ω-nyń artmagy bilen *n* örän çalt kemelýär (kadaly däl dispersiýa). Kadaly däl dispersiýanyń çägi *(bç)* sińdirme zolagy bilen gabat gelýär. Sińdirme zolagyń örküji maddanyń optiki elektronlarynyń hususy yrgyldy ýygylygyna (ω_0) gabat gelýär. $\omega_0 >> \omega$ we $\omega_0 << \omega$ şertlerde yrgyldynyń sönmesini häsiyetlendirýän $\beta \to 0$ $(4\beta^2\omega^2 << (\omega_0^2 - \omega^2)^2)$ netijede $n \to 0, \chi \to 0$ ýagdaý ýüze çykýar. Diýmek, maddada ýaýraýan ýagtylygyń ýygylygy (ω) maddanyń optiki elektronlarynyń hususy yrgyldysynyń ýygylygyndan (ω_0) has köp tapawutlanýan bolsa, onda ýagtylyk madda tarapyndan sińdirilmeýär. Hakykatdan hem aýna, kwars, suw, gazlar ýaly maddalaryń dury bolmagynyń sebäbi bu maddalaryń optiki elektronlarynyń hususy yrgyldy ýygylyklarynyń, göze täsir edýän elektromagnit tolkunlarynyń ýygylyklarynyń çäginden daşda (ultramelewşe çäkde) ýerleşýänligi üçindir. Metallarda walent elektronlaryń köp bolýandygy sebäpli, islendik ýygylykly ýagtylyk bu elektronlaryń hususy yrgyldysyny oýandyryp bilýär. Şońa görä-de, metallarda ähli ýygylyklara degişli ýagtylyklar hem sińdirilmeýärler.

Biz ýokarda atomlaryń (molekulalaryń) bir sany optiki elektrony bar ýagdaýyna seretdik. Hakykatda beýle ýagdaý örän seýrekdir. Atomlar we molekulalar dürli hususy ýygylyklarda yrgyldamaklyga ukyply birnäçe elektrony özünde saklaýarlar. Onda döwme görkezijiniń ańlatmasynda bu ýagdaý hasaba alynmalydyr.

Eger göwrüm birliginde N_0 sany atomy (molekulasy) bolan maddanyń her bir atomyndaky optiki elektronlarynyń emele getirýän ossillýatorlarynyń sany deń diýsek, onda maddanyń göwrüm birliginde ω_{oj} rezonans ýygylykly we β_j sönme koeffisiýentli ossilýatorlaryń sany $N_{oj} = N_0 f_j$ bolar.

Ähli ossillýatorlaryń täsirini hasaba almak üçin (7.19), (7.27), (7.28) ańlatmalarda $N_{0,}\omega_0$ we β_j ululyklaryň ornuna $N_{0j,}\omega_{0j}$ we β_j ululyklary goýup, *j*-niń hemme bahalary boýunça-ähli ossillýatorlar boýunça jemleme geçirilmeli.

Onda

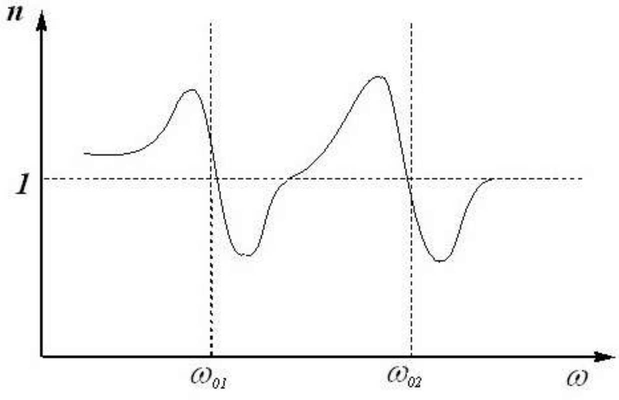
$$n^2 = 1 + \frac{N_0 e^2}{m\varepsilon_0} \sum_j \frac{f_j}{\omega_{oj}^2 - \omega^2 + 4\beta j\omega}, \qquad (7.29)$$

$$n = 1 + \frac{N_0 e^2}{2m\varepsilon_0} \sum_j \frac{f_i(\omega_0^2 - \omega^2)}{(\omega_{0\,j}^2 - \omega^2)^2 - 4\beta_j^2 \cdot \omega^2}, \qquad (7.30)$$

$$x = \frac{N_0 e^2}{m} \sum_j \frac{f_i 2\beta_j \omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}. \qquad (7.31)$$

ańlatmalary alarys.

Bu ýerde f_j - „ossillýatoryń güýji“ diýlip atlandyrylýar. Bu ululyk elektronyń berlen yrgyldyly herekete gatnaşyk derejesini häsiýetlendirýär. Birnäçe hususy ýygylykly elektronlary bolan maddalar üçin dispersiýanyń egrisi 7.6-njy çyzgyda şekillendirilen.



7.6-njy çyzgy

Ossillýatoryń güýji diýilýän düşünjäniń fiziki manysyny dispersiýanyń nusgawy nazaryýeti düşündirip bilmeýär. Ony dispersiýanyń kwant nazaryýeti düşündirýär. Kwant nazaryýetinde hususy yrgyldy ýygylyklara eýe bolan atom ossillýatorlaryna, energiýanyń kesgitli ülüşlerine (diskret) eýe bolup bilýän ulgamlar görnüşinde seredilýär. Hususy ýygylyklaryń (ω_{oj}) ornuna, atomyń E_j energetik haldan E_i energetik hala geçiş ýygylygy ulanylýar, ýagny

$$\omega_{ji} = 2\pi \frac{E_j - E_i}{n}.$$

f_j-ossillýatoryń güýjüniń ýerine j-energetik haldan i-energetik hala geciş ähtimallygyna proporsional bolan f_{ji} täzeçe ossillýatoryń güýji düşünjesi girizilýär. Adatça ossillýatoryń güýji tejribe usulynda kesgitlenilýär.

1909-njy ýylda rus fizigi D.S.Roźdestwenskiý ýagtylygyń dispersiýasyny mukdar taýdan öwrenmegiń täze usulyny işläp düzdi. Bu usulda derńemeler interferometr we spektrograf bilen birbada geçirilip, döwme görkezijiniń ýagtylygyń tolkun uzynlygyna baglylykda üýtgeýşi dińe sińdirme zolagynyń golaýynda däl-de, eýsem ol zolagyń içindäki ýagdaýy öwrenmäge mümkinçilik berýär. Bu usula “**gańyrçak usuly”** diýilýär.

7.3. Ýagtylyk tolkunlarynyń faza we topar tizlikleri

Faza we topar tizlik düşünjesini girizmezden ýagtylygyń ýaýrama tizligi barada anyk zat aýtmak kyn.

$$n_{2.1.} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2}$$

kanun boýunça kesgitlenýän döwme görkeziji iki gurşawda ýagtylygyń faza tizlikleriniń gatnaşygyna deńdir. Faza tizlik düşünjesi takyk monohromatiklige eýe bolan tolkunlar üçin ulanarlyklydyr. Adaty ýagtylyk çeşmeleri takyk monohramatiklige eýe bolan tolkunlary şöhlelendirmeýärler.

Goý, hyýaly ýagdaýda takyk monohromatiklige eýe bolan tolkun bar bolsun we onuń deńlemesi

$$y = A\sin\omega(t - \frac{x}{\vartheta}) \quad (7.33)$$

görnüşde ańladylýan bolsun. Bu deńleme x-okunyń ugry boýunça ϑ tizlik bilen ýaýraýan tekiz tolkunyń deńlemesidir. $\omega(t - \frac{x}{\vartheta})$ ululyga tolkunyń fazasy diýilýär. Goý, tolkunyń fazasy hemişelik bolsun:

$$\omega(t - \frac{x}{\vartheta}) = \text{hemişelik} . \quad (7.34)$$

Bu deńligi differensirläp, alarys:

$$dt - \frac{1}{\vartheta}dx = 0 .$$

Bu ýerde $$\vartheta = \frac{dx}{dt} \quad (7.35)$$

tolkunyń fazasynyń wagta görä süýşmesini ańladýar, şonuń üçin ońa tolkunyń faza tizligi diýilýär.

Tekiz monohromatik tolkunyń deńlemesini

$$y = A\sin(\omega t - kx) \quad (7.36)$$

görnüşde hem ańlatmak mümkin. Bu ýerde $k=\frac{2\pi}{\lambda}$ bolup, oňa tolkun sany diýilýär. Onda fazany hemişelik hasap edip:

$$\omega t - kx = \text{hemişelik}$$

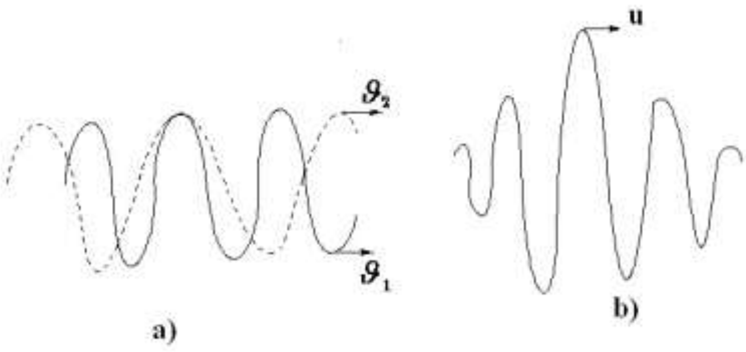
we ony wagta görä differensirläp alarys:

$$\frac{dx}{dt}=\frac{\omega}{k}. \qquad (7.37)$$

Onda (7.35) we (7.37) deńlemelerden tolkunyń faza tizligi üçin

$$\vartheta=\frac{\omega}{k} \qquad (7.38)$$

ańlatmany alarys.



7.7-nji çyzgy

Belli bolşy yaly ýagtylyk tolkunlary üznüksiz däldir, olar kesgitli uzynlyga eýe bolan impulslar (suglar, tolkun parçasy) görnüşinde şöhlelendirilýärler. Takyk monohromatiklige eýe bolan ýagtylyk tolkunlarynyń ýok diýilmesiniń sebäbi hem şudyr. Tolkunlaryń goşulma (superpozisiýa) düzgünine we Furýeniń hataryna dargatma esaslanyp, islendik tolkuny sinusoidal tolkunlaryń ulgamy görnüşinde seretmek mümkin. Beýle tolkunlaryń ulgamyna tolkunlaryń bukjasy ýa-da tolkunlaryń topary diýilýär. Başgaça aýdanymyzda ýygylygy boýunça bir-birinden az tapawutlanýan, her bir wagt pursatynda gińişligiń çäkli bölegini eýeleýän tolkunlaryń goşulmagyna (superpozisiýasyna) tolkunlaryń topary (bukjasy) diýilýär. Şeýlelikde ýagtylyk impulsynyń tizligine Releý topar tizlik diýip at berýär. Topar tizlik hereket edýän impuls arkaly amplitudanyň süýüşme tizligi bolup, ol hem öz gezeginde energiýanyň geçiş tizligini ańladýar. Eger ýagtylygyń ýaýraýan maddasy dispersiýany ýüze çykarýan bolsa, onda toparyń düzümine girýän tolkunlaryń faza tizlikleri bir-birinden we topar tizlik hem ol tizliklerden tapawutly bolýar.

Ýagtylygyń topar tizligini kesitlemek üçin aşakdaky ýaly sadalaşdyrmadan peýdalanmak amatlydyr.

Goý, ýagtylyk impulsy (topary), ýygylyklary boýunça bir-birinden az tapawutlanýan, birden, amplitudaly iki sany tolkundan ybarat bolsun:

$$y_1 = A_1 \sin(\omega_1 t - k_1 x) \quad \text{we} \quad y_2 = A_2 \sin(\omega_2 t - k_2 x).$$

Bu ýerde $A_1 = A_2$; we $\omega_1 = \omega_0 + \Delta\omega$; $\omega_2 = \omega_0 - \Delta\omega$; $k_1 = k_0 + \Delta\omega$; $k_2 = k_0 - \Delta\omega$; $\Delta\omega$ we Δk kiçi ululyklardyr.

Onda tolkunlaryń impulsy y, y_1 we y_2 tolkunlaryń jemine deń bolar:

$$y = y_1 + y_2 = A_1 \sin(\omega_1 t - k_1 x) + A_1 \sin(\omega_2 t - k_2 x) =$$
$$= 2\cos\left[\frac{1}{2}(\omega_1 - \omega_2)t - \frac{1}{2}(k_1 - k_2)x\right] \cdot \sin\left[\frac{1}{2}(\omega_1 - \omega_2)t - \frac{1}{2}(k_1 + k_2)x\right].$$

Bu ýerde ω_1 we ω_2, k_1, k_2 ululyklaryń ýokarda girizilen gymmatlaryny ornuna goýup, alarys:

$$y = 2A_1 \cos(\Delta\omega \cdot t - \Delta k \cdot x)\sin(\omega_0 t - k_0 x).$$

Bu ýerde

$$A = 2A_1 \cos(\Delta\omega t - \Delta k x) \quad \text{diýip bellesek,}$$

onda tolkun impulsy üçin

$$y = A\sin(\omega_0 t - k_0 x) \quad \text{aňlatmany alarys.}$$

Sońky ańlatmadaky tolkunyň impulsynyń A amplitudasy wagt we gińişlik boýunça üýtgeýän ululykdyr. Şeýlelikde tolkunyň impulsyny amplitudasy haýal üýtgeýän sinusoýda diýip hasap etmek bolýar 7.7.-nji çyzgyda goşulýan tolkunlaryń *(a)* we emele gelen tolkun toparynyń *(b)* grafigi şekillendirlen.

Toparyń käbir nokadynyń, mysal üçin amplitudasynyň iň uly nokadyny saýlap alyp, onuń *(u)* süýşme tizligini kesgitlesek, onda ol topar tizligi ańladar. Şeýlelikde tolkunyń topar tizligi amplitudasynyń süýşme we hereketlenýän tolkun impulsynyń geçirýän energiýasynyń tizligidir. Toparyń amplitudasynyń iń uly ýagdaýy üýtgemeýär diýsek, ýagny

$$\Delta\omega t - \Delta k \cdot x = \text{hemişelik}$$

we ony wagta görä differensirläp

$$\Delta\omega dt - \Delta k dx = 0$$

$$\text{ýa-da } u = \frac{dx}{dt} = \frac{\Delta\omega}{\Delta k} = \frac{d\omega}{dk}.$$

(7.38) ańlatmadan peýdalanyp ýagtylygyń (ϑ) faza tizligi bilen (u) topar tizliginiń arasyndaky baglanyşygy tapmak bolar:

$$u = \frac{d\omega}{dk} = \frac{d(\vartheta k)}{dk} = \vartheta + k\frac{d\vartheta}{dk}. \qquad (7.39)$$

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ańlatmany diferensirläp: $dk = -\frac{2\pi}{\lambda^2}d\lambda$ we

$k\frac{d\vartheta}{dk} = \frac{2\pi}{\lambda}(-\frac{\lambda^2}{2\pi}\frac{d\vartheta}{d\lambda}) = -\lambda\frac{d\vartheta}{d\lambda}$ bolýandygyny hasaba alyp hem-de

bu netijäni (7.39) ańlatmada ornuna goýup alarys:

$$u = \vartheta - \lambda\frac{d\vartheta}{d\lambda}. \qquad (7.40)$$

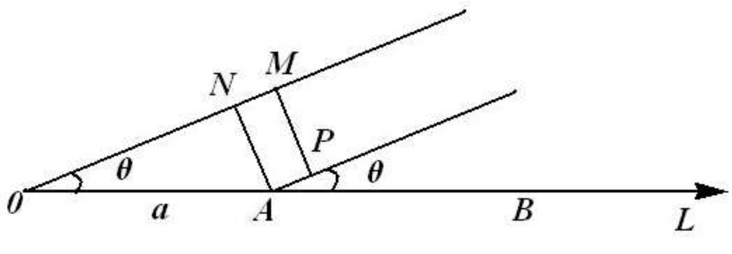
Bu alnan ańlatma Releýiń deňlemesi diýilýär. Eger $\frac{d\vartheta}{d\lambda} > 0$ (kadaly dispersiýa), onda $u < \vartheta$, eger-de $\frac{d\vartheta}{d\lambda} < 0,$ (kadaly däl dispersiýa) bolsa, onda $u > \vartheta$.

Dispersiýa ýüze çykmaýan maddada $\frac{d\vartheta}{d\lambda} = 0,$ onda $u = \vartheta$

Ýagtylygyń tizligini ölçemek boýunça geçirilýän tejribelerde topar tizlik ölçenilýär. Görälik nazaryýetinde subut edilişine görä, tolkunyń topar tizligi ýagtylygyń wakuumda ýaýrama tizliginden uly bolup bilmeýär ($u \le c$).

7.4. Wawilowyń-Çerenkowyń effekti

1934-nji ýylda rus fizigi A.P.Çerenkow redioaktiw şöhleleriń täsirinde erginleriń lýuminessensiýasyny derńeýän mahaly, gamma (γ) we (β) şöhleleriń dury suwuklyklarda görünýän gowşak şöhlelenme döredýändigini ýüze çykarýar. Bu şöhlelenmäni seljermek arkaly, onuń lýuminessensiýa bilen hiç hili baglanyşygynyń ýoklugy



7.8-nji çyzgy

anyklanyldy. Bu hadysa ähli arassa suwuklyklarda ýüze çykyp suwuklygyń himiki düzümine, temperaturasyna, suwuklykdaky garyndynyń mukdaryna bagly bolman onuń depgini şol bir ululygyny saklaýar. Bu bolsa onuń lýuminessensiýa bilen baglanyşykly däldigini subut edýär. Wawilow beýle ýagtylanmanyń sebäbi suwuklykdaky erkin elektronlaryń hereketi bilen baglanyşykly diýen pikiri teklip edýär. Emma bu hadysany elektronlaryń haýallanmasynyń (tormozlanmasynyń) esasynda ýüze çykýandyr diýlen çaklama nädogry bolup çykdy. Wawilowyń-Çerkenkowyń effekti diýlip atlandyrylan şöhlelenmäniń täze görnüşiniń tebigaty 1934-nji ýylda rus fizikleri I.Ýe.Tamm we I.M.Frank tarapyndan dogry düşündirildi.

Görälik nazaryýeti islendik zarýadly bölejigiň wakuumda ýagtylygyń ýaýrama tizliginden kiçi tizlik bilen hereket etjekdigini esaslandyrýar. Şońa görä wakuumda deńölçegli gönüçyzykly hereket edýän zarýadly bölejik elektromagnit tolkunlaryny şöhlelendirmeýär. Dury maddada görünýän ýagtylygyń (ϑ) faza tizligi onuń wakuumda ýaýrama tizliginden *(c)* kiçidir. Ol $\vartheta=\frac{c}{n}$ ýaly kesgitlenilýär, *n>1*, maddanyń absolýut döwme görkezijisi. Şeýlelikde maddada zarýadly bölejik ýagtylygyń ýaýrama tizliginden uly tizlik bilen hereket edip biler $(C>\vartheta_e>\frac{c}{n})$. Tamm we Frank maddada ýagtylygyń ýaýrama tizliginden uly bolan tizlik bilen hereket edýän zarýadly bölejiligiń elektromagnit tolkunlary şöhlelendirýändigini görkezip Wawilowyń-Çerenkowyń effektiniń tebigatyny doly esaslandyrdylar.

Maddanyń içinde hereketlenýän zarýad (elektron) hereketiniń ugrunda ýerleşen atomlar we molekulalar bilen täsirleşip, gysga wagtlyk olaryń polýarlanmasyny ýüze çykarýar. Netijede ol atomlar we molekulalar gysga wagt pursatynda elementar tolkunlary şöhlelendirýän kogerent çeşmelere öwrülýärler. Bu tolkunlar bir-biriniń üstüne düşende interferensiýa emele gelýär. Çerenkowyń tejribede ýüze çykaran ýagtylygy hem goşulyp bir-birini güýçlendirýän şol tolkunlardyr. Wawilowyń-Çerenkowyńl şöhlelenmesiniń dińe käbir ugur boýunça ýüze çykmagy onuń özboluşly aýratynlygydyr. Ońa düşünmek üçin aşakdaky ýagdaýa seredelíń.

Goý, elektron döwme görkezijisi n bolan dury maddada (suwuklykda) $\vartheta_e > \frac{c}{n}$ tizlik bilen OL ugur boýunça hereketlenýän bolsun (7.8-nji çyzgy). OL gönüniń üstünde bir-birinden a aralykda ýerleşen $O,A,B,...$ nokatlaryń deńinden elektron geçende, ýokarda belleýşimize görä, olar yzygider tertipde gysga wagtlyk ýagtylyk çeşmesine öwrülerler.

Şeýlelikde, A nokadyń şöhle goýbermesi O nokada görä $\tau = \frac{a}{\vartheta_e}$ wagtdan soń, B nokadyń şöhle goýbermesi hem A nokada görä edil şol wagtdan soń bolar. Ýagtylygyń şöhlelenýän ugry elektronyń hereket ugry bilen θ burç emele getirýän bolsun. Görkezilen ($O,A,B,...$) nokatlardan şöhlelenýän tolkunlaryń goşulyp, interferensiýa zerarly bir-birini güýçlendirmegi üçin A aralygyń islendik bahasynda tolkunlaryń faza tapawutlary nola deń bolmaly. 7.8-nji çyzgydaky NA çyzyk - elektron A nokadyń deńinden geçen pursatynda O nokatdan şöhlelendirilen tolkun frontudyr. Diýmek elektron $OA=a$ aralygy geçýänçä, O nokatdan şöhlelenýän tolkun $ON = a\cos\theta$ aralygy geçipdir. Onda O we A nokatdan şöhlelendirilýän tolkunlaryń faza tapawudynyń nola deń bolmagy üçin, ýokarda agzalan wagtlaryń tapawudy hem nola deń bolmaly, ýagny:

$$\frac{a\cos\theta}{\frac{c}{n}} - \frac{a}{\vartheta_e} = 0.$$

Bu ýerden:
$$\cos\theta = -\frac{c}{n \cdot \vartheta_e}. \qquad (7.41)$$

Şeýlelikde, şöhlelenmäńiń iń uly depgini θ burçuń (7.41) şerti kanagatlandyrýan bahasynda emele gelýär. Hakykatdan hem dińe $\vartheta_e > \frac{c}{n}$ bolanda (7.41) şert boýunça θ burçuń kesgitli bahasy bolup bilýär.

Eger $\vartheta_e < \frac{c}{n}$ bolsa, onda ähli ugur boýunça-da tolkunlaryń bir-birini söndürmesi bolup geçýär, ýagny Wawilowyń-Çerenkowyń effekti ýüze çykmaýar. Ońa düşünmek üçin aşakdaky ýagdaýa seredeliń. Goý, elektronyń hereket edýän

(OL) traýektoriýasyndaky O we A nokatlardan şöhlelenýän tolkunlaryń geçen ýollarynyń tapawudy $\frac{\lambda}{2}$ bolsun.

$\vartheta_e < \frac{c}{n}$ bolan ýagdaýda, A nokatdan tolkun şöhlelenen pursatynda, O nokatdan ýaýraýan tolkunlaryń fronty MP bolsun. NA bolsa şol pursatda A nokatdan ýaýran tolkunyń fronty bolar. Onda O we A nokatlardan ýaýraýan tolkunlaryń geçen ýollarynyń tapawudy (7.8-nji çyzgy)

$$\Delta = NM = AP = OM - ON = \frac{c}{n}\tau - a\cos\theta \qquad \text{ýa-da}$$

$$\Delta = \frac{c}{n} \cdot \frac{a}{\vartheta_e} - a\cos\theta = a\left(\frac{c}{n\vartheta_e} - \cos\theta\right).$$

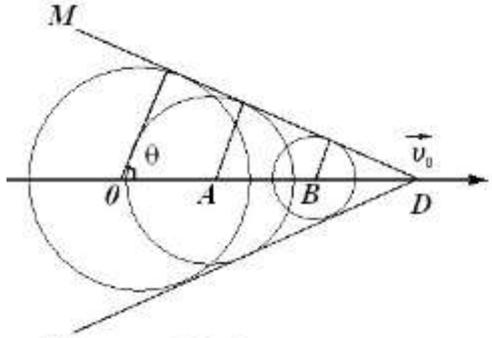
Goýan şertimize görä tolkunlaryń interferensiýa zerarly bir-birini gowşatmagy üçin

$$a\left(\frac{c}{n\vartheta_e} - \cos\theta\right) = \frac{\lambda}{2}$$

bolmaly. Bu şertiń ýerine ýetirmegi üçin

$$a = \frac{\lambda}{2\left(\frac{c}{n\vartheta_e} - \cos\theta\right)}$$

bolmaly.



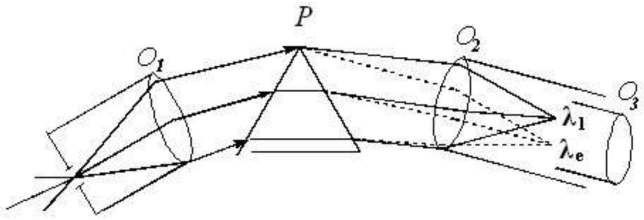
7.9-njy çyzgy

Maddada, ýagtylygyń faza tizliginde, uly tizlik bilen hereket edýän zarýadly bölejigiń D nokatda bolan pursatynda Wawilowyń-Çerenkowyń şöhlelenmesiniń tolkun üstüni tapmak üçin Gýuýgens tarapyndan teklip edilen, gurmak (7.9-njy çyzgy) usulyndan peýdalanmak amatlydyr. Bu üst MDN aýlaw konus görnüşdedir. Konusyń depesi (D) zarýadly bölejik bilen, onuń oky (DO) bolsa zarýadly bölejigiń traýektoriýasy bilen gabat gelýär. Polýarlanan ýagtylygyń elektrik wektory ($\vec{E}$) konusyń üstüne perpendikulýar, magnit wektory ($\vec{H}$)bolsa ońa galtaşma boýunça ugrukdyrylýar.

Wawilowyń-Çerenkowyń effekti ýadro fizikasynda we elementar bölejikleriń fizikasynda gińden ulanylýar. Bu effektiň esasynda zarýadly bölejikleri hasaba alýan "Çerenkowyń sanaýjysy" diýlip atlandyrylýan abzal döredilen. Bu abzalyń kömegi bilen zarýadly bölejikler hasaba alnyp, olaryň ululyklary, hereketiniň ugry, energiýasy we beýleki häsiýetnamalary kesgitlenilýär.

7.5. Şöhlelenme we siňdirme spektrleri. Spektrometrler. Spektr boýunça seljerme

Ýagtylyk çeşmeleriniň hiç biri takyk monohromatiklige eýe bolan, ýagny belli tolkun uzynlykly ýagtylygy şöhlelendirmeýärler. Onuň şeýledigini prizmanyň kömegil bilen yagtylygy spektre dargatmak, şeýle hem interferensiýa we difraksiýa hadysalary arkaly göz yetirmek mümkin. Spektrleri takyk ýüze çykarmak üçin ýagtylyk dessesini çäklenen yşdan we prizmadan geçirmek ýaly ýönekeýje enjamlar ýeterlik däldir. Aýdyň spektrleri saýhallaýan abzallar, ýagny dürli uzynlykly tolkunlary gowy bölüşdirýän we spektrleriň bir-biriniň üstüni ýapmaýan (ýa-da ýapmaýar diýen ýaly) abzallar zerurdyr. Şeýle abzallara spektral abzallar diýilýär. Köplenç spektral abzallaryň esasy bölegi bolup prizma ýa-da difraksiýa gözenegi hyzmat edýär.



7.10-njy çyzgy

Iň ýönekeý spektral abzal bolan prizmaly spektroskopyň gurluşyna seredeliň (7.10.-njy çyzgy). Ol iki sany turbadan we olaryň arasynda ýerleşdirilen üçgranly prizmadan ybaratdyr.

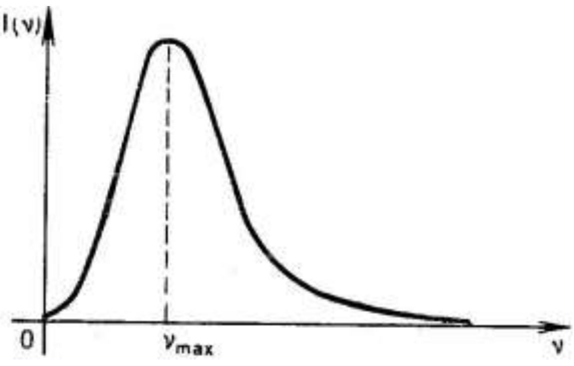
Turbalaryň biriniň bir ujuna inçe yş we beýleki ujuna linza (obýektiw) ýerleşdirilýär. Yş linzanyň fokal tekizliginde ýerleşdirilýär, şonuň üçin linzadan geçen ýagtylyk parallel şöhleler bolup prizmanyň granyna düşýär. Bu turba kollimator diýilýär. Turbalaryň beýlekisine görüş turbasy diýilýär. Prizmada ýagtylyk spektre dargap, obýektiwiň fokal tekizliginde bir-birinden käbir aralykda ýerleşen ýagty çyzyklar emele gelýär (yşyň şekili). Şeýlelikde, spektre dargan ýagtylygyň düzuminde näçe sany dürli tolkun uzynlykly ýagtylyk bar bolsa, yşyň şonça şekili emele gelýär. Yş örän insiz (millimetriň ülüşlerinde) bolmagyna görä yşyň her bir şekili inçe ýagty çyzyk görnüşinde bolýar. Bu çyzyklara spektral çyzyklar diýilýär. Spektroskopda spektral çyzyklara okulýaryń (O_3) üsti bilen gözegçilik edilýär. Şeýlelikde, spektroskop örän ýönekeý görüş spektral abzaldyr.

Spektroskopyń saýgaryjylyk (çözüjilik) ukyby uly bolmaýar, bu babatda stiloskop we stilometr diýlip atlandyrylýan abzallar bir az gowrak bolýar. Bularda birnäçe prizmalary ulanmak bilen, saýgaryjylyk ýokarlandyrylýar. Stilometrler fotometr bilen üpjün edilýär we spektral çyzyklaryń göräli depginini hem ölçemek bolýar. Bu abzallaryń kömegi bilen käbir seljermeleri çalt geçirmek mümkin.

Görüş (wizual) spektral abzallaryń mümkinçiligi uly däldir, olary ýagtylygyń görünýän çäginde ulanmak amatlydyr.

Spektrograf diýlip atlandyrylýan abzal spektrleriń şekilini fotoçyzgya ýa-da fotoplastinka geçirýär. Spektrograflaryń saýgaryjylyk (çözüjilik) ukyby, köpsanly prizmalar ýa-da ýokary saýgaryjylyk ukyby bolan difraksiýa gözenegi ulanmak bilen, ýokarlandyrylýar. Ýagtylygyń görünmeýän çägindäki spektrleri guýýan fotoplýonka, fotoplastinka geçirmekde spektrograflar giń mümkinçilige eýedir.

Maddalaryń şöhlelenmesiniń spektral düzümi dürlidir. Muńa garamazdan, tejribäniń görkezişi ýaly, spektrleri üç görnüşe bölmek mümkin.



7.11-nji çyzgy

1. Üznüksiz spektrler

Günün, duga çyralarynyň, has ýokary temperatura çenli gyzdyrylan metallaryń şöhlelendirýän spektri üznüksizdir. Bu bolsa spektrde dürli tolkun uzynlykly tolkunlaryń bardygyny ańladýar. Beýle spektriň üzük ýeri bolmaýar, spektrogarfda alnan şekil dürli reńkli tutuş zolak görnüşinde bolýar (I reńkli çyzgyda, 1)

Energiýanyń ýygylyklar (tolkun uzynlyklar) boýunça paýlanyşy, ýagny şöhlelenmäniń depgininiń spektral dykyzlygy dürli jisimler üçin dürlüdir. Meselem, absolýut gara jisim ähli ýygylykly elektromagnit tolkunlaryny şöhlelendirýär, emma şöhlelenmäniń depgininiń spektral dykyzlygynyń ýygylyga baglylyk egrisiniń kesgitli $\nu_{iň,uly}$ ýygylykda iń uly bahasy bolýar. Örän kiçi ($\nu \to 0$)

we örän uly ($\nu \to \infty$) ýygylyklara düşýän şöhlelenme energiýasy ujypsyzdyr. Tejribeleriń görkezişi ýaly üznüksiz (tutuş) spektrleri dykyz maddalar, ýagny gaty ýa-da suwuk haldaky jisimler hem-de juda dykyz gazlar berýärler. Üznüksiz spektri almak üçin jisimler ýeterlik ýokary temperatura çenli gyzdyrylmalydyr.

Üznüksiz (tutuş) spektriń häsiýeti diňe şöhlelenýän aýry-aýry atomlaryń häsiyetleri bilen kesgitlenmän, eýsem olaryń bir-biri bilen özara täsirleşmesine-de güýçli derejede baglydyr.

Ýokary temperaturaly plazma hem üznüksiz spektr berýär. Plazma elektromagnit tolkunlaryny esasan elektronlar bilen ionlaryń çäknyşmagynyń netijesinde şöhlelendirýärler.

2. Çyzykly spektrler. Adaty nahar duzunyń ergini sińdirilen asbest bölegi ýanýan gazyň öçügsi ýalnyna tutulyp, spektroskop arkaly seredilende ýalnyń zordan görünýän üznüksiz spektriniń fonunda açyk sary çyzyk görünýär. (I reńkli çyzgy,2). Bu sary çyzygy ýalynda nahar duzunyń molekulalary bölnende emele gelýän natriniń buglary berýär. Reńkli çyzgyda wodorodyń we geliýniń spektrleri hem görkezilendir. Olaryń her biri inli garańky zolaklar bilen bölnen dürli ýagtylykly reńkli çyzyklardyr. Şeýle spektrlere **çyzykly spektr** diýilýär. Çyzykly spektriń bolmagy her bir maddanyń diňe kesgitli tolkun uzynlykly ýagtylygy şöhelendirýändigini ańladýar.

Atomlar we gaz halkyndaky ähli maddalar çyzykly spektri berýärler. Ýalńyz (izolirlenen) atomlar belli bir uzynlykly tolkunlary şöhlelendirýärler.

Atomlar (bir atomly) gazyň dykyzlygy ulalanda aýry-aýry spektral çyzyklar giňelýarler we gazyň dykyzlygy juda ulalyp, atomlaryň özara täsiri güýçlenende bu çyzyklar bir-birine ýakynlaşyp, üznüksiz spektri döredýärler.

3. Zolakly spektrler. Zolakly spektr garaňky aralyklar bilen bölnen aýry-aýry zolaklardan ybaratdyr. Saýgaryjylyk (çözüjilik) ukyby ýokary bolan spektral abzalyň kömegi bilen her bir zolagyň örän jebis ýerleşen çyzyklaryň toplumyndan ybaratdygyny ýüze çykarmak mümkin. Çyzykly spektrden tapawutlylykda zolakly spektri bir-biri bilen gowşak baglanyşykda bolan molekulalar döredýärler. Molekulýar spektrlere gözegçilik etmek üçin hem adatça ýalynda buglaryň şöhlelenmesi ýa-da gaz zarýadsyzlanmasynyň şöhlelenmesinden peýdalanýarlar.

4. Siňdirme spektrleri. Atomlary oýandyrlan halda bolan ähli maddalar tolkun uzynlyklary boýunça belli bir tertipde paýlanan ýagtylyk tolkunlaryny şöhlelendirýarler. Maddanyň ýagtylygy siňdirmesi hem tolkun uzynlygyna bagly bolýar. Meselem, gyzyl aýna gyzyl ýagtylyga degişli ($\lambda \approx 0{,}76mkm$) tolkunlary geçirýär we galanlarynyň ählisini siňdirýär.

Eger ak ýagtylyk sowuk şöhlelenýan gazyň içinden geçirilse, onda çeşmäniň üznüksiz spektriniň fonunda gara çyzyklar ýüze çykýar (I reňkli çyzgy $5 \div 8$).

Gaz ýeterlik ýokary temperatura çenli gyzdyrylanda goýberýän ýagtylygy ýaly tolkun uzunlykly ýagtylygy güýçli siňdirýar. Üznüksiz spektriň fonundaky gara çyzyklar siňdirme çyzyklary bolup, olaryň toplumy siňdirme spektrlerini emele getirýär. Üznüksiz, çyzykly we zolakly spektrleri bolup, edil şonça-da siňdirme spektrleri bardyr.

5. Spektr boýunça seljerme. Maddalaryň şöhlelendirýan ýa-da siňdirýan spektrleriniň esasynda geçirilýan derňewlere spektr boýunça seljerme diýilýär. Şöhlelenme spektri boýunça geçirilýän seljerme-emissiýaly seljerme diýilýär. Siňdirme spektri boýunça geçirilýan seljermä-absorbsiýaly seljerme diýilýär.

Çyzykly spektrleri atomyň gurluşy bilen göni baglanyşykly bolýandygy üçin olar aýratyn ähmiýete eýedir. Bu spektrlere gözegçilik etmek arkaly atomyň içine “seretmäge” mümkinçilik döredi.

Haýsyda bolsa bir maddanyň çyzykly spektriniň tolkun uzynlyklarynyň (ýygylyklarynyň) şol maddanyň diňe atomlarynyň häsiýetine bagly bolup, atomlaryň ýagtylanmasynyň oýandyrylyş usulyna düýpden bagly däldigi çyzykly spektrleriň esasy häsiýetidir.

Adamyň barmaklarynyň hamynyň ýüzündäki nagyşjagazlarynyň başga hiç bir adamyňka gabat gelmeýänligi köplenç jenaýatçyny tapmaga kömek edýär. Edil şonuň ýaly-da spektrleriň özboluşlylygy maddanyň himiki düzümini kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Çylşyrymly maddanyň düzümindäki 10^{-10} **g** massaly elementi hem spektral seljerme arkaly ýüze çykarmak mümkin.

Spektral seljermäniň kömegi bilen himiki elementleriň periodiki sistemasyna girýan täze elementler (rubidiý, seziý we başgalar) açyldy. Günüň we ýyldyzlaryň düzümi anyklanyldy.

Ýönekeýligi we unwersallygy bilen tapawutlanýan spektr seljerme usuly metallurgiýada maşyn gurluşygynda, atom industriýasynda maddanyň düzümini barlamagyň esasy usulydyr. Spektr seljerme arkaly magdanlaryň we minerallaryň himiki düzümi kesgitlenilýär. Günüň we ýyldyzlaryň siňdirme spektrleriniň kömegi bilen hem olaryň himiki düzümi derňelýär. Günüň güýçli ýagtylanýan üstüne fotosfera diýilýär. Ol üznüksiz spektr berýär. Günüň fotosferasy ýagtylygy saýlap siňdirýär, bu bolsa fotosferanyň üznüksiz spektriniň fonunda siňdirme çyzyklarynyň ýüze çykmagyna getirýär. Gün tutulanda spektral çyzyklaryň "öwrülmesi" ýüze çykýar. Günüň spektrinde siňdirme çyzyklara derek şohlelenme spektrleri görünýär. Astrofizikada spektral seljerme arkaly asman jisimleriniň tempiratutasy, basyşy, hereket tizligi, magnit häsiýetnamalary we ş.m. kesgitlenilýär.

7.6. Jisimleriň reňki

Jisimleriň reňki adamyň gözüniň häsiýetine we jisimlerden serpigip göze düşýän ýagtylygyň ýygylygyna bagly.

Görüş duýgusyny oýandyryp biýän ýagtylygyň dürli ýygylygyny adam gözi dürli reňkde kabul edýär. Gözi käbir reňki saýgarmaýan adamlar hem bolýar. Emma kadaly gözler hem şol bir jisimi birdeň, reňkde görmezligi mümkin. Ýagtylanýan jisimiň reňki onuň şöhlelendirýän ýagtylygynyň spektral düzümine bagly bolýar. Özi ýagtylanmaýan jisimiň reňki onuň serpikdiren ýa-da içinden geçiren ýagtylygynyň spektral düzümine bagly bolýar. Üstüne düşýän ak ýagtylygyň ähli ýygylyklarynyň köp mukdaryny deňräk derejede serpikdirýän jisim ak reňklidir, az mukdaryny serpikdirýän jisim gara reňklidir. Üstüne düşýän ak ýagtylygyň gyzyl şöhlelerini köp serpikdirýän jisim gyzyl reňklidir. Eger bu jisime başga islendik (gyzyldan başga) reňkli monohromatik ýagtylykda seredilse, ol gara reňkli bolup görünýar. Eger üstüne düşýän ak ýagtylygyň ähli ýygylyklaryny az mukdarda siňdirip, köp mukdaryny içinden geçirýän bolsa, onda ol reňksiz dury jisimdir.

Ak ýagtylygyň dürli ýygylyklaryny dürli mukdarda içinden geçirýän jisim dury we reňkli bolup görünýär. Beýle jisimleri ýagtylyk süzgüç (swetofiltr) hökmünde peýdalanmak amatlydyr. Käbir jisimleriň reňki interferensiýanyň hasabyna emele gelýär. Mysal üçin, sabyn köpürjiginiň reňki, käbir kebelekleriň ýelekenganatlarynyň reňki we ş.m.

7.7. Çyzykly däl optikanyń elementleri

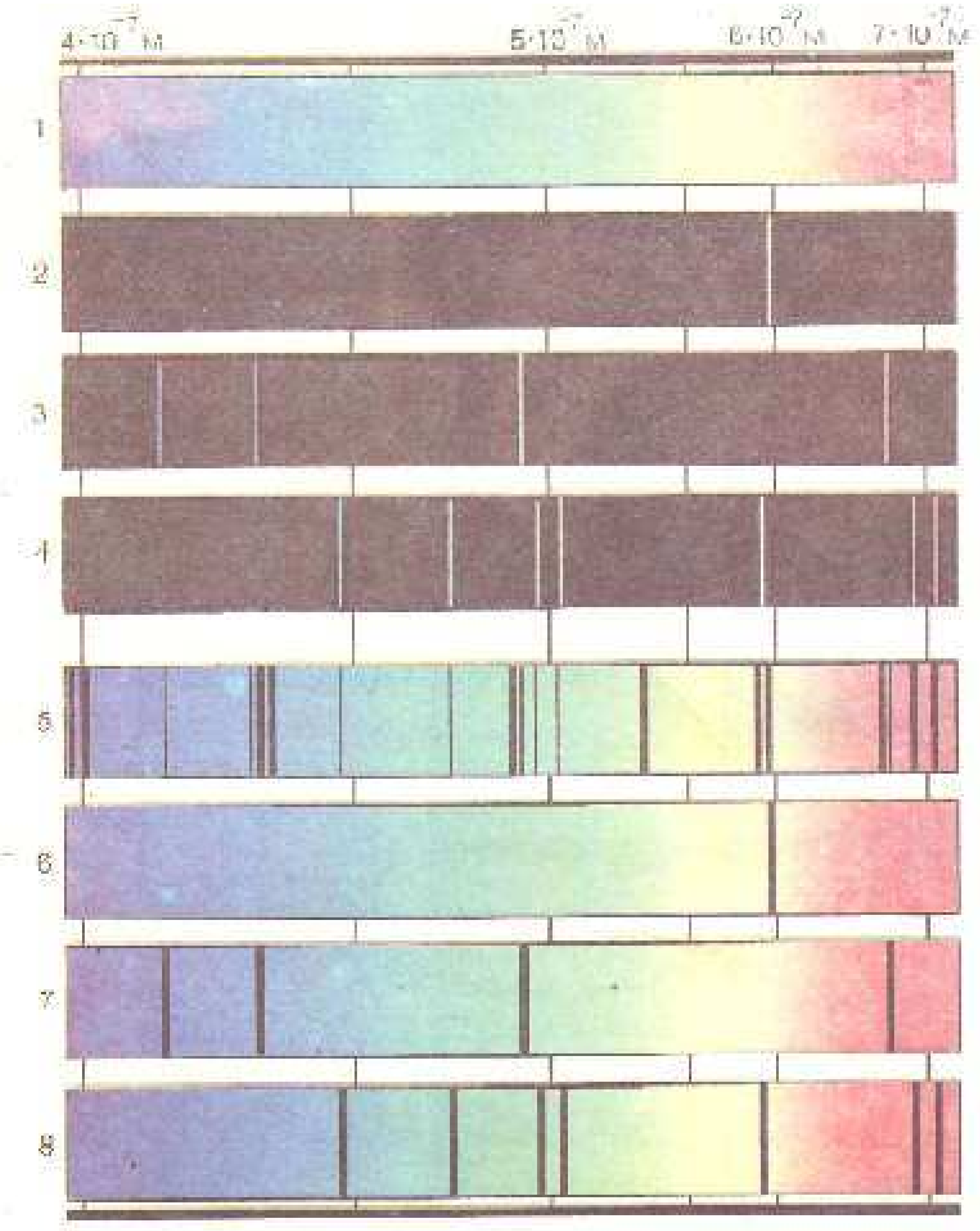
XX asyryń 60-njy ýýllarynda lazer fizikasynyń pajarlap ösmegi çyzykly däl optikanyń hem ösmegine sebäp boldy. Lazerler ýagtylygyń örän kuwwatly impulsyny almaga mümkinçilik döretdi. Kuwwatly ýagtylyk maddada ýaýranda, adaty goşulma düzgüni (sperpozisiýa prinsipi) bozulyp, çyzykly däl hadysalaryń güýçli depginde ýüze çykmagyna getirýär. Şunuń bilen birlikde çyzykly däl hadysalary güýçli ýüze çykarýan kristallar döredildi. Şeýlelikde çyzykly däl optika diýlip atlandyrylýan optikanyń täze ugry peýda boldy. Adaty kogerent däl, emma örän kuwwatly ýagtylyk maddada ýaýranda polýarlanma, ýagny, maddada indusirlenýän gipol momentleri ýagtylyk tolkunynyń elektrik wektory bilen çyzykly baglanyşykda bolýar:

$$\vec{P} = \alpha\vec{E}. \qquad (7.42).$$

α-maddanyń molekulasynyń polýarlanma koeffisiýenti bolup, dielektrik syzyjylyk bilen aşakdaky ýaly baglanyşykdadyr:

$$\varepsilon = 1 + 4\pi N\alpha. \qquad (7.43)$$

Bu ýerde *N*-maddanyń **1 sm^3** göwrümindäki molekulalaryń sany.



I reňkli surat. 1-tutuş. 2-natriýniň, 3-wodorodyň, 4-geiýniň şöhlelendirýän spektrleri, 5-günüň, 6-natriýniň, 7-wodorodyň, 8-geliýniň siňdirme spektrleri

Ýokarda belleýşimiz ýaky maddanyń ýagtylygy döwme görkezijisi onuń dielektrik syzyjylygy bilen $\varepsilon = n^2$ görnüşde baglanyşandyr. Eger ýagtylygyń gurşawynda çyzykly däl hadysalar (effektler) ýüze çyksa, ýagtylygyń ýygylygyny üýtgedýän örän çylşyrymly hadysalar bolup geçýär. Eger-de

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha` E$$

görnüşde ýüze çykýar diýip kabul edilse, onda dipol momenti aşakdaky ýaly ańladylar:

$$P = \alpha E = \alpha_0 E + \alpha' E^2. \qquad (7.44)$$

Goý, şeýle gurşawda 2 sany tolkun ýaýraýan bolsun:

$$E_1 = E_{01} \sin \omega_1 t,$$
$$E_2 = E_{02} \sin \omega_2 t.$$

Onda gurşawda döreýän doly dipol momenti üçin aşakdaky ańlatmany ýazmak bolar:

$$P = \alpha_0 E + \alpha' E^2 = \alpha_0 E_{01} \sin \omega_1 t + \alpha_0 E_{02} \sin \omega_2 t + \alpha' E_{01}^2 \sin^2 \omega_1 t +$$
$$+ \alpha' E_{02}^2 \sin^2 \omega_2 t + 2\alpha' E_{01} E_{02} \sin \omega_1 t \sin \omega_2 t.$$

Käbir matematiki özgertmelerden peýdalanalyń:

$$\sin^2 \omega_1 t = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2\omega_1 t,$$
$$\sin^2 \omega_2 t = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2\omega_2 t,$$

$$2\alpha' E_{01} E_{02} \sin \omega_1 t \sin \omega_2 t = \alpha' E_{01} E_{02} \cos(\omega_1 - \omega_2) t - \alpha' E_{01} E_{02} \cos(\omega_1 + \omega_2) t .$$

Onda dipol moment üçin alarys:

$$P = \alpha_0 E_{01} \sin \omega_1 t + \alpha_0 E_{02} \sin \omega_2 t + \frac{\alpha'}{2} (E_{01}^2 + E_{02}^2) \frac{\alpha'}{2} (E_{01}^2 \cos 2\omega_1 t +$$
$$+ E_{02}^2 \cos 2\omega_2 t) + \alpha' E_{01} E_{02} \cos(\omega_1 - \omega_2) t - \alpha' E_{01} E_{02} \cos(\omega_1 + \omega_2) t.$$

Ańlatmadan görnüşi ýaly çyzykly däl hadysalary ýüze çykarýan gurşawa düşen ýagtylyk ω_1 we ω_2 ýygylykly tolkunlardan başga-da iki esse uly ýygylykly ($2\omega_1$ we $2\omega_2$) tolkunlary (garmonikalar) hem-de (ω_1-ω_2) we ($\omega_1+\omega_2$) ýygylykly tolkunlary-da döreýär. Beýle effekt ýokary takyklykdaky kogerentlige eýe bolan ýagtylyklarda has aýdyń ýüze çykýar.

Alan netijämiz bir molekulanyń dipol momenti hasaba alnan ýagdaý üçindir. Eger gurşawyń göwrüm birligindäki ähli (N) molekulalarynyń dipol momentini $\mathscr{P}$ diýip bellesek, onda (7.42)

$$\mathscr{P} = \alpha N E \qquad \text{ýa-da} \qquad \mathscr{P} = \chi E$$

görnüşe eýe bolar.

Şeýlelik-de, (7.44) ańlatmany hem

$$\mathscr{P} = \chi E + \chi` E^2 \quad \text{görnüşde ýazmak bolýar.}$$

Derńewleriń görkezişine görä, mundan has ýokary tertipli garmonikalar hem oýandyrylýar:

$$\mathscr{P} = \chi^0 E + \chi' E^2 + \chi'' E^3 + \ldots + .$$

Bu ýerde χ, χ', χ'' - ululyklar birinji, ikinji we üçünji derejeli polýarlanma koeffisiýentler.

1. Optiki detektirleme we garmonikalary öndürmek

Goý, ýagtylyk tolkunlarynyń ýaýraýan gurşawynyń polýarlanmasynda dipol momenti

$$\mathscr{P} = \chi E + \chi' E^2 \qquad (7.45)$$

görnüşde ańladylyp bilinýän bolsun. Beýle gurşawda güýçli elektrik meýdanly ýagtylyk ýaýranda statik polýarlanmany ýüze çykarýar we tolkunyń sinhronlyk şerti ýerine ýetende şöhlelenmäniń ikinji garmonikasy döreýär.

Goý, gurşawa düşýän ýagtylyk tolkunynyń deńlemesi

$$E = E_0 \sin(\omega t - kz) \qquad (7.46)$$

görnüşde berlen bolsun.

Bu ýerde $k = \dfrac{\omega}{\vartheta} = \dfrac{2\pi}{\lambda}$ - tolkun sany, ϑ-ýagtylygyń faza tizligi.

(7.46)-ny (7.47) ornuna goýsak, onda:

$$\mathscr{P} = \chi E_0 \sin(\omega t - kz) + \frac{\chi' E_0{}^2}{2} - \frac{\chi' E_0{}^2}{2} \cos(2\omega t - k'z) .$$

Bu ýerde $k` \approx 2k (\sin \approx \alpha = 1 - \cos^2 \alpha)$.

Şeýlelikde gurşawyń polýarlanmasynyň üç agzadan ybaratdygy alyndy.

Birinji agzasy gurşawa düşýän ýagtylyk ýygylygynyň polýarlanmasy, ikinji agzasy statik polýarlanma. Statik polýarlanmanyń ýüze çykmasyna **optiki detektirleme** diýilýär. Optiki detektirleme ýörite abzallar arkaly hasaba alynyp χ'-ny we E_0-y kesgitlemek üçin peýdalanylýar. Üçünji agzasy iki esse uly ýygylykly polýarlanma bolmagy üçin ω ýygylykly ýagtylyk tolkunynyń (ϑ`) faza tizligine deń bolmalydyr. Eger $\vartheta \neq \vartheta'$ bolsa $k' \approx 2k$ bolýar. Şol sebäpli ω ýygylykly ýagtylyk tolkuny bilen 2ω ýygylykly ýagtylyk tolkuny Δz ýoly geçende olaryń arasynda $\Delta\varphi = \Delta z(k' - 2k)$ faza tapawudy ýüze çykýar. Bu bolsa tolkun sinhronlygyny bozýar.

Δz-iń ulalmagy bilen ω ýygylykly düşýän ýagtylygyń energiýasynyń 2ω ýygylykly ikinji garmonika geçmegini azaldýar. $\Delta\varphi = 2\pi$ bolanda energiýa geçme düýbünden kesilýär. Bu ýagdaýda tolkunlar $\Delta z \geq \dfrac{2\pi}{k' - 2k}$ ýoly geçýärler. Şu şert ýerine ýetende tolkunyň sinhronlyk şerti bozulyp, ikinji garmonika öndürilmeýär (genirirlenmeýär). Hasaplamalaryń netijelerinde, düşýän ýagtylyk tolkunynyń ikinji garmonika berýän kuwwaty

$$P' \approx \frac{k^2 \chi'^2 P^2 \Delta z^2}{4} \frac{\sin^2(\frac{k' - 2k}{2}\Delta z)}{(\frac{k' - 2k}{2}\Delta z)}$$

ańlatma arkaly kesgitlenilýär. Bu yerde P düşýän ýagtylyk tolkunynyń kuwwaty. Ikinji garmonikanyń iń uly öndürilmesi $k`=2k$ we

$$\vartheta` = \vartheta \qquad (7.47)$$

şertde ýüze çykýar.

Bu ýagdaýda $\Delta z \to \infty$ tolkun sinhronlygy örän uly aralykda emele gelýär. Onda iň uly berilýän kuwwat $P' = \dfrac{\kappa^2 x'^2 p^2 \Delta z^2}{4}$ görnüşde aňladylar.

(7.47) şertiň ýerine ýetmegi üçin çyzykly dal hadysalary ýüze çykarýan madda hökmünde kaliýniň digidrofasfatyndan (KH_2PO_4) ýasalan kristal peýdalanylýar.

2. Ýagtylygyň öz-özüne fokuslanmasy

Polýarlanma ululygynda üçinji derejeli agzanyň ýüze çykarýan çyzykly däl optiki hadysasyna seredeliň. Goý, seredilýän ýagdaýda tolkun sinhronlygynyň şerti ýerine ýetýän we garmonikalar oýandyrylýan bolsun. Onda maddada diňe düşýän ýagtylyk tolkunlarynyň ýygylygyndaky tolkunlar ýaýrarlar. Üçinji derejeli agzanyň şertlendirýän polýarlanmasy

$$\mathcal{P}_3 = x''E_0^3\sin^3(\omega t - kz) = \frac{3}{4}\chi''E_0^3\sin^3(\omega t - kz) - \frac{1}{4}\chi''E_0^3\sin^3(\omega t - kz)\,. \qquad (7.48)$$

Bilşimiz ýaly $D = \varepsilon E = E + 4\pi\,\mathcal{P}$.

Bu ýagdaýda $\mathcal{P} = \mathcal{P}_1 + \mathcal{P}_3 = \chi E + \mathcal{P}_3$.

Onda elektrik induksiýasy

$$D = E + 4\pi\chi E + 3\pi\chi''E_0^2 E = (1 + 4\pi\chi + 3\pi\chi''E_0^2)E\,. \qquad (7.49)$$

Bu ýerde

$$E = E_0\sin(\omega t - kz)\,.$$

(7.49) aňlatmada ýaýyn içindäki

$$\varepsilon = n^2 = 1 + 4\pi\chi + 3\pi\chi''E_0^2,$$
$$\varepsilon_0 = 1 + 4\pi\chi = U_0^2.$$

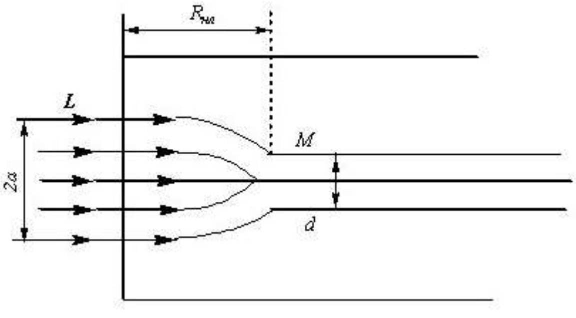
Bu ýerde n_0 maddanyň adaty ýagtylygy döwme görkezijisi:

$$\text{Onda } n^2 = n_0^2\left(1 + \frac{2n_2}{n_0^2}E_0^2\right) \qquad (7.50)$$

$$\text{Bu ýerde } \quad n_2 = \frac{3\pi\chi''}{2}; \quad \frac{2n_2}{n_0^2}E_0^2 << 1$$

Bolanlygy üçin ony hasaba almazlyk mümkin.

Onda bu ýerden alarys: $n = n_0 + n_2E_0^2$. (7.51)



7.12-nji çyzgy

Seýlelik bilen, maddanyň ýagtylygy döwme görkezijisi ýagtylyk tolkunynyň amplitudasynyň kwadratyna baglydygy gelip çykýar. Çäklenen ýagtylyk dessesiniň okunda (dessäniň ortasynda) ýagtylygyň depgini has uly bolýar. Şoňa görä (7.51) aňlatma laýyklykda dessäniň okunda ýagtylygyň döwme görkezijisi uly bolup, dessäniň okundan gyra gitdigiçe kiçelýär. Şol sebäpli, dessäniň gyrasynda tolkunyň tizligi uly bolup, oka golaýlaşdygyça kiçelýär. Bu bolsa ýagtylyk dessesiniň gyralarynyň orta gyşarmasyna getirýär, ýagny ýagtylyk dessesi maddanyň içinde ýygnanýar (fokuslanýar). 7.12-nji çyzgyda kuwwatly ýagtylyk dessesiniň ýygnanmasy şekillendirilen. Çyzgydan görnüşi ýaly desse maddanyň içinde M nokadynyň golaýynda inçelýär. $R_{H\alpha}$ aralyga öz-özüne ýygnanmanyň effektiw uzynlygy diýilýär we

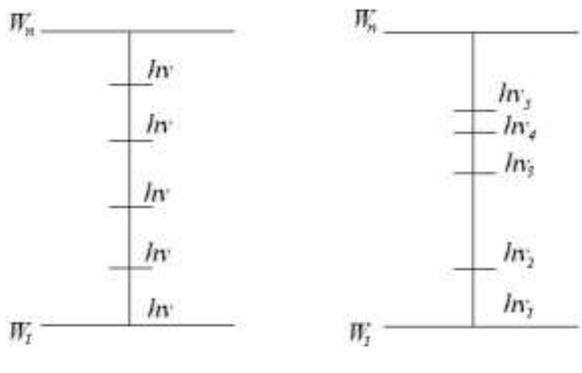
$$R_{H\alpha} = \frac{a}{2}\sqrt{\frac{n_0}{n_2 E_0^2}}$$

aňlatma arkaly kesgitlenilýär. M nokatdan başlap ýagtylyk d diametrli inçe desse görnüşinde ýaýraýar. Bu ýagtylyk dessesi hiç hili difraktisiýa hadysasyny ýüze çykarmaýar. Ýagtylygyň öz-özüne fokuslanma hadysasy ýagtylyk dessesiniň kuwwatynyň mundan beýläk-de köpeldilmegine we netijede maddada çyzykly däl optiki hadysalarynyň güýçli ýüze çykarmagyna getirýär.

3. Köpfotonly siňdirme we köpfotonly ionlaşma

Maddanyň üstüne düşýän ýagtylyk kwantynyň energiýasy $\varepsilon = h\nu$. Eger ol maddanyň atomlarynyň energetik derejeleri energiýalarynyň tapawudyna geň bolsa, onda ol foton madda tarapyndan siňdirilýär. Ýagtylygyň siňdirilmesiniň kwant nazaryýeti bu ýagdaýy esaslandyrýar, ýagny

$$h\nu = E_n - E_1$$



7.13-nji çyzgy

Bu ýerde E_1 we E_n degişlilikde maddanyň atomynyň esasy we oýandyrylan energetik derejeleri. Adaty ýagtylyk bilen maddanyň her bir elementar täsirleşmesinde diňe bir foton siňdirilýär. Şonuň üçin bu hadysa ýeke fotonly siňdirme diýilýär.

Eger madda lazer çeşmeleriniň kuwwatly ýagtylygy düşürilse, onda ýagtylyk bilen maddanyň bir elementar täsirleşmesinde birnäçe fotonyň siňdirilmegi mümkin, ýagny $Nh\nu = E_n - E_1$.

Bu hadysa köp fotonly siňdirme diýilýär.

Köp fotonly siňdirme hadysasynda birmeňzeş energiýaly fotonlar siňdirilýär. Mysal üçin, iki fotonly siňdirme

$$h\nu_1 + h\nu_2 = E_n - E_1$$

şertiň ýerine ýetirilmegi bilen amala aşýar.

7.13-nji çyzgyda birmeňzeş fotonlaryň we dürli energiýaly köp fotonly siňdirme şekillendirilen.

Eger maddanyň atomynyň ionlaşma energiýasyny E_i diýip hasap etsek, onda $E_n = E_i$ şert ýerine ýetse we E_n maddanyň atomynyň iň ýokary energetik derejesine gabat gelýän bolsa, $Nh\nu > E_i$ ýagdaýda atomyň ionlaşmasy ýüze çykýar. Beýle ionlaşma köpfotonly ionlaşma diýilýär.

7.8. Atmosferada optiki hadysalar

Ýeriň üstüniň howa örtügine atmosfera diýilýär. Atmosferada ýagtylygyň döwülmesi, difraksiýasy, polýarlanmasy, pytramasy we ş.m. hadysalar aýdyň ýüze çykýarlar.

Atmosferada ýüze çykýan özboluşly optiki hadysalar örän köp bolup, olar ýörite ugur hökmünde giňden öwrenilýär. Bu hadysalaryň ählisi diýen ýaly atmosferadaky birhillidälllikleriň ýagny, atmosferanyň düzüminde suw damjalarynyň, tozan bölejikleriniň, tüssäniň bolmagy bilen baglanyşyklydyr. Biz optika dersiniň çäginde atmosferada ýagtylyk bilen baglanyşykly ýüze çykýan we ýygy-ýygydan gabat gelýän birnäçe hadysalara serederis.

1. Atmosfera refraksiýasy

Ýeriň atmosferasy beýiklik boýunça dykyzlygy üýtgeýän gurşawy emele getirýär. Atmosferanyň dykyzlygynyň beýle üýtgemesi onuň ýagtylygy döwme görkezijisiniň birsydyrgyn, endigan üýtgemesine sebäp bolýar. Ýagtylygyň döwme görkezijisi bilen onuň ýaýraýan gurşawynyň dykyzlygy aşakdaky aňlatma arkaly baglanyşandyr:

$$n-1=c\rho . \qquad (7.52)$$

Bu ýerde c – hemişelik ululyk, ρ - atmosferanyň dykyzlygy.

Atmosferanyň dykyzlygynyň beýiklik boýunça üýtgemesi barometrik aňlatma arkaly kesgitlenilýär:

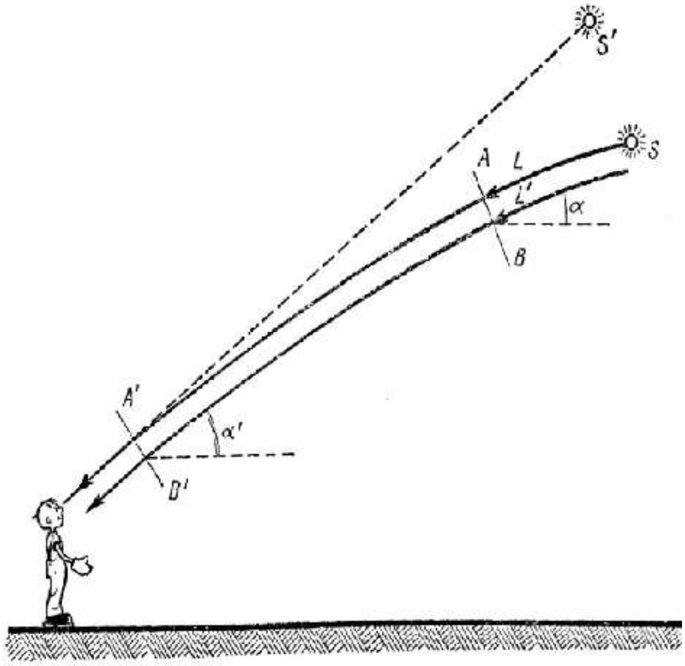
$$\rho=\rho_0 \exp\left(-\frac{\mu gh}{RT}\right). \qquad (7.53)$$

Bu ýerde ρ_0 we ρ degişlilikde Ýeriň üstüne golaý ýerleşen we h beýiklikdäki atmosferanyň dykyzlygy; μ - howanyň molekulýar massasy; R – uniwersal gaz hemişeligi; T – termodinamiki temperatura; g – agyrlyk güýjüniň tizlenmesi.

Onda atmosferanyň ýagtylygy döwme görkezijisi üçin

$$n-1=c'\exp\left(-\frac{\mu gh}{RT}\right) \qquad (7.54)$$

aňlatmany alarys. Bu ýerde $c'=c\rho_0$ hemişelik ululyk.



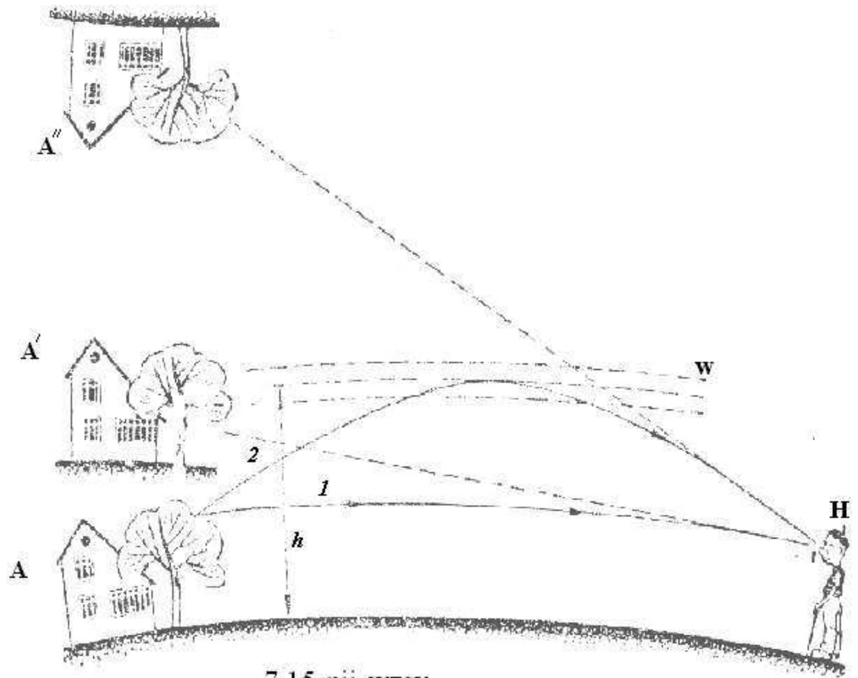
7.14-nji çyzgy

(7.54) aňlatmadan görnüşi ýaly h beýikligiň üýtgemegi bilen n döwme görkezijiniň endigan üýtgeýär. Bu bolsa normal çyzyga burç bilen gönükdirlen şöhläniň ugrunyň birsydyrgyn üýtgemesine getirýär.

7.14-nji çyzgyda S ýagtylgyçdan α burç $\left(\alpha < 90^0\right)$ boýunça düşýän şöhläniň L we L' çyzyklary şekillendirlen. L şöhle L' şöhleden ýokarda ýerleşip, uly tizlik bilen ýaýraýar. Şonuň netijesinde *AB* ýagtylyk tolkuny kem-kemden çepe gyşarýar we normal çyzyga ýakyn bolan ugry eýeleýär. Netijede gözegçi S ýagtylgyjy α burç bilen däl-de α' burç boýunça kesgitlenýän ugurda görýär. Şol sebäpli Gün we Aý gorizonta ýakyn ýerleşende (doganda-ýaşanda) normal ugur boýunça süýndirlen ýaly bolup görünýär. Bu hadysa ***atmosfera refraksiýasy*** diýilýär. Atmosfera refraksiýasy dykyzlygynyň beýiklik boýunça paýlanmasy (7.53) aňlatma doly boýun egen ýagdaýynda ýüze çykýar.

2. Salgymlar

Eger atmosferanyň temperaturasy beýiklige baglylykda çürt-kesik üýtgeýän bolsa. Mysal üçin Ýeriň üstüne golaý gatlagyň temperaturasy has pes bolup, käbir beýiklikde adaty bolmadyk derejede ýokary bolsa, onda atmosferanyň refraksiýasynyň adaty bolmadyk ýagdaýy, ýagny salgym ýüze çykýar.



7.15-nji çyzgy

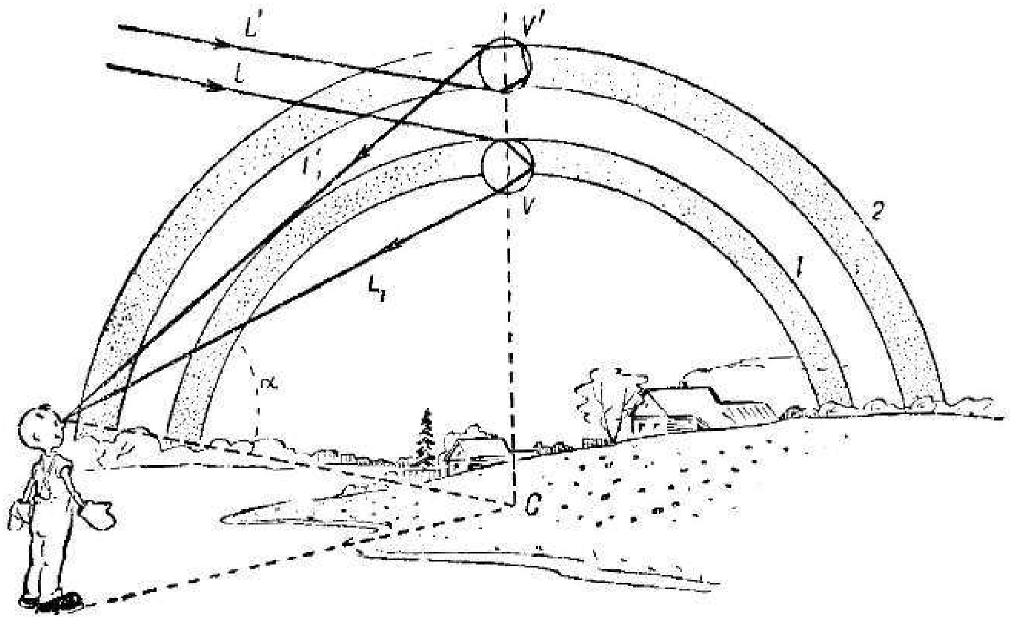
Käbir şertlerde Ýerden ýokary galyndygyça atmosferanyň temperaturasy ýokarlanýar, dykyzlyk we ýagtlygy döwme görkezijisi kiçelýär. Netijede Ýeriň üstünden käbir beýiklikde ýagtylygyň ýaýrama tizligi uly bolup şöhleler Ýeriň üstüne tarap gyşarýar (7.15-nji çyzgyda 1-nji şöhle) Şol sebäpli gözegçi Ýeriň üstündäki duran zatlary (A) Ýeriň üstünde ýokarda (A') görýär.

Käbir ýagdaýlarda Ýerden h beýiklikde temperaturanyň has ýokarlanmagy bilen şöhle 2 bu gatlakdan serpikmesi zadyň (A'') ikilenji şekilini berýär.

Ol şekil zadyň tersine öwrülen görnüşinde bolýar. Bu hadysa ýokarky salgym diýilýär. Mundan tapawutlylykda aşaky salgym hem bolýar. Aşaky salgym çöllüklerde Ýeriň üstünden seredilende suwy görkezýär. Aşaky salgymdan ýokarky salgyma geçende ýa-da tersine dürli howaýy (fantastiki) şekiller ýüze çykýar. Bu hadysa Morganyň-fatasy (fata-morgana) diýilýär.

3. Älemgoşar

Bu hadysa ýagtylygyň dispersiýasy bilen baglanyşyklydyr. Asmanda älemgoşaryň görünmegi üçin iki şert ýerine ýetmeli.



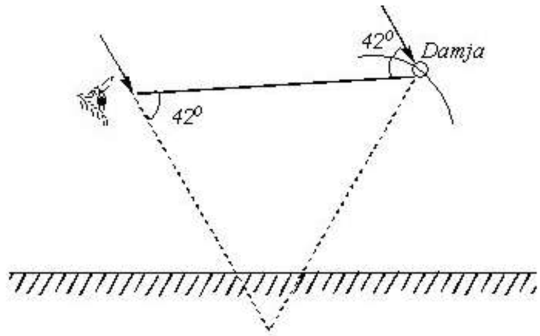
7.16-njy çyzgy

1) Gözegçi Gün bilen ýagýan ýagyşyň arasynda bolmaly.
2) Günüň gorizontdan beletligi 42^0 çemesi bolmaly.

Älemgoşar – radius burçy 42^0 çemesi bolan töweregiň dürli reňkli dugasydyr, onuň merkezi Gün bilen gözegçiniň gözüni birleşdirýän gönininiň üstünde ýerleşýär.

(7.17-nji çyzgy), duganyň daşky gyrasy gyzyl, içki tarapy melewşe reňkli bolýar. Käwagt reňkleriň tertibi tersine bolan ikilenji älemgoşar hem ýüze çykýar. Adaty tebigatda gabat gelýän älemgoşar ýagyş damjasynyň içinde ýagtylygyň iki gezek döwülmegi we bir gezek serpikmegi hem-de köp sanly damjalaryň döredýän difraksiýa hadysasynyň netijesinde emele gelýär.

Goý, togalak ýagyş damjasynyň üstüne Gün şöhlesi düşýän bolsun (7.18-nji çyzgy). i ýagtylygyň düşme burçy r döwülme burçy. Bu şöhläniň bir bölegi damjada doly serpigip, *BN* ugur boýunça ýaýrap gözegçiniň gözüne düşmegi mümkin. Bu ýagdaýda käbir *BN* ugurda şöhleleriň jemlenmegi bolup biler (bu ugur döwme görkezijä, ýagny tolkun uzynlyga bagly bolýar). 7.18-nji çyzgydan peýdalanyp şöhläniň ugrunyň üýtgemesini kesgitläp bileris:

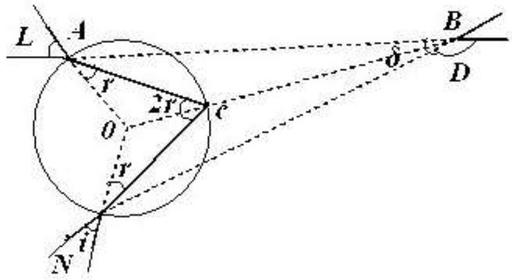


7.17-nji çyzgy

$$D = \pi - \delta . \qquad (7.55)$$

ACB üçburçlukdan

$$\frac{\delta}{2} + (i - r) + (\pi - r) = \pi ,$$



7.18-nji çyzgy

onda

$$\frac{\delta}{2} + i - 2r = 0 .$$

Bu ýerden

$$\delta = 2(2r - i).$$

Bu netijäni (7.55) aňlatmada ornuna goýup, alarys:

$$D = \pi + 2i - 4r .$$

D burç bilen i düşme burçunyň baglanşygyny (ahyrky deňligi) düşme burçy boýunça differensirläp, nola deňlesek

$$\frac{dD}{di} = 2 - 4\frac{dr}{di} = 0 \quad \text{bolar.}$$

Diýmek
$$\frac{di}{dr} = 2 .$$

Ýagtylygyň döwülme kanuny boýunça

$$sin\, i = n\, sin\, r . \qquad (7.56)$$

Bu aňlatmany i we r boýunça differensirlesek:

$$cos\, idi = n\, cos\, rdr .$$

Bu ýerden
$$\frac{di}{dr} = 2 = \frac{n\, cos\, r}{cos\, i} .$$

Bu deňligi kwadrata göterip we döwülme kanunyň esasynda $cos\, r$-i çalyşyp

$$n^2 = 1 + 3cos^2 i \quad \text{aňlatmany alarys.}$$

Bu ýerden

$$cos\, i = \sqrt{\frac{n^2 - 1}{3}}$$

Arassa suwuň döwme görkezijisi *n=1,333*. Şonuň üçin

$$i = 59^0 20' \quad \text{bolýar.}$$

(7.56) kanuna görä $r = 40^0 12'$, onda $D = 137^0 52'$. Şeýlelikde

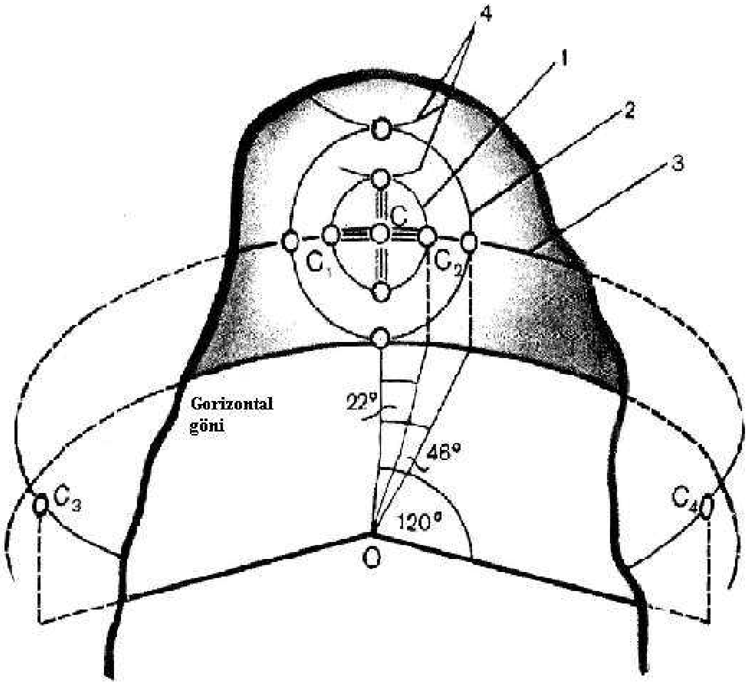
$$\delta = 180 - 137^0 52' = 42^0 08' .$$

δ burçuň şu ululygynda *BN* ugurda şöhläniň jemlenmesi (konsentrirlenmesi) bolýar. Bu alynan netije spektriň orta bölegi üçin dogrydyr. Gyzyl ýagtylygyň döwülme görkezijisi $n_g = 1{,}331$, onda $\delta_g = 42^0 22'$, melewşe ýagtylygyň döwülme görkezijisi $n_m = 1{,}344$, onda melewşe ýagtylyk üçin $\delta_m = 40^0 36'$.

Alnan netijelerden görnüşi ýaly, dürli ýygylykly ýagtylyklaryň dugasynyň radius burçy dürlidir. Şonuň üçin ýagtylyk ýagyş damjalarynda spektre dargaýar we duga reňkli bolup görünýär.

4. Agyllama. Täç

Agyllama Günuň ýa-da Aýyň daşynda ýelek şekilli bulutlaryň buz kristaljyklarynda gün şöhlesiniň döwülmegi we serpikmegi netijesinde ýüze çykýar. Edebiýatlarda bu hadysa galo diýlip atlandyrylýar. (“*Galo – halos – töwerek*” – diýen grek sözünden gelip çykyp, türkmençe “agyllama” diýilýär). Agyllamanyň emele gelşi 7.19-njy çyzgyda görkezilýär.



7.19-njy çyzgy

Çyzgyda gözegçi gorizont çyzygy bilen çäklenen tekiz töweregiň merkezinde *O* nokatda dur diýeliň. Güni (Aýy) we agyllamanyň hemme elementlerini gözegçi asman gümmezinde görer. Ýagtyltgyç (Gün) çyzgyda *C* bilen belgilenen. Günüň daşynda iki sany ýagtylanýan halka görünýär. 1-nji halka burç radiusy 22^0 (oňa kiçi agyllama diýilýär) we 2-nji halka burç radiusy 46^0 (uly agyllama diýilýär) burç bilen görünýär. Şeýle hem gorizontal ýagtylanýan pareliki tegelek diýlip atlandyrylýan tegelek 3 ýüze çykýar. Ony doly görmek üçin gözegçi 360^0 burça öwrülmeli bolýar. C_1 we C_2 bilen ýüze çykýan hyýaly Günler belgilenendir. Hakyky Günden 120^0 tapawutlanýan, yza galýan hyýaly görünýän Günler C_3 we C_4 bilen belgilenendir (olary paranteliýalar diýip atlandyrýarlar).

Agyllamanyň dürli bölekleri buz kristaljyklary bilen ýagtylygyň özara täsiriniň dürli hadysalary arkaly şertlenendir. Agyllamanyň dürli elementlerini iki topara bölmek mümkin: reňksiz (ak) we reňk öwüşginli. Pareliki töwerek ak bolup, kiçi we uly agyllama reňk öwüşginlerine eýe bolýar. Olaryň içki gyrasy gyzyl öwüşginli, daşky gyrasy gök-melewşe öwüşgine eýe bolýar. Bu öwüşginler kiçijik buz kristaljyklarynda ýagtylygyň döwülmegi netijesinde ýüze çykýar.

Günüň we Aýyň (ýa-da başga güýçli ýagtylyk çeşmeleriniň) töwereginde bir ýa-da birnäçe reňklenen älemgoşar halkalary döräp, täçleri emele getirýärler. Bu halkalaryň merkezi ýagtyltgyç bilen gabat gelýär. Täçleriň diametri 2^0 töweregi bolup, dürli ýagdaýlarda üýtgäp durýar. Täçler haçanda Gün ýa-da Aý ýukajyk bulut perdesi bilen ýapylyp, ondan ýagtyltgyjyň görünýän wagtynda gözegçilik edilýär. Ýagtyltgyç we töweregindäki älemgoşar halkalarynyň aralygynda agymtyl ýa-da sarymtyl meýdan - oreol görünýär.

Täçler asman gümmezini dury bulutlar ýapanda ondaky suw damjajyklarynda ýagtylygyň difraksiýasy bilen düşündirilýär. Suw damjajyklaryndaky difraksiýa şol diametrdäki dury däl päsgelçilikdäki difraksiýa meňzeş bolýar. Eger damjanyň diametri D bolsa onda difraksiýa zerarly ýagtylygyň depgininiň birinji tertipli iň kiçi gowşamasy $\theta = 1{,}22\frac{\lambda}{D}$ şert bilen kesgitlenýär. Hakykatda gözegçilik edilýän burçlar örän kiçi - $\theta \approx 2^0$ bolýar. Eger $\theta = \frac{1}{30} rad, \lambda = 0{,}5\, mkm = 0{,}005\, mm$ bolsa, onda damjanyň diametri

$D = 18\, mkm = 0{,}0018\, mm$ bolýar. Ýuka galyňlykly bulutlarda hakyky gözegçilik edilýän suw damjalarynyň diametri $14 \div 20\, mkm$ bolýar.

Duman damjajyklarynyň diametri ortaça $10\, mkm$ bolýar. Agyllamadan tapawutlylykda täçlerde reňkleriň ýerleşişi ters tertibe eýe bolýar.

5. Gyrpyldama

Gyrpyldama optiki hadysalaryň giň toparyny öz içine alyp, uzakdaky ýagtylyk çeşmeleriniň ýa-da ýeriň üstündäki predmetleriniň atmosferadaky turbulent akym bilen baglanyşykly hadysalaryň netijesinde kä görünýändigini käte-de görünmeýändigini aňladýar.

Ýyldyzlaryň gyrpyldamasy olaryň ýagtylanyşynyň we reňkiniň örän çalt üýtgemeginiň netijesidir. Atmosferada döreýän ýerli tolgunmalar onuň dykyzlygynyň fluktuasiýasyna (tötänleýin üýtgemelerine) getirýär hem-da döwme görkezijisi üýtgeýär. Bu bolsa gözegçiniň gözüne düşýän şöhläniň tötänleýin refraksiýasynyň döremegine getirýär we käbir pursatlarda gözegçä gelýän ugrundan gyşarýar, netijede ýyldyzyň ýagtylygy üýtgäp-yrgyldap durýar. Ýyldyzyň ýagtylygynyň çalt üýtgemegi bilen bir hatarda onuň titremegine hem gözegçilik edilýär. Ýagny ýyldyzyň ýerleşýän, görünýän ýagdaýynyň çalt üýtgemegi ýüze çykýar. Bu hadysalar hem gyrpyldamada ýyldyzyň ýagtylanyşynyň we reňkiniň yrgyldylary bilen häsiýetlendirilýär. Ýerüsti ýagtylyk çeşmeleri hem uly aralyklarda edil ýyldyzlardaky ýaly gyrpyldamany ýüze çykarýarlar. Ýerüsti ýagtylyk çeşmeleriniň we ýyldyzlaryň gyrpyldamasy adamyň amaly döredijiliginde ýaramaz täsirini ýetirýär, ylmy-barlag işlerde, tehniki meseleleri optiki usullaryň kömegi bilen çözmekde kynçylyklar döredýär.

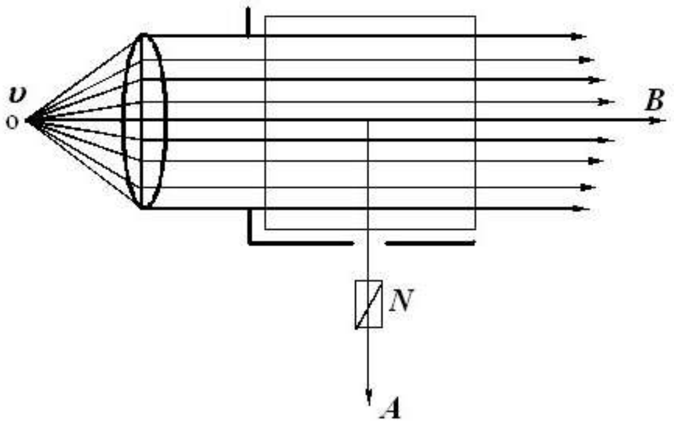
Optiki aragatnaşyk serişdeleriniň ulanylyşynda gyrpyldama örän güýçli "goh" döredip, habarlaryň optiki geçirijiligini ýaramazlaşdyrýar.

7.9. Ýagtylygyň pytradylma hadysasy

1. Releýiň kanuny. Pytradylan ýagtylygyň polýarlanmasy. Asmanyň reňki

Nusgawy garaýyşda ýagtylygyň pytradylmasy maddadan geçýän ýagtylygyň maddanyň atomlaryndaky elektronlaryny tolgundyryp yrgyldatmasy arkaly düşündirilýär. Maddanyň atomlaryndaky yrgyldaýan elektronlar ähli ugurlar boýunça ýaýraýan ikilenji tolkun çeşmelerine öwrülýärler. Ýagtylygyň pytradylmasy islendik şertde ýüze çykmaýar. Sebäbi birjynsly madda ikilenji tolkunlar, ýaýraýan ýagtylyk tolkunlary bilen kogerentdirler, netijede maddada islendik ugur boýunça ýaýraýan ýagtylygyň depgini bu ugur boýunça interferensiýanyň netijesine baglydyr. Hasaplamalaryň görkezişine görä, birjynsly (birhilli) maddada ilkinji tolkunyň ýaýraýan ugrundan başga islendik ugurda interferensiýa sebäpli ýagtylygyň depgininiň iň kiçi gowşamasy ýüze çykýar. Diýmek, gapdala ýagtylyk ýaýramaýar we pytrama ýüze çykmaýar.

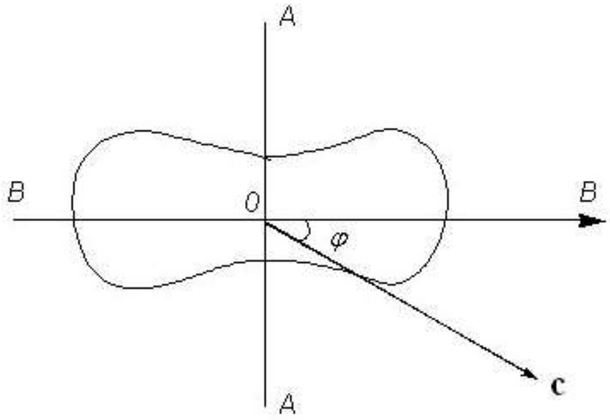
Eger ýagtylygyň ýaýraýan gurşawy birjynsly bolmasa, ikilenji tolkunlar düşýän tolkunlar bilen kogerent bolmaýar we interferensiýa ýüze çykmaýar. Şeýle gurşawda ýaýraýan ýagtylyk tolkuny difraksiýa sezewar bolup, ähli ugurlar boýunça ýagtylygyň depgininiň deňölçegli paýlanmasyny häsiýetlendirýän difraksiýa görnüşi ýüze çykarýar. Gurşawyň (maddanyň) birjynsly bolmazlygy bilen baglanyşykly ýüze çykan difraksiýa hadysasyna ýagtylygyň pytramasy diýilýär.



7.20-nji çyzgy

Ýagtylyk üçin birjynsly bolmadyk maddalara bulançak (mutnaýa) maddalar diýilýär.

Optiki taýdan birjynsly bolmazlyga gazlarda örän ownuk gaty bölejikleriň bolmagy (tüsse), suwuklyklarda gaty bölejikleriň bolmagy (suspenziýa), atmosferada suw buglarynyň bolmagy (duman), suwda ýag bölejikleriniň bolmagy (süýt) we ş.m-ler sebäp bolýar.



7.21-nji çyzgy

Bulançak gurşawlarda ýagtylygyň ýaýraýşy 1869-njy ýylda iňlis fizigi J. Tindal tarapyndan öwrenilip, ýagtylygyň pytrama hadysasy ýüze çykarylan. Şonuň üçin ýagtylygyň maddalarda pytrama hadysasyna Tindal effekti (hadysasy) hem diýilýär. Ýagtylygyň pytramasyna syn etmek üçin niýetlenen gurnama 7.20-nji çyzgyda şekillendirilen.

Tindal içinde, ölçegleri ýagtylygyň tolkun uzynlygyndan kiçi $\left[\left(0{,}1\div0{,}2\right)\lambda\right]$ birhilli dällekler (bölejikler) bolan bulançak maddada ak ýagtylygyň pytramasyny öwrenmek bilen aşakdaky kanunalaýyklyklary açdy.

1) Ýagtylygyň ilkibaşdaky ýaýraýan ugrundan gapdala pytradylan ýagtylygyň gögümtil-mawy reňki bolýar, ilkibaşdaky ýaýraýan ugrunda ýagtylygyň reňki gyzlymtyl bolýar. Başgaça aýdanymyzda bulançak gurşawda gysga tolkunlar köpräk, uzyn tolkunlar gowşak pytradylýar.
2) Ýagtylygyň ilkibaşdaky ugruna perpendikulýar $\left(\varphi=90^0\right)$ ugur boýunça ýaýraýan ýagtylyk çyzykly polýarlanýar. Pytradylan ýagtylygyň elektrik wektorynyň $\left(\vec{E}\right)$ ugry ýagtylygyň ilkibaşdaky ugry bilen syn edilýän ugruň üstünden geçýän tekizlige perpendikulýar ugrukdyrylýar.
3) Dürli ugurlar boýunça pytradylan ýagtylygyň depgini ýagtylygyň başlangyç dessesiniň okuna we oňa perpendikulýar çyzyga görä simmetrikdir (7.21-nji çyzgy) we onuň depgini $I_\varphi=I_{\frac{\pi}{2}}\left(1+cos^2\varphi\right)$ (7.57)

   aňlatma arkaly kesgitlenip biliner.

Bu ýerde I_φ we $I_{\frac{\pi}{2}}$ degişlilikde φ we $\frac{\pi}{2}$ burça pytradylan ýagtylygyň depgini. Bu aňlatma (7.52) bulançak gurşawa tebigy (polýarlanmadyk) ýagtylyk düşürilen ýagdaý üçin adalatlydyr.

1871-nji ýylda iňlis fizigi Jon Releý ölçegleri ýagtylygyň tolkun uzynlygyndan kiçi bolan sfera görnüşli bölejiklerde pytradylan ýagtylygyň depgini üçin aşakdaky aňlatmany teklip etdi.

$$I_\varphi=I_0\frac{9\pi^2\varepsilon_0^2NV^2}{2\lambda^4L^2}\left(\frac{\varepsilon-\varepsilon_1}{\varepsilon+\varepsilon_1}\right)^2\left(1+\cos^2\varphi\right). \quad (7.58)$$

Bu ýerde I_0 we I_φ degişlilikde düşýän we pytradylan ýagtylygyň depgini, V – pytradyjy bölejigiň göwrümi, N - pytradyjy göwrümdäki bölejikleriň sany,

ε - bölejigiň dielektrik syzyjylygy, ε_1 - pytradyjy maddanyň dielektrik syzyjylygy, φ - pytrama burçy, L pytradyjydan syn edilýän nokada çenli aralyk.

(7.58) aňlatmadan görnüşi ýaly, $\varepsilon = \varepsilon_1$ bolanda pytradylan ýagtylygyň depgini $I_\varphi = 0$ bolýar.

Başgaça aýdanymyzda maddanyň dielektrik syzyjylygy onuň içindäki bölejikleriň dielektrik syzyjylygyna deň bolanda ýagtylyk pytradylmaýar. Bu aňlatmadan alynýan ýene-de bir wajyp netije, ol hem pytradylan ýagtylygyň depgininiň ýagtylygyň tolkun uzynlygynyň dördünji derejesine ters proporsionallygydyr:

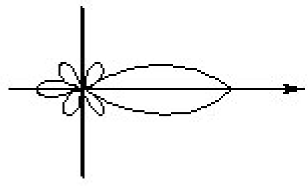
$$I \sim \frac{1}{\lambda^4} \qquad (7.59)$$

Bu aňlatma ýagtylygyň pytradylmasy üçin Releýiň kanuny diýilýär.

Bu kanunyň esasynda asmanyň reňkiniň mawy bolşy, Aýyň, Günüň gorizonta ýakyn ýerleşen pursatlarynda gyzylymtyl reňkde bolşy düşündirilýär.

Hakykatdan-da, asmanyň mawy reňki-atmosferada pytradylan gök we mawy şöhlelerdir. Atmosfera bolmasa asman absolýut gara bolup görnerdi. Aý, Gün we ýyldyzlar gorizonta golaý ýerleşende, şöhleler atmosferanyň dykyz ýerinden geçýär we güýçli pytradylma zerarly ýagtylygyň düzüminde gök, mawy şöhleler azalýar, şonuň üçin geçen ýagtylyk gyzlymtyl bolýar.

Nazary taýdan we tejribeleriň esasynda geçirilen derňewler bu hadysanyň atmosferada ýagtylygyň molekulýar pytradylmasy zerarly ýüze çykýandygyny subut etdi. Ýagtylygyň molekulýar pytradylma nazaryýetine görä bu hadysa molekulalaryň ýylylyk hereketi sebäpli atmosferanyň dykyzlygynyň fluktuasiýasy bilen baglanyşyklydyr. Şeýlelikde atmosferanyň dürli belentliklerinde ýagtylygyň döwülme görkezijisi dürli bolup, olarda şöhläniň ugry üýtgeýär, ýagny ýagtylyk pytradylýar. Temperaturanyň ýokarlanmagy fluktuasiýasyny artdyrýar, bu bolsa ýagtylygyň pytradylmasyny güýçlendirýär.



7.22-nji çyzgy

Bulançak maddadaky bölejikleriň ölçegleri (d) ulaldygyça, Tindalyň we Releýiň kanunlary bolup başlaýar. $d > \lambda$ bolanda I_{φ}-nyň φ burça baglylygy çylşyrymly görnüşe eýe bolýar, onda-da ýagtylygyň öňe pytradylmasy yza pytradylmasyna garanda güýçlenýär (7.22-nji çyzgy).

Pytradylan ýagtylygyň depgini tolkun uzynlyga az bagly bolýar. Bu hadysa (Mi nemes fizigi Gustaw Adolfyň hormatyna) Miniň effekti diýilýär. $\varphi = \frac{\pi}{2}$ burça pytradyran ýagtylyk kem-käs polýarlanýar. Maddadaky bölejikleriň ölçegleri ($d >> \lambda$) ýagtylygyň tolkun uzynlygyndan has uly bolsa pytradylan ýagtylygyň spektral düzümi madda düşýän ýagtylygyňka deň bolýar. Buludyň, dumanyň reňkiniň ak bolmagy Miniň effektiniň esasynda düşündirilýär.

2. Ýagtylygyň utgaşykly pytradylmasy

Bulançak gurşawda ýagtylyk pytradylanda pytradylan ýagtylygyň ýygylygy düşýän ýagtylygyňka deň bolýar. Beýle pytradylma Releý pytradylmasy diýilýär. Şpektriň görünýän we ultramelewşe çäklerinde ýygylygyň üýtgemesi bilen bolýan pytradylma hem duş gelinýär. Muňa utgaşykly pytradylma diýilýär.

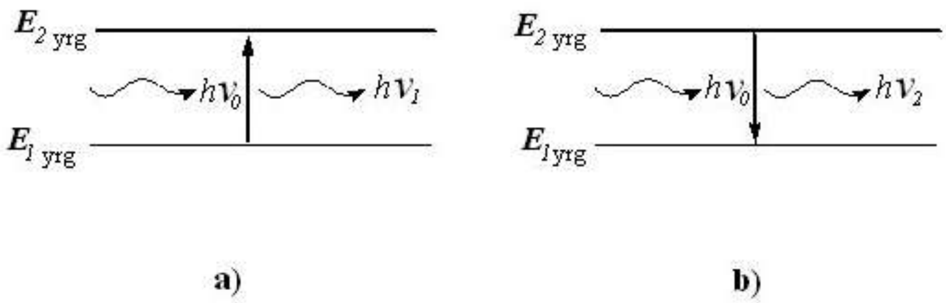
Bu hadysa 1928-nji ýylda rus fizikleri Mandelştam we Landsberg hem-de olara baglanyşyksyzlykda hindistanly fizik Raman tarapyndan açyldy.

Eger madda ν_0 ýygylykly monohromatik ýagtylyk düşse, onda pytradylan ýagtylykda ν_0 ýygylykdan başga-da gowşak depginli $\nu_1 = \nu_0 - \nu$ we $\nu_2 = \nu_0 - \nu$ ýygylykly şöhleler peýda bolýar. Bu hadysa ýagtylygyň kwant nazaryýetiniň esasynda düşündirilýär. Belli bolşy ýaly, islendik maddanyň molekulalary ýylylyk yrgyldyly hereketde birnäçe hususy ýygylykly yrgyldylara we şunyň bilen baglanyşykly energiýa derejelere eýe bolýar. Eger madda ýagtylyk düşürilse, onda ýagtylyk fotonlar bilen maddanyň molekulalary kesgitli şertde özara täsire girýärler.

Goý, E_{1yrg} energiýa derejede bolan maddanyň molekulasy ν_0 ýygylykly foton (kwanty) bilen özara täsirleşýän bolsun. Täsirleşmede molekulanyň energetik derejesini saklamagy mümkin (maýyşgak çaknyşma). Bu ýagdaýda pytradylan fotonyň energiýasy $h\nu_0$ we ýygylygy ν_0 üýtgemeýär.

Eger-de täsirleşmede molekula E_{2yrg} energetik derejä ($E_{2yrg} > E_{1yrg}$) geçse, onda molekula täsirleşýän fotonyny

$$\Delta E = E_{2yrg} - E_{1yrg} = h\nu_0$$



7.23-nji çyzgy

şertde özüne siňdirip, onuň ornuna kiçi ýygylykly we $h\nu_1 = h\nu_0 - \Delta E$ energiýaly fotony şöhlelendirýär (7.23-nji ***a*** çyzgy*).*

Netijede, pytradylan ýagtylykda

$$\nu_1 = \nu_0 - \frac{\Delta E}{h}$$

ýygylyk ýüze çykýar. Spektrde ν_1 ýygylykly ýagtylygyň çyzygy ν_0 ýygylykly ýagtylykdan kiçi ýygylykly bolup, gyzyl tarapda ýerleşýär. Şonuň üçin oňa “gyzyl” hemra diýilýär.

Eger foton bilen täsirleşmede molekula ýokary energetik derejeden aşaky energetik derejä geçse, onda molekula bu fotony siňdirip

$$h\nu_2 = h\nu_0 + \Delta E,$$

$$\nu_2 = \nu_0 + \frac{\Delta E}{h}$$

ýygylykly fotony şöhlelendirýär. (7.23-nji b çyzgy). Şeýlelikde spektrler ν_2 ýygylyk “melewşe” hemra ýüze çykýar. “Melewşe” hemranyň depgini “gyzyl” hemranyňkydan gowşakdyr.

Sekizinji bap

Optikada relýatiwistik hadysalar

8.1. Ýagtylygyň ýaýrama tizligi we ony ölçemek (kesgitlemek) boýunça nusgawy tejribeler

Ýagtylygyň elektromagnit nazaryýetine görä, onuň maddada ýaýrama tizligi

$$\vartheta = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \cdot \mu}}$$

aňlatma arkaly kesgitlenilýär.

Bu ýerde ε we μ degişlilikde maddanyň dielektrik we magnit syzyjylygy, c - ýagtylygyň wakuumda ýaýrama tizligi.

Maddanyň absolýut döwme görkezijisi

$$n = \sqrt{\varepsilon \cdot \mu}$$

aňlatma arkaly kesgitlenilýär.

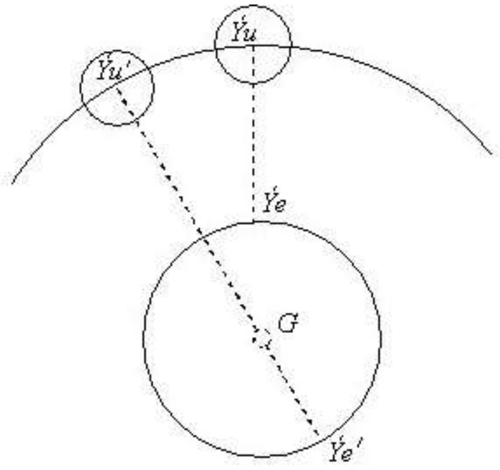
Ýagtylygyň wakuumda şeýle-de maddalarda ýaýrama tizligi örän uludyr. Şoňa görä, ilki diňe astronomiýanyň usullary peýdalanylyp, kanagatlanarly netijeler alnypdyr. Olaryň käbirine seredip geçmek ýerliklidir.

1. Rýomeriň usuly

Daniýaly astronom Olaf Rýomer 1676-njy ýylda Ýupiter planetasynyň *Io* diýlip atlandyrylýan tebigy hemrasyna gözegçilik edip, onuň ýylyň dowamynda tutulma periodynyň üýtgeýändigini ýüze çykarýar.

Bu ýagdaýyň sebäbini Rýomer, ýagtylygyň ýaýrama tizliginiň çäklidigi bilen baglanyşdyrýar we ony ýagtylygyň ýaýrama tizligini ölçemek üçin peýdalanýar.

Ýupiteriň *Io* hemrasynyň aýlanma periody $T_0 = 42{,}47$ sagada deň. Emma Ýerden gözegçilik edilende onuň yzygiderli iki gezek tutulmasynyň T_i wagty, Ýeriň orbita boýunça hereketiniň netijesinde üýtgeýär. Ýer bilen Ýupiteriň aralygy iň ýakyn bolanda (8.1-nji çyzgyda *Ýe* we *Ýu*) $T_i = T_0$ bolýar. Ýer Ýupiterden uzaklaşdygyça ilki T_i artýar we soňra kemelýär hem-de Ýer bilen Ýupiteriň aralygy has uzak bolanda (çyzgyda *Ýe* we *Ýu*) ýene-de $T_i = T_0$ bolýar. T_0 wagtda Ýer Ýupiterden käbir aralyga uzaklaşýar, bu aralygy geçmek üçin ýagtylyga $T_i - T_0$ goşmaça wagt gerek bolýar. $T_i - T_0$ wagt tapawudynyň iň uly bahasy 15 sekuntdan geçmeýär, ýöne Ýer *Ýe* - den *Ýe′*-ýagdaýa geçýänçe (ýarym ýylda) I*o-nyň* yzygiderli iki gezek tutulmasynyň arasyndaky wagtlaryň tapawudynyň jemi: $\Delta T = \sum_{i=1}^{N}(T_i - T_0)$ bolýar.



8.1-nji çyzgy

Şeýlelikde, Ýupiterden Ýere çenli aralygyň ulalmasy Ýeriň Günüň daşyndan aýlanýan orbitasynyň diametrine ($D = 2{,}99 \cdot 10^{11}$ m) deň bolmagyna görä, ýagtylygyň ýaýrama tizligi

$$c = \frac{D}{\Delta T}$$

aňlatma arkaly kesgitlenip bilner.

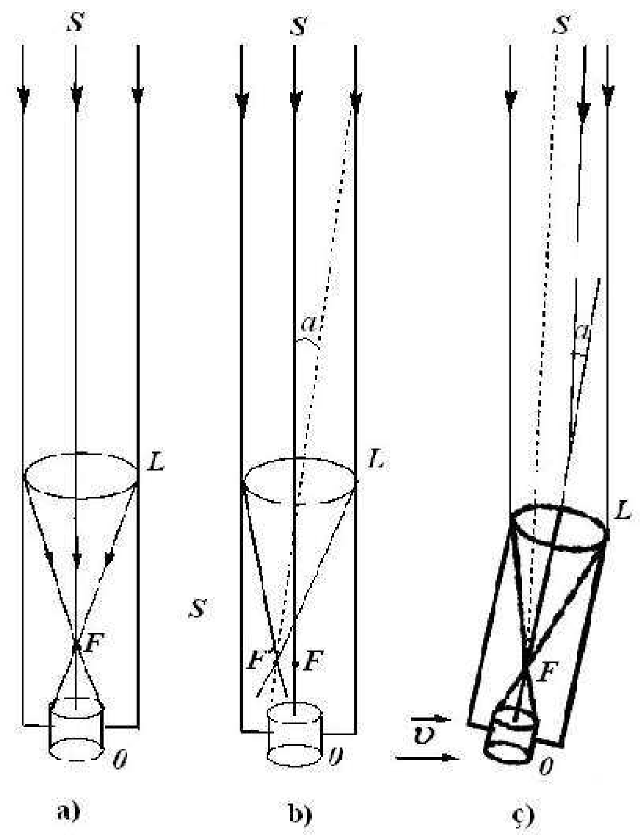
Rýomeriň döwründe ΔT wagty ýokary takyklykda kesgitlemek mümkin bolmanlygy zerarly, ol ýagtylygyň wakuumda ýaýrama tizligi üçin $c = 2{,}15 \cdot 10^8 \ \frac{m}{s}$ san bahany ulanypdyr. Häzirki wagtda $\Delta T = 16{,}5$ minut we ýagtylygyň wakuumda ýaýrama tizligi üçin

$$c = 3 \cdot 10^8 \ \frac{m}{s} \qquad \text{alynýar.}$$

2. Bradleýiň usuly

Iňlis astronomy Bradleý ýyldyzlara gözegçilik edip, olaryň ýagdaýynyň ýylyň dowamynda üýtgeýändigini ýüze çykarýar (1718-nji ýyl). Ýylyň dowamynda ähli ýyldyzlar asman giňişliginde elliptik traýektoriýa boýunça hereket edýärler. Ekliptikanyň tekizliginde (Ýeriň orbital tekizliginde) ýerleşen ýyldyzlar göni çyzyk boýunça yrgyldaýarlar, zenitde ýerleşen ýyldyzlar bolsa töwerek boýunça hereket edýärler.

Ýerden gözegçilik edilende ähli ýyldyzlar üçin ellipsiň uly okunyň (töweregiň diametriniň) burç ölçegi özara deňdir we $40{,}9''$ ululyga eýedir. Bu hadysa ýagtylygyň ýyllyk aberrasiýasy diýilýär. Ol ýagtylygyň ýaýrama tizliginiň çäklidigi sebäpli ýüze çykýar. Bradleý bu hadysany ýagtylygyň ýaýrama tizligini kesgitlemek üçin peýdalanýar.



8.2-nji çyzgy

Goý, ýyldyza teleskop arkaly gözegçilik edilýän bolsun (8.2-nji a,b,ç uratlar). S ýyldyzdan şöhlelenýän ýagtylygyň parallel şöhle dessesi teleskopa düşüp, onuň fokal tekizliginde (F nokatda) ýyldyzyň şekilini emele getirýär. Bu şekil okulýarda görülýär.

Eger Ýer hereketlenmeýän bolsa, onda şekil teleskopyň okunda F nokatda emele gelmeli 8.2-nji **a** çyzgy. Hakykatda Ýer Günüň daşyndan ϑ tizlik bilen aýlanýandygyna görä ýagtylyk teleskopyň L obýektiwinden fokal tekizligine ýetýänçe teleskop Ýeriň hereketiniň ugruna käbir aralyga süýşýär, netijede ýyldyzyň şekili F' nokatda emele gelýär 8.2-nji **b** çyzgy Ýyldyzyň şekiliniň teleskopyň okunyň üstünde alynmagy üçin teleskopy hereketiň ugruna käbir α burça gyşartmaly 8.2-nji **ç** çyzgy Çyzgydan görnüşi ýaly

$$tg\alpha = \frac{F \cdot F'}{f}. \qquad (8.1)$$

Bu ýerde f - teleskopyň L obýektiwiniň fokus aralygy. Ýer orbitanyň garşylykly tarapyna geçende onuň hereketiniň tizliginiň ugry üýtgeýär ýagny, ϑ tizlik $(-\vartheta)$ bilen α burç $(-\alpha)$ bilen çalşylýar. Netijede, ýyldyzyň şekiliniň yrgyldysynyň burç ölçegi $2\alpha = 40{,}9''$ bolýar. Ýagtylyk teleskopyň L obýektiwinden F nokada gelýänçä ýyldyzyň şekili FF' aralyga süýşýär. Onda

$$\Delta t = \frac{f}{c} \qquad \text{we} \qquad \Delta t = \frac{FF'}{\vartheta}.$$

Netijede ýagtylygyň ýaýrama tizligi üçin

$$c = \frac{\vartheta}{tg\alpha} \qquad (8.2)$$

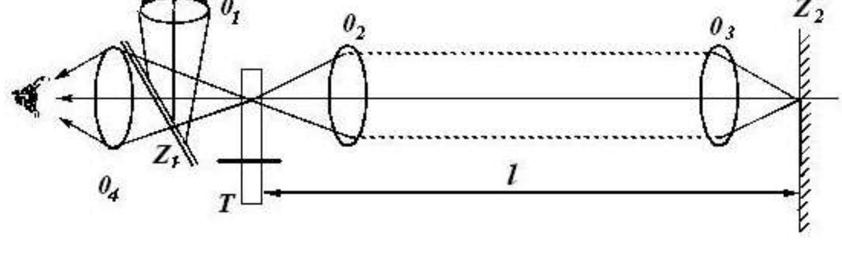
aňlatmany alarys.

Bradleýiň hasaplamalaryna görä ýagtylygyň wakuumda ýaýrama tizligi $c = 3{,}03 \cdot 10^8 \ \frac{m}{s}$ bolýar. Bu usul boýunça has takyk ölçemeler $c = 299640 \ \frac{m}{s}$ netijäni berýär.

3. Fizonyň usuly (1849-njy ýyl)

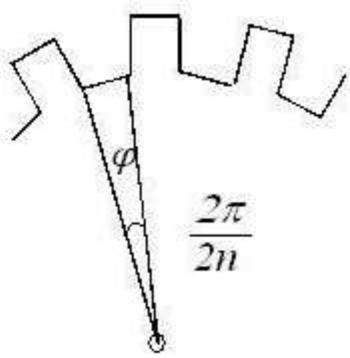
Fransuz fizigi Fizo ýagtylygyň ýaýrama tizligini 8.3-nji çyzgyda şekillendirilen gurnamanyň kömeginde ilkinji bolup Ýerde kesgitledi.

S çeşmeden ýaýraýan ýagtylyk şöhlesi O_1 linza we z_1 ýarymdury aýna arkaly çalt aýlanýan dişli tigire (T) ugrukdyrylýar. Netijede üznükli (modulirlenen)



8.3-nji çyzgy

ýagtylyk akymy O_2 we O_3 linzalardan geçip, Z_2 aýna düşýär. Z_2 aýnadan serpigen şöhle O_3 we O_2 linzalardan geçip, T dişli tigre düşýär. Eger dişli tigirden sag ugra geçen şöhle Z_2 aýnadan serpigip çep ugra gaýdyp dişli tigire gelýänçe tigiriň aýlanmagy bilen kesigiň ornuna diş geçse, onda O_4 linza arkaly seredilende garaňky görüş meýdany görünýär. Tersine, eger-de tigirden sag ugra geçen şöhle Z_2 aýnadan serpigip ýene-de T tigre gelýänçe ýagtylygyň geçen kesiginiň ornuna başga kesik gelip ýetişse, onda O_4-den seredilende ýagty görüş meýdany görünýär.



8.4-nji çyzgy

Dişli tigriň aýlaw ýygylygyny yzygiderli artdyrmak bilen görüş meýdanynyň ilkinji garaňkyramasyny wagt aralygyny kesgitlemek mümkin:

$$\Delta t = \frac{2\ell}{c}.$$

Bu wagt aralygynda dişli tigir

$$\varphi = \frac{2\pi}{2N} \qquad \text{burça aýlanýar.}$$

Bu ýerde N tigriň dişleriniň sany. Onda tigriň burç tizligi

$$\omega = \frac{\varphi}{\Delta t} = \frac{\pi c}{2N\ell} \qquad (8.4)$$

aňlatma arkaly kesgitlenip bilner.

Bu ýerden ýagtylygyň ýaýrama tizligi üçin aňlatmany alarys:

$$c = \frac{2N\ell\omega}{\pi}.$$

Bu aňlatmany $\omega = 2\pi\nu$ bahany ornuna goýup

$$c = 4N\ell\nu \qquad (8.5)$$

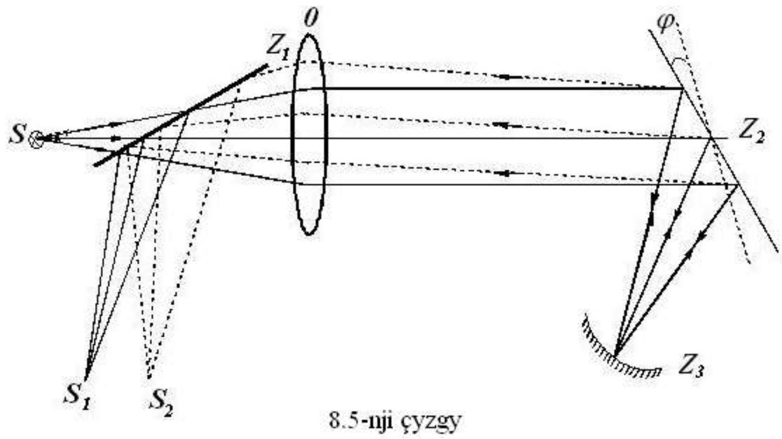
görnüşde ýazyp bileris.

Dişli tigriň aýlaw ýygylygy 2 esse artdyrylsa, görüş meýdany ýagtylanýar, 3 esse artdyrylsa, ýene-de garaňkyraýar we ş.m. Fizonyň tejribesinde T dişli tigirden

z_2 aýna çenli aralyk $\ell = 8{,}63$ km, tigriň dişleriniň sany N = 720 bolupdyr. Şeýlelikde, ol ýagtylygyň ýaýrama tizligi üçin $c = 315000\,\frac{km}{s}$ ululygy alypdyr. 1902-nji ýylda tejribäni $\ell = 46\,km$ ululykda geçirip, Perrožen ýagtylygyň ýaýrama tizligi üçin $c = \left(299870 \pm 50\right)\frac{km}{s}$ bahany alypdyr.

4. Fukonyň usuly (1868 ý)

Fransuz fizigi Fuko ikinji bolup ýagtylygyň ýaýrama tizligini tejribehana şertinde kesgitledi. Fukonyň usulynda ýagtylygyň ýaýrama tizligini döwme görkezijisi birden uly (n>1) bolan maddalarda hem ölçemek mümkin. Fukonyň tejribesiniň gurnamasynyň görnüşi 8.5-nji çyzgyda şekillendirilen.



8.5-nji çyzgy

S ýagtylyk çeşmesinden ýaýraýan şöhleler Z_1 ýarymdury aýnadan we O linzadan geçip aýlanýan Z_2 aýna düşýär. Ondan serpigip, Z_3 aýna düşýär. Z_3 aýnadan serpigip, ilkibaşky ugry boýunça ýene-de Z_2 aýna düşýär. Ýagtylyk Z_2 aýnadan Z_3 aýna çenli ýoly we tersine geçýänçe zerur bolan wagtyň dowamynda Z_2 aýna käbir φ burça öwrülýär. Şeýlelikde, ondan serpigen şöhle garşylykly ýaýraýan şöhlä görä 2φ burça öwrülýär. Eger Z_2 aýna hereketsiz bolsa ýa-da haýal aýlanýan bolsa, onda serpigen şöhle düşýän ugry boýunça yzyna dolanýar we Z_1 ýarymdury aýnadan serpigip, çeşmäniň S_1 şekilini emele getirýär. Eger-de Z_2 aýna çalt aýlansa, onda çeşmäniň S_1 şekili S_2 nokada süýşýär. Eger Z_2 aýnadan Z_3 aýna çenli aralyk L we S_1 nokatdan S_2 nokada çenli aralyk hem ΔS bolsa we O linzada S_1 we S_2 çenli aralyk ℓ diýsek, onda

$$\Delta S = 2\varphi\ell \qquad (8.6)$$

aňlatmany ýazyp bileris.

Eger Z_2 aýnanyň burç tizligi ω bolsa, onda ýagtylygyň $2L$ ýoly geçýänçe sarp edilen

$$\Delta t = \frac{2L}{c} \qquad (8.7)$$

wagtda Z_2 aýna (φ) burça öwrülýär. Onda

$$\varphi = \omega \cdot \Delta t = \omega \frac{2L}{c} \; . \qquad (8.8)$$

Soňky aňlatmalardan ýagtylygyň ýaýrama tizligi üçin aşakdaky aňlatmany alarys :

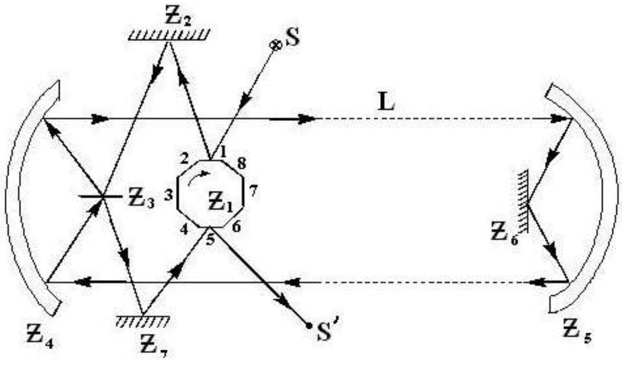
$$c = \frac{4\omega L\ell}{\Delta S} = \frac{8\pi\nu L\ell}{\Delta S} . \qquad (8.9)$$

Fukonyň tejribesinde $L = 4m,\ \nu = 800\frac{ayl}{S}$ bolanda ýagtylygyň ýaýrama tizligi $c = (298000 \pm 500)\ \frac{km}{s}$ bolýar. Bu tejribe 1891-nji ýylda täzeden geçirilende $c = (299810 \pm 50)\ \frac{km}{s}$ netije alnypdyr.

5. Maýkelsonyň usuly

Maýkelsonyň tejribesiniň gurnamasy 8.6-njy çyzgyda şekillendirilen. S ýagtylyk çeşmesinden ýaýraýan şöhle aýlanýan 8 granly Z_1 aýnanyň granlarynyň birine (1) düşýär.

Şöhle 8 granly aýnanyň 1-nji granyndan serpigip, Z_2 we Z_3 aýnalara düşýär. Z_3 aýnadan serpikme sebäpli şöhle Z_4 sferik aýna düşýär. Z_4 sferik aýnadan serpigen şöhle *L* ýoly geçip, Z_5 sferik aýna düşýär. Z_5 sferik aýnadan serpigen şöhle Z_6 aýnadan serpigip ýene-de Z_5 sferik aýna düşýär. Soňra ol şöhle Z_5 siferik aýnadan serpigip, *L* ýol geçip, Z_4 sferik aýna düşýär. Soňra şöhle yzygider Z_4 , Z_3 , Z_7 aýnalardan serpigip, Z_1 8 granly aýnanyň bir granyna (5-nji granyna) düşýär. Ondan hem serpigip S' nokatda *S* ýagtylyk şöhlesiniň şekilini emele getirýär. Z_1 sekiz granly aýnanyň 1-nji granyndan serpigen şöhle *2L* ýoly geçip, 5-nji granyna düşýänçe 5-nji granyň ýerine, 6-njy gran geler ýaly, aýlaw ýygylygy (ω) saýlap almak mümkin. Bu ýagdaýda *S* ýagtylyk çeşmesiniň S' şekiliniň orny üýtgemeýär. Onda $\Delta t = \dfrac{2L}{c}$ wagtyň dowamynda Z_1 sekiz granly aýna



8.6-njy çyzgy

$$\varphi = \frac{2\pi}{8}$$

burça öwrüler.

Bu aňlatmalardan ýagtylygyň ýaýrama tizligi üçin

$$c = \frac{8\omega L}{\pi} = 16\nu L \qquad (7.10)$$

aňlatmany alarys.

Maýkelsonyň tejribesinde $L = 35{,}4$ km bolup ýagtylygyň ýaýrama tizliginiň

$$c = (299796 \pm 4)\frac{km}{s} \text{ deňligi alynýar.}$$

8.2. Göräligiň ýörite nazaryýetiniň tejribe esaslary. Hereketli gurşawlarda ýagtylygyň ýaýraýşy boýunça tejribeler

Ýagtylygyň tolkun tebigaty esaslandyrylan döwründen başlap, ýagtylyk – älemi dolduryp duran aýratyn gurşawda (maddada) ýaýraýar diýen düşünje mäkäm ornaşdy. Bu gurşawy (maddany) efir diýip atlandyrdylar.

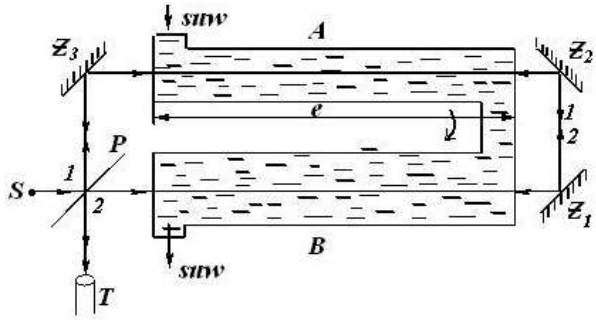
Ýagtylygyň elektromagnit nazaryýeti döredilenden soň efir-elektromagnit tolkunlarynyň, hususy halda, ýagtylygyň ýaýraýan gurşawydyr diýip kabul edildi.

Dürli maddalarda ýagtylygyň ýaýraýşy öwrenilende: maddanyň hereketlenmegi bu maddada ýaýraýan ýagtylygyň tizligine täsir edermi diýen soragy ýüze çykardy. Bu soraga jogap bermek ýagtylygyň ýaýraýan maddasynyň hereketiniň efire täsirini bilmäge syrykdyrylýar.

Bu barada dürli garaýyşlar bolup: Frenel hereketlenýän jisim efiri kem-käsleýin äkidýär diýip hasap edýär; G. Gersiň pikiriçe, hereketlenýän jisim efiri doly äkidýär; Lorens elektron nazaryýete esaslanyp, efir absolýut hereketsizdir diýen netijä gelýär. Bu garaýyşlaryň haýsysynyň hakykatdygyny diňe tejribe arkaly tassyklamak mümkindi. Şu babatda ilkinji tejribe 1851-nji ýylda Fizo tarapyndan geçirildi.

1. Fizonyň tejribesi

Bu tejribäniň gurnamasy 8.7-nji çyzgyda şekillendirilen. S ýagtylyk çeşmesinden ýaýraýan şöhle ýarymdury P aýna gatlagynyň kömegi bilen ikä bölünip, z_1 we z_3 aýnalara tarap ugrukdyrylýar. Şöhle 1 yzygiderlikde z_3, z_2, z_1 aýnalardan we P ýarymdury aýna gatlagyndan serpigip T görüş turbasyna düşýär. Şöhle 2 hem z_1, z_2, z_3 aýnalardan serpigip, P ýarymdury aýna gatlagyndan geçip, T görüş turbasyna düşýär. Bu ýerde şöhle 1 we şöhle 2 goşulyp interferensiýany ýüze çykarýarlar. Şöhleler A we B turbalaryň içinden geçýär. Turbalardan görkezilen ugur boýunça suw akdyrylýar. Çyzgydan görnüşi ýaly şöhle 1 akymyň ugruna, şöhle 2 akymy garşysyna ýaýraýar. Tejribede suwuň hereket etmeýän we akdyrylýan ýagdaýlarynda ýüze çykýan interferensiýa syn edilip, netijede, suwuň akymynyň interferensiýa zolaklaryny süýşürýändigi ýüze çykarlan. Bu bolsa ýagtylygyň ýaýraýyş tizligine suwuň akymynyň täsir edýändigini aňladýar.



8.7-nji çyzgy

Hereketlenýän maddalaryň efiri kem-käs äkidýänligi baradaky Freneliň çaklamasy Fizonyň tejribesiniň esasynda kanagatlanarly derejede düşündirilýär. Şonuň üçin hasaplamany şu çaklamanyň esasynda geçirmek ýerliklidir. Eger suwuň ýagtylygy döwmek görkezijisini n-e deň diýip kabul etsek, onda hereketsiz suwda ýagtylygyň ýaýrama tizligi

$$C_1 = \frac{C}{n} \qquad \text{bolar.}$$

Freneliň pikiri boýunça maddanyň ýagtylygy döwme görkezijisi bilen onuň içindäki efiriň dykyzlygy

$$n = \frac{c}{C_1} = \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho}} \qquad (8.11)$$

aňlatma görnüşinde baglanyşyklydyr.

Bu ýerde ρ we ρ_1 degişlilikde efiriň wakuumdaky we maddadaky dykyzlygy. Efiriň maddadaky dykyzlygy wakuumdakydan ($\rho_1 > \rho$) uludyr, ýöne efiriň maýyşgaklygy üýtgemeýär. Eger madda ϑ tizlik bilen hereketlenýän bolsa, onda onuň içinde efir ϑ_1 tizlik ($\vartheta_1 < \vartheta$) bilen hereket eder. Efiriň akymy üçin üznüksizlik şerti

$$\rho_1 \vartheta_1 = \rho \vartheta . \qquad (8.12)$$

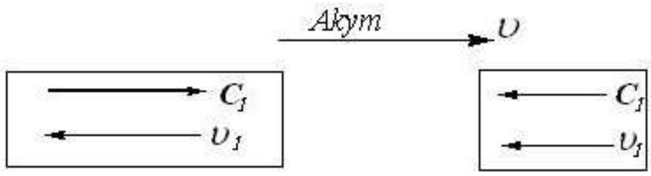
$\rho\vartheta$ kese-kesiginiň meýdany 1 sm^2 bolan silindr görnüşli maddanyň içine girýän efiriň massasy.

$\rho_1\vartheta_1$ - silindriň içindäki efiriň massasy.

(8.11) we (8.17) aňlatmalardan

$$\vartheta_1 = \vartheta\frac{\rho}{\rho_1} = \frac{\vartheta}{n^2}$$

aňlatmany alarys. Diýmek efir suwuň akymynyň ugruna, hereketlenýän suwda ϑ_1 tizlik bilen hereketlener. Şeýlelikde, ýagtylyk suwuň akymynyň ugruna ýaýraýan bolsa, onuň suwa görä tizligi $C_1 - \vartheta_1$, akymyň garşysyna ýaýraýan bolsa, $C_1 + \vartheta_1$ bolar (8.8-nji çyzgy). Suwuň turba görä tizligi ϑ bolanlygy üçin akymyň ugruna ýaýraýan ýagtylygyň turba görä tizligi

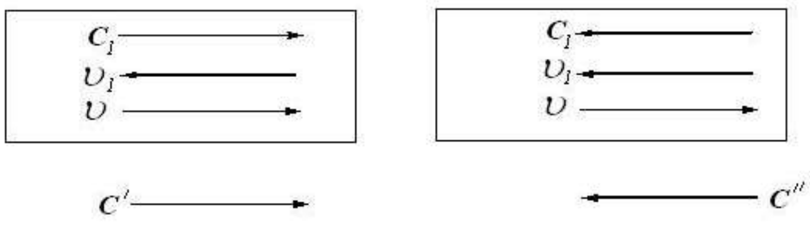


8.8-nji çyzgy

$$c' = c_1 - \vartheta_1 + \vartheta = c_1 + \vartheta\left(1 - \frac{1}{n^2}\right). \qquad (8.13)$$

bolar, akymyň garşysyna ýaýraýan ýagtylygyň turba görä tizligi

$$c'' = C_1 + \vartheta_1 - \vartheta = C_1 - \vartheta\left(1 - \frac{1}{n^2}\right). \qquad (8.14)$$



8.9-njy çyzgy

deň bolar. (8.9-njy çyzgy).

(8.13) we (8.14) aňlatmalardan görnüşi ýaly, efir hereketlenýän madda tarapyndan kem-käs äkidilýän ýaly bolýar:

$$b = 1 - \frac{1}{n^2}. \qquad (8.15)$$

Bu ululyga efiriň äkidilme koeffisiýenti diýilýär. Onda ℓ uzynlykly turbalardan akymyň ugruna we garşysyna ýaýraýan ýagtylyk şöhleleriniň 2ℓ ýoly geçmek wagtlarynyň tapawudy

$$\Delta t = \frac{2\ell}{c'} - \frac{2\ell}{c''} = \frac{2\ell}{C_1 - \vartheta b} - \frac{2\ell}{G + \vartheta b} = \frac{4\ell\vartheta b}{C_1 - \vartheta^2 b^2} \approx \frac{4\ell\vartheta b}{C_1}$$

bolar.

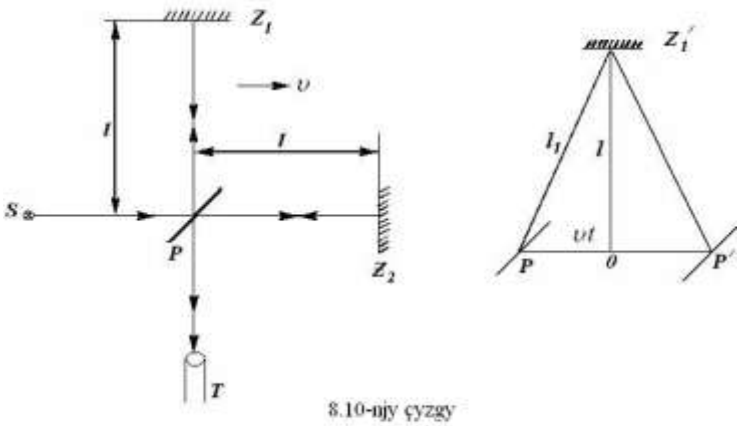
Onda şöhleleriň geçen ýollarynyň tapawudy :

$$\Delta S = \mathrm{c} \cdot \Delta t = \frac{4l\vartheta b}{C_1^2} \cdot c = 4l\frac{\vartheta}{c}bn^2$$

bolar.

Fizonyň tejribesinde $\ell = 1{,}5$ m, $\vartheta = 7\frac{m}{s}$ bolupdyr we ΔS üçin alnan netijä (8.16) doly gabat gelipdir.

Lorens, äkidilme koeffisiýentiniň tebigatyny ýaýraýan ýagtylygyň elektrik meýdanynyň maddada elektrik dipollaryny döredýänligi arkaly düşündirýär. Onda (8.15) we (8.16) aňlatmalardaky b koeffisiýent suwda ϑ tizlik bilen süýşýän dipollardyr. Dipollaryň süýşmegi efiriň kem-käs äkidilmegi ýaly effekt döredýär. Diýmek, eger efir bar bolsa, onda ol absolýut hereketsiz bolmalydyr. Bu bolsa efire absolýut koordinat ulgamy hökmünde seretmäge esas döredýär. Şonuň esasynda ýagtylyk şöhlesinden peýdalanyp, hereketsiz efire görä Ýeriň absolýut tizligini kesgitlemek mümkin. Şeýle tejribe ilkinji gezek 1881-nji ýylda Maýkelson tarapyndan geçirildi.



8.10-njy çyzgy

2. Maýkelsonyň tejribesi

Maýkelson özüniň döreden interferometriniň kömegi bilen özara perpendikulýar iki ugur boýunça ýagtylygyň ýaýrama tizligini ölçemek arkaly, efirde Ýeriň absolýut hereketini bilmeklige synanyşdy. Maýkelsonyň tejribesiniň gurnamasy 8.10-njy çyzgyda şekillendirilen.

Ýer bilen birlikde ϑ tizlikde hereketlenýän interferometre *S* ýagtylyk çeşmesinden şöhle düşýär. Şöhle ýarymdury *P* gatlakda ikä bölünip z_1 we z_2 aýnalara ugrukýar we olardan serpigip, *T* görüş turbasyna düşüp interferensiýany ýüze çykarýarlar.

Ýagtylyk şöhlesiniň $Pz_2'P$ we $Pz_1'P'$ ýollary geçmek wagtyny kesgitläliň. Goý, dynçlykdaky efire görä ýagtylygyň ýaýrama tizligi ***c*** bolsun. Onda z_2 aýna tarap ýaýraýan ýagtylygyň göräli tizligi $c-\vartheta$ bolar. Onda şöhläniň Pz_2P aralygy geçmek üçin wagty

$$t_2 = \frac{\ell}{c-\vartheta} + \frac{\ell}{c+\vartheta} = \frac{2\ell}{c} \cdot \frac{1}{1-\beta^2} \qquad (8.17)$$

ýa-da
$$t_2 = \frac{2\ell}{c \cdot \eta^2} \qquad (8.18)$$

bolar. Bu ýerde

$$\eta^2 = 1 - \frac{\vartheta^2}{c^2} = 1 - \beta^2 .$$

$PZ_1'P'$ ýol boýunça ýaýraýan şöhle üçin aşakdaky aňlatmany ýazyp bileris:

$$\ell^2 = c^2 t^2 - \vartheta^2 t^2 .$$

Bu ýerde *t* şöhläniň PZ_1' ýa-da $Z_1'P'$ aralygy geçýän wagty. Onda

$$t_1 = 2t = \frac{2\ell}{\sqrt{c^2-\vartheta^2}} = \frac{2\ell}{c} \cdot \frac{1}{\eta} . \qquad (8.19)$$

Bu ýerde t_1 şöhläniň $Pz_1'P'$ ýoly geçýän wagty.

Onda

$$\Delta t = t_1 - t_2 = \frac{2\ell}{c}\left(\frac{1}{\eta} - \frac{1}{\eta^2}\right). \qquad (8.20)$$

Eger interferometri çyzgynyň tekizliginde (dik okuň daşynda) 90° burça öwürseň, onda şöhleleriň orny çalyşýar: yza galýan şöhle öňe geçýär. Onda

$$\Delta t' = t_2 - t_1 = \frac{2\ell}{c}\left(\frac{1}{\eta^2} - \frac{1}{\eta}\right). \qquad (8.21)$$

(8.20) we (8.21) aňlatmalardan wagtlaryň tapawudy üçin aşakdaky aňlatmany alarys :

$$\delta t = \Delta t' - \Delta t = \frac{4\ell}{c}\left(\frac{1}{\eta^2} - \frac{1}{\eta}\right). \qquad (8.22)$$

Eger η-ny β^2-yň derejeleri boýunça hatara dargadyp we β^2 dargan hatarynyň birinji agzasy bilen çäklensek

$$\left(\frac{1}{\eta^2} - \frac{1}{\eta}\right) = \left(1-\beta^2\right)^{-1} - \left(1-\beta^2\right)^{-\frac{1}{2}} = 1 + \beta^2 - \left(1 + \frac{1}{2}\beta^2\right) = \frac{1}{2}\beta^2 = \frac{1}{2}\frac{\vartheta^2}{c^2}$$

aňlatmany alarys.

Onda

$$\delta t = \frac{2\ell}{c}\cdot\left(\frac{\vartheta}{c}\right)^2.$$

Bu wagtda geçilýän ýol $\delta S = c \cdot \delta t = 2\ell \cdot \left(\frac{\vartheta}{c}\right)^2$ bolar.

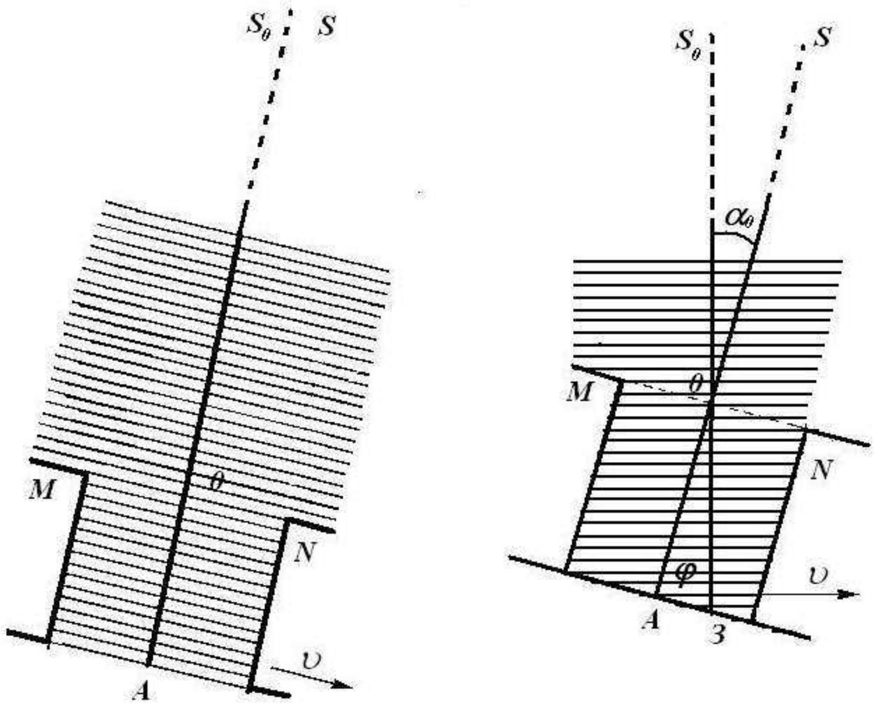
Şeýlelikde, interferensiýa zolaklaryň süýşmesi

$$N = \frac{\delta S}{\lambda} = \frac{2\ell}{\lambda}\left(\frac{\vartheta}{c}\right)^2 \qquad \text{ýaly kesgitlenilýär.}$$

Tejribede $\ell = 12$ m bolup Ýeriň orbita boýunça tizligi $\vartheta = 30\,\frac{km}{s}$ we $N = 0{,}4$ bolupdyr. Emma Maýkelson interferensiýa zolaklaryň hiç hili süýşmesini ýüze çykaryp bilmändir. Soňky has takyk geçirilen köp sanly tejribelerde hem interferensiýa zolaklaryň süýşmesi ýüze çykarylyp bilinmändir.

Maýkelsonyň tejribesiniň otrisatel netijesini irland fizikleri J. Fitsjerald we H. Lorens ýeňil düşündirýär. Bu alymlaryň teklip eden çaklamasyna görä, tizligiň ugry bilen hereketlenýän ähli jisimleriň çyzykly ölçegi $\sqrt{1-\beta^2}$ gatnaşykda gysgalmalydyr. Hakykatdan-da, interferometriň eginlerini şöhleleriň geçmek wagtlarynyň gatnaşygy şu ululyga deňdir. Hereketiň ugruna parallel bolan egniň $\sqrt{1-\beta^2}$ gatnaşykda gysgalmasy (8.18) aňlatma arkaly kesgitlenýän t_2 wagtyň hem şeýle azalmagyna getirer we $t_2 = t_1$ bolup (8.20) aňlatmadaky $\Delta t = 0$ bolar. Maýkelsonyň tejribesinde hem şeýle netije alynýar.ž

8.3. Ýagtylygyň aberrasiýasy



8.11-nji çyzgy

Hereketlenýän jisimleriň efire täsiri baradaky sorag, Bradleýiň tejribesinde seredilen, ýagtylygyň aberrasiýasyny düşündirmekde-de ýüze çykýar.

Bu ýagdaýda hadysa ýagtylygyň tolkun tebigaty esasynda seretmek amatly. 8.11-nji we 8.12-nji çyzgylarda teleskopyň ornuna nyşan gurnamasy ýerleşdirilip şekillendirilen Eger Ýer efiri özi bilen birlikde äkidýän bolsa, turbanyň içine giren ýagtylyk tolkunlary hereketlenýän efir bilen süýşer, netijede turba hereketsiz bolandaky ýyldyza tarap S_0 ugur, turba hereketde bolandaky S ugur bilen gabat geler. 8.11-nji a) çyzgyda şu ýagdaý şekillendirilen. Başgaça aýdanymyzda tolkun fronty turba MN ýagdaýda girip, turba bilen birlikde hereketlenip, onuň tizligine baglanyşyksyzlykda, turbanyň OA okunyň ugry boýunça ýaýraýar.

Eger-de efir hereketlenmeýär diýlip hasap edilse, onda ýagtylyk tolkunlary öňe süýşen turbadan yza galýar (8.11-nji b) çyzgy). Ýyldyzy turbanyň okunda saklamak üçin gerek bolan ýapgytlanma turbanyň $\vec{\vartheta}$ tizligine we φ öwrülme burçuna bagly. Onda aberrasiýa burçy

$$\alpha_0 = \frac{AB}{OA} = \frac{\vartheta}{c} sin\varphi \qquad \text{bolar.}$$

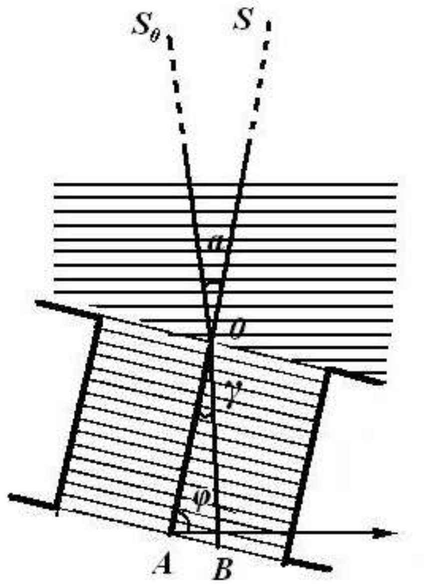
Eger $\varphi = 90^0$ bolsa $\alpha_0 = \frac{\vartheta}{c} = (20{,}45)''$ bolýar. Bradleýiň tejribesinde hem şeýle netije alynýar. Emma bu hakykata ters gelýär.

Goý turbanyň içi dury madda bilen (suw, aýna we ş.m.) doldurlan bolsun. Bilşimiz ýaly maddada ýagtylygyň ýaýrama tizligi

$$C_1 = \frac{c}{n}$$

ýaly kesgitlenilýär.

Turbanyň okunyň S ýyldyz tarapa ugry aberrasiýa burçy α bilen kesgitlenilýär. (8.11-nji çyzgy). Bu burçuň ululygy aşakdaky ýaly pikir ýöretme arkaly kesgitlenip bilner. Ýagtylyk şöhlesi maddanyň üstüne



8.12-nji çyzgy

α burç bilen düşüp, tekiz araçäginde döwlüp, maddanyň içine $\gamma = \frac{\alpha}{n}$ burç bilen girýär.

Efir dynçlykda bolan ýagdaýynda ýagtylyk tolkunlarynyň yza galmasy turbanyň okuny γ burça ýapgytlamagy talap edýär.

Bu burçuň ululygy :

$$\gamma = \frac{AB}{OA} = \frac{\vartheta}{G} sin\varphi = n\frac{\vartheta}{c} sin\varphi \approx n\alpha_0 \qquad (8.23)$$

aňlatma arkaly kesgitlenilýär. Bu ýerdäki

$\alpha_0 = \frac{\vartheta}{c} sin\varphi$ boş turba üçin kesgitlenen aberrasiýa burçy.

Onda $\alpha = n\gamma = n^2\alpha_0$ bolýar.

1871-nji ýylda Eri bu tejribäni geçirip

$$\alpha = \alpha_0$$

bolýandygyny ýüze çykardy. Bu ýagdaýy hem efiriň kem-käs äkidilmesiniň esasynda düşündirmek mümkin. Suwdan doldurlan turba ýagtylyk tolkunlaryny öz hereketiniň ugruna

$$\vartheta \cdot b = \vartheta\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$$

tizlik bilen äkidýär. Şeýlelikde, ýagtylyk tolkunlary turbada $C_1 = \frac{c}{n}$ tizlik bilen hereket edip $C_1 \cdot \tau$ ýoly geçýänçe, ýagtylyk tolkunlary äkidilme ýok mahalyndaky $\vartheta sin\varphi \cdot \tau$ ululyga yza galman,

$\left[\vartheta - \vartheta\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)\right] sin\varphi\tau = \frac{\vartheta sin\varphi}{n^2} \cdot \tau$ ululyga yza galýar. Onda

$$\gamma = \frac{\frac{\vartheta \sin\varphi \cdot \tau}{n^2}}{C_1\tau} = \frac{\vartheta \sin\varphi}{C_1 n^2}.$$

Bu ýerden aberrasiýa burçy

$$\alpha = n\gamma = \frac{\vartheta \sin\varphi}{C_1 n} = \frac{\vartheta \sin\alpha}{S} = \alpha_0.$$

Eriniň tejribesinde hem şeýle netije alynýar. Ýokarda seredip geçen tejribelerimizde efir barada dürli netijeler alynýar.

Ýagny: Fizonyň tejribesinde efir kem-käs äkidilýär; Maýkelsonyň tejribesinde efir doly äkidilýär; Bradleýiň tejribesinde efir absolýut dynçlykda; Eriniň tejribesinde efir kem-käs äkidilýär. Dürli ýagdaýlarda dürli häsiýete eýe bolýan efir düşünjesi kän ynam döretmeýär. Hereketli gurşawlaryň optikasy bilen baglanyşykly ähli hadysalary jikme-jik seljermek arkaly, Lorens elektrodinamikanyň deňlemelerini we koordinat özgertmelerini täzeçe beýan etdi. 1905-nji ýylda Albert Eýnşteýn tejribelerde alnan netijeleri jemlemek we Lorensiň özgertmelerini peýdalanmak arkaly göräligiň ýörite nazaryýetini döretdi. Bu nazaryýet iki sany postulata esaslanýar:

1. Bir-birine görä gönüçyzykly we deňölçegli hereket edýän koordinata ulgamlarynda (inersiýa hasaplama ulgamlarynda) ähli fiziki hadysalar birmeňzeş bolup geçýärler, şonuň üçin haýsy-da bolsa bir koordinatyň "absolýut ulgamyny saýlap almak mümkin däl".

2. Ýagtylygyň wakuumda ýaýrama tizligi çeşmäniň we kabul edijiniň hereket tizligine bagly däldir we ol uniwersal hemişelikdir.

Eýnşteýniň birinji postulaty efiri absolýut hasaplama ulgamy hökmünde seredýän nazaryýet bilen ylalaşmaýar. Şeýlelikde, görälik nazaryýeti efiri doly inkär edýär.

Ikinji postulat uly tizlikleri goşmagyň düzgünini şertlendirýär. Eger ϑ we u bir ugurdaky tizlikler bolsa, onda bu tizlikleriň jemi

$$u' = \frac{u + \vartheta}{1 + \frac{u\vartheta}{c^2}}$$ aňlatma arkaly tapylýar.

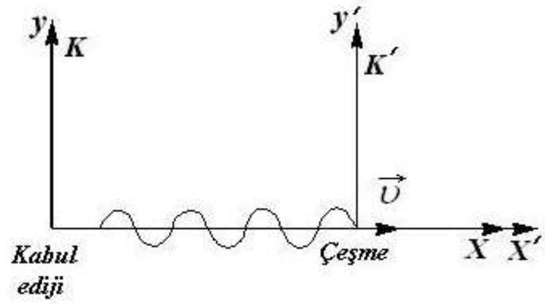
Eger $u \approx \vartheta \approx c$ bolsa, onda $u' = c$ bolar. Bu ýerde örän wajyp netije alynýar. Ýagny ähli inersial hasaplama ulgamlarynda ýagtylygyň wakuumda ýaýrama tizligi mümkin bolan iň uly tizlikdir.

8.4. Optikada Dopleriň effekti

Kesgitli ω ýygylyga (tolkun uzynlyga) eýe bolan monohromatik tolkun "hereketsiz" koordinata ulgamynda ýaýraýan bolsa, şol tolkun "hereketlenýän" koordinata ulgamynda başga ω' ýygylyga eýe bolýar.

Bir hasaplama ulgamdan başga bir hasaplama ulgamyna geçilende ýygylygyň üýtgemesine Dopleriň effekti diýilýär.

Relýatiwistik nazaryýetde ýygylygyň üýtgemesini tolkunyň fazasynyň iki hasaplama ulgamda hem deň bolmak şertinden peýdalanyp kesgitlemek amatlydyr. Goý, ýagtylygy kabul ediji K koordinata ulgamynyň başlangyjynda, ýagtylyk çeşmesi bolsa K' koordinata ulgamyň başlangyjynda ýerleşen bolsun. K we K' koordinata ulgamlary bir-birine gabat gelende hasaplama wagtlary $t = t' = 0$ bolsun (8.13-nji çyzgy) K' ulgam (çeşme) K ulgama (kabul ediji) görä ϑ tizlik bilen



8.13-nji çyzgy

hereketlenýän bolsun :

x we x' oklar bolsa $\vec{\vartheta}$ tizlik wektorynyň ugry boýunça ugrukdyrlan bolsun. Çeşmeden kabul edijä tarap goýberilen tekiz ýagtylyk tolkunyň deňlemesi K' ulgamda

$$E(x', t') = A' cos\left[\omega'\left(t' + \frac{x'}{c}\right)\right] \qquad (8.24)$$

görnüşe eýedir.

Eger tolkunyň başlangyç fazasy nola deň hasap edilse, onda K ulgamda tolkun

$$E(x, t) = A cos\left[\omega\left(t + \frac{x}{c}\right)\right] \qquad (7.25)$$

görnüşe eýe bolýar. Dürli hasaplama ulgamlarynda tolkunyň fazasynyň birmeňzeş bolýandygyny hasaba alyp,

$$\omega\left(t + \frac{x}{c}\right) = \omega'\left(t' + \frac{x'}{c}\right)$$

aňlatmany ýazyp bileris. Lorensiň özgertmelerinden peýdalanyp

x'-i we t' x-yň we t-niň üsti bilen aňlatsak, onda

$$\omega\left(t+\frac{x}{c}\right)=\omega'\left(\frac{t-\frac{\vartheta}{c^2}x}{\sqrt{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}}}+\frac{x-\vartheta t}{c\sqrt{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}}}\right)$$

ýa-da

$$\omega\left(t+\frac{x}{c}\right)=\omega'\cdot\left[\frac{1-\frac{\vartheta}{c}}{\sqrt{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}}}+\left(t+\frac{x}{c}\right)\right].$$

Bu ýerden

$$\omega=\omega'\cdot\frac{1-\frac{\vartheta}{c}}{\sqrt{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}}}=\omega'\sqrt{\frac{1-\frac{\vartheta}{c}}{1+\frac{\vartheta}{c}}}. \qquad (8.26)$$

$\omega=2\pi\nu$ peýdalanyp çyzyk ýygylygyna geçsek we $\nu'=\nu_0$, $\beta=\frac{\vartheta}{c}$ belleme geçirsek

$$\nu=\nu_0\sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}}. \qquad (8.27)$$

Aňlatmadan görnüşi ýaly $\nu<\nu_0$ ýagny çeşme kabul edijiden daşlaşanda kabul edilýän ýagtylygy, ýygylygy azalýar. Çeşme kabul edijä ýakynlaşsa $\vartheta=-\vartheta$ bolýar we (8.27) aňlatma

$$\nu=\nu_0\sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}} \qquad (8.28)$$

görnüşe geçer.

Bu ýagdaýda $\nu>\nu_0$ bolýar. Muňa Dopleriň boý effekti diýilýär.

Eger $\vartheta<<c$ bolsa β-nyň derejesi boýunça hatara dargadyp we β-nyň birinji derejesi bilen çäklensek, onda (8.27), (8.28) aňlatmalar aşakdaky görnüşe geçer.

$$\nu=\nu_0(1+\beta), \qquad (8.29)$$

$$\nu = \nu_0 (1 - \beta). \qquad (8.30)$$

Bu ýerde ýygylygyň göräli üýtgemesini tapsak:

$$\frac{\Delta \nu}{\nu_0} = -\frac{\vartheta}{c}, \qquad (8.31)$$

$$\frac{d\nu}{\nu} = \frac{d\lambda}{\lambda} \text{ onda } \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{\vartheta}{c}. \qquad (8.32)$$

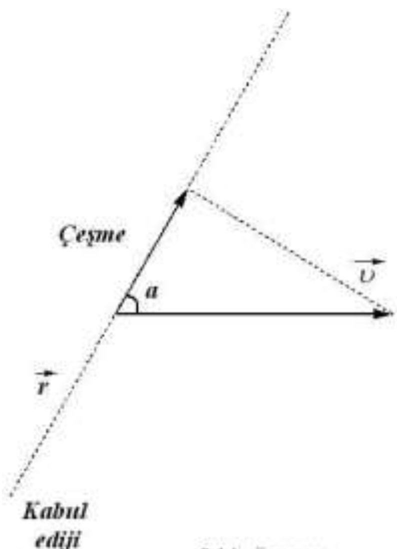
görnüşde ýazyp bileris.

Çeşme bilen kabul edijiniň göräli hereketi bir göniniň ugry boýunça bolmadyk ýagdaýynda (8.14.-nji çyzgy) (8.27) aňlatma

$$\nu = \nu_0 \frac{1 - \beta \cos \alpha}{\sqrt{1 - \beta^2}} \qquad (8.33)$$

görnüşde aňladylýar. Eger $\alpha = 90^0$ bolsa, onda

$$\nu = \frac{\nu_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \qquad (8.34)$$



8.14-nji çyzgy

aňlatma öwrülýär. Muňa Dopleriň kese effekti diýilýär. Dopleriň optiki effekti atomlary, molekulalary we beýleki elementar bölejikleri hem-de kosmiki jisimleri derňemekde giňden peýdalanylýar. Spektr çyzyklaryň süýşmesi ýa-da giňelmesi görnüşinde ýüze çykýan, şöhlelenýän jisimleriň ýagtylygynyň ýygylygynyň üýtgemesi boýunça bölejikleriň we jisimleriň hereketiniň häsiýetini kesgitlemek mümkin. Ýagtylanýan gazlaryň molekulalarynyň ýylylyk hereketi, dopler effekti sebäpli spektr çyzyklarynyň giňelmesine getirýär. Ýylylyk hereketi bitertipdir (haotik) we molekulalaryň gözegçä görä tizlikleriniň ähli ugurlar boýunça paýlanşygynyň ähtimallygy birmeňzeşdir. Şonuň üçin ýörite abzallarda gözegçilik edilip hasaba alynýan şöhlelenmäniň düzüminde $\nu_0\left(1 - \frac{\vartheta}{c}\right)$-den $\nu_0\left(1 + \frac{\vartheta}{c}\right)$ çäkdäki ähli ýygylyklar bardyr.

Bu ýerde ν_0 molekulanyň şöhlelendirýän ýagtylygynyň ýygylygy; ϑ - molekulanyň ýylylyk hereketiniň tizligi. Şeýlelikde, spektr çyzyklaryň hasaba alynýan giňligi $2\nu_0 \dfrac{\vartheta}{c}$ bolýar.

$\delta\nu_D = \nu_0 \dfrac{\vartheta}{c}$ aňlatma arkaly kesgitlenýän ululyga spektr çyzygynyň dopler giňelmesi diýilýär.

Spektr çyzyklaryň dopler giňelmesi boýunça molekulalaryň ýylylyk hereketiniň tizligi barada, diýmek, ýagtylanýan gazyň temperaturasy barada maglumat almak mümkin.

Dopler effekti radiofizikada, esasan-da hereketlenýän jisimler (uçarlaryň, raketalaryň) çenli aralygy radiolokasiýa arkaly ölçemekde uly ähmiýete eýedir.

8.5. Ýagtylygyň ýaýrama tizligini kesgitlemegiň häzirki zaman usullary

Ýagtylygyň ýaýrama tizliginiň takyklygyny ýokarlandyrmak maksady bilen ony kesgitlemegiň täze usullaryndan peýdalanmak dowam etdirilýär. Tejribehana şertinde ýagtylygyň ýaýrama tizligini kesgitlemegiň usullarynyň biri-de Kerriň öýjügini (ýaçeýkasyny) ulanyp, ýagtylygyň depginini ýokary ýygylykly modulirlemekdir. Aýlanýan dişli tigriň (Fizonyň usuly) ýa-da aýlanýan aýna prizmanyň (Maýkelsonyň usuly) ornuna ýagtylygy bölmek üçin Kerriň öýjügini (6.20-nji çyzgy) ulanmak mümkin.

Bu ýagdaýda Kerriň öýjügine ýokary ýygylykly üýtgeýän naprýaženiýe berilýär. Ýagtylyk dessesiniň öýjükden öňe we yza geçýän ýoluny hem-de goýulýan naprýaženiýäniň ýygylygyny bilip ýagtylygyň ýaýrama tizligini kesgitlemek mümkin. Şeýle ölçemeler 1928-nji ýylda Kapolýus we Mintelştadt tarapyndan ýerine ýetirildi. Olar baza aralygyny (L) 15 m çenli gysgaltmaklygy we ýagtylygyň ýaýrama tizligi üçin $c = \left(299780 \pm 20\right)\dfrac{km}{s}$ ululygy almagy başardylar.

1937-nji ýylda Anderson baza aralygy L=3 m çenli gysgaltmagy başardy. Ýagtylygyň modulirleýji hökmünde Kerriň öýjügi peýdalanylýan gurnama häzirki wagtda ýokary kämillige ýetirildi.

Häzirki döwürde ýagtylygyň ýaýrama tizligini $\nu \cdot \lambda = c$ gatnaşyk arkaly kesgitlemegiň täze usuly peýdalanylýar. Bu usulda elektromagnit tolkunlarynyň ýygylygy (ν) we tolkun uzynlygy bir-birine baglanyşyksyzlykda ölçenilýär. 1972-nji ýylda geçirilen ölçemelerde ýagtylyk çeşmesi hökmünde 3,39 mkm tolkun uzynlykly şöhle goýberýän geliý-neon lazerden peýdalanylan.

Bu usulda tolkun uzynlyk nusgalyk (etalon) tolkun uzynlyk bilen deňeşdirilip, interferometriň kömegi bilen ölçenilýär. Nusgalyk tolkun uzynlyk hökmünde kripton-86 izotopynyň mämişi çyzygynyň wakuumdaky tolkun uzynlygy kabul edilen. Lazer şöhlesiniň ýygylygy, ýygylygyň atom standarty, ýagny nolunjy magnit meýdanynda Seziý-133 izotopynyň iki sany aşa inçe kwant derejeleriň arasyndaky geçiş ýygylygy bilen deňeşdirmek arkaly ölçenilýär. Şeýlelikde, ýagtylygyň ýaýrama tizligi üçin $c = \left(299792458 \pm 1{,}2\right)\dfrac{m}{s}$ ululyk alynýar.

EDEBIÝATLAR

1. Матеев А.Н. Механика и теория относительности. М-1986. Молекулярная физика. М-1987. Электричество и магнетизм. М-1983. Оптика. М-2985. Атомная физика. М-1989
2. Савальев И.В. Курс общей физики.Т.1. Механика. Молекулярная физика. М-1989. Т.2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. М-1982.Т.3 Квантеовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. М-1989.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.1.Механика. М-2002.Т.2. Термодинамика и молекулярная физика. М-2002.Т.3. Электричество. М-2002.Т.4. Оптика. М-2002.Т.5. Атомная и ядерная физика. М-2002.
4. Берклеевский курс физики. Т.4 Ф.Крауфорд. Волны. М-1972 и последующие издания.
5. Баратов Я.Өвлуягулыев Ж. Оптика курсуна дегишли окув материалларыны өвренмек бойунча методики гөркезмелер Ашгабат. I. 1991.II. 1992.III. 1993.
6. Ландсберг Г.С. Оптика. М-1976
7. Годжаев Н.М. Оптика. М-1977.
8. Бутиков Е.И. Оптика. М-1986.
9. Чертов А.Г. Единицы физической величин. М-1997.

11. Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики. Справочник. Киев, 1989

MAZMUNY