

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA
MAXSUS TA‘LIM VAZIRLIGI
O‘RTA MAXSUS, KASB-HUNAR TA‘LIMI MARKAZI

M.H. O‘LMASOVA

FIZIKA
OPTIKA, ATOM VA YADRO
FIZIKASI

3- kitob

Akademik litseylar uchun o‘quv qo‘llanma

Professor **B.M. Mirzaahmedov** tahriri ostida

Ikkinchi nashri

Cho‘lpon nomidagi nashriyot-matbaa ijodiy uyi
Toshkent – 2010

BBK 22.343

O' 70

*Oliy va o'rta maxsus kasb-hunar ta'limi o'quv metodik
birlashmalar faoliyatini muvofiqlashtiruvchi
Kengash nashrga tavsiya etgan*

Taqrizchilar: **L.F. Po'latova** — *fizika-matematika fanlari nomzodi,*
R.G. Isyanov — *pedagogika fanlari nomzodi,*
G. Ikromova — *1-Toshkent pedagogika kollejining
fizika o'qituvchisi*

Mazkur o'quv qo'llanma fizika chuqurlashtirilgan fan sifatida o'rganiladigan aniq va tabiiy fanlar yo'nalishidagi akademik litseylar uchun mo'ljallangan dastur asosida yozilgan. Qo'llanma fizikaning elektromagnit to'lqinlar, optika, atom va yadro fizikasi, elementar zarralar fizikasi bo'limlari, olamning yagona fizik manzarasi bayoni bilan yoritilgan hamda fizika masalalarining izohli yechimlari namunalari bilan boyitilgan.

Ushbu o'quv qo'llanma fizika chuqur o'rganiladigan aniq va tabiiy fanlar yo'nalishidagi akademik litseylar uchun mo'ljallangan. Undan kasb-hunar kollejlari o'quvchilari, oliy o'quv yurtlariga kiruvchilar, o'rta maktab fizika o'qituvchilari foydalanishlari mumkin.

O' $\frac{4306021200 - 68}{360(04) - 2010} - 2010$

ISBN 978-9943-05-149-2

© Cho'lpon nomidagi nashriyot-matbaa ijodiy uyi, 2007- y.

© Cho'lpon nomidagi nashriyot-matbaa ijodiy uyi, 2010- y.

SO‘ZBOSHI

Qo‘lingizdagi ushbu o‘quv qo‘llanma muallifning aniq va tabiiy fanlar yo‘nalishidagi akademik litsey o‘quvchilariga mo‘ljallangan 3- kitobi bo‘lib, u «Mexanika va molekulyar fizika» 1- kitob va «Fizika. Elektrodinamika asoslari. Tebranishlar va to‘lqinlar» 2- kitobning mantiqiy davomidir. O‘quv qo‘llanmada fizika kursining «Elektromagnit to‘lqinlar», «Fotometriya», «Geometrik optika», «To‘lqin optikasining asoslari», «Nisbiylik nazariyasining elementlari», «Kvant fizikasi», «Atom fizikasi», «Yadro fizikasi» va «Elementar zarralar haqida tushuncha» bo‘limlari mujassamlashgan. Bu qo‘llanmada ham, xuddi avvalgilaridagi kabi o‘quv dasturida qayd etilgan, akademik litsey o‘quvchilari tanishib chiqishi lozim deb topilgan (oliy o‘quv yurtlarida o‘qitiladigan) bir qator yangi mavzular o‘quvchilarga tushunarli tarzda bayon etishga harakat qilingan. Maksvell tenglamalari, Ferma prinsipi, Frenel-Gyuygens prinsipi, Malyus qonuni, Buger-Lambert qonuni, geliotexnika elementlari, kombinatsion prinsip, moddaning to‘lqin xossalari, Geyzenbergning noaniqlik munosabatlari, atom sistemasini xarakterlovchi kvant sonlari, spin, Pauli prinsipi, optikada nochiyiqiy effektlar, kosmik nurlar kabi mavzular shular jumlasidandir. Shuningdek, lazerlar fizikasi, radioaktiv izotoplar, kosmik nurlar kabi sohalarda O‘zbekistonda olib borilayotgan ilmiy-tadqiqot va amaliy ishlar haqida qisqacha ma’lumot berilgan.

Muallif ushbu 3- kitobda ham uning mazmunini 1- va 2- kitoblarda qo‘llagan bayon etish uslubini o‘zgartirmagan va unga amal qilgan. Xususan, har bir mantiqan tugallangan mavzulardan so‘ng takrorlash uchun savollar, shu nazariy qismga oid tipik masalalarning izohli yechimlari va mustaqil yechish uchun masalalar berilgan.

Ushbu o‘quv qo‘llanmaning yaratilishida yaqindan yordam bergan fizika-matematika fanlari nomzodi, katta ilmiy xodim S. G‘oipovga muallif o‘zining chuqur minnatdorchiligini bildiradi.

Mazkur o‘quv qo‘llanma yuzasidan barcha fikr-mulohazalarni muallif mamnuniyat bilan qabul qiladi.

1- §. Elektromagnit maydon

XIX asrning 60- yillarida ingliz olimi Maksvell elektr va magnit hodisalarning yagona nazariyasini yaratdi. Bu nazariya o‘sha vaqtlarda ma‘lum bo‘lgan tajriba natijalaridan kelib chiqqan bo‘lib, *Maksvellning elektromagnit maydon nazariyasi* deb ataladi. Maksvell nazariyasining asosida elektr va magnit maydonlarning o‘zaro uzviy bog‘lanishda ekanligini ifodalovchi quyidagi ikkita muhim g‘oya yotadi.

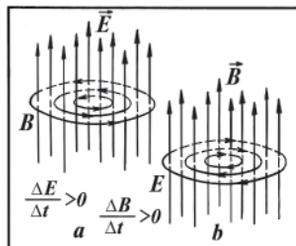
1. *Vaqt davomida o‘zgaruvchi magnit maydon o‘zgaruvchan elektr maydonni yuzaga keltiradi.*

2. *Vaqt davomida o‘zgaruvchi elektr maydon esa o‘zgaruvchan magnit maydonni yuzaga keltiradi.*

Maksvellning birinchi g‘oyasining to‘g‘riligini 1831- yilda ingliz fizigi va kimyogari M. Faradey tomonidan kashf qilingan elektromagnit induksiya hodisasi tasdiqlaydi.

Ma‘lumki, elektromagnit induksiya hodisasiga binoan induksion tok yoki vaqt o‘tishi bilan o‘zgaradigan magnit maydondagi qo‘zg‘almas konturda, yoki vaqt o‘tishi bilan o‘zgarmaydigan magnit maydonda harakatlanuvchi konturda hosil bo‘ladi. Birinchi holda induksion tokning hosil bo‘lishi shuni ko‘rsatadiki, bunda magnit maydonning o‘zgarishi konturdagi elektr zaryadlarga ta’sir qiluvchi tashqi kuchlarni yuzaga keltiradi. Bu tashqi kuchlar konturda ro‘y berishi mumkin bo‘lgan kimyoviy jarayonlarga ham, issiqlik jarayonlarga ham bog‘liq emas. Shuningdek, ular Lorens kuchlari ham bo‘lishi mumkin emas, chunki Lorens kuchlari qo‘zg‘almas elektr zaryadga ta’sir etmaydi. Shuning uchun induksion tok konturda hosil bo‘luvchi elektr maydon tufayli yuzaga keladi, degan xulosaga kelish mumkin. Shunga ko‘ra biz qo‘zg‘almas o‘tkazgichdagi elektr zaryadlarni tartibli harakatga keltiruvchi elektr maydonni bevosita o‘zgaruvchi magnit maydon yaratadi, deb ayta olamiz. Biroq bu elektr maydon biz shu vaqtgacha tilga olib kelgan elektrostatik maydondan farq qiladi. Elektrostatik maydonni qo‘zg‘almas elektr zaryadlari hosil qiladi. Elektrostatik maydon potensial xarakterda bo‘lib, uning kuchlanganlik chiziqlari zaryaddan boshlanib, zaryadda tugaydi. *Magnit maydon o‘zgarganda yuzaga keladigan elektr maydon esa elektr zaryadlariga bevosita bog‘liq emas va uning kuchlanganlik chiziqlari*

elektr zaryadlarida boshlana olmaydi ham, ularda tugay olmaydi ham. Ular, umuman hech qayerda boshlanmaydi va hech qayerda tugamaydi, balki magnit maydonning induksiya chiziqlariga o'xshash berk chiziqlardir (1- a va b rasmlar). Bu maydon **uyurmaviy elektr maydon** deb ataladi.



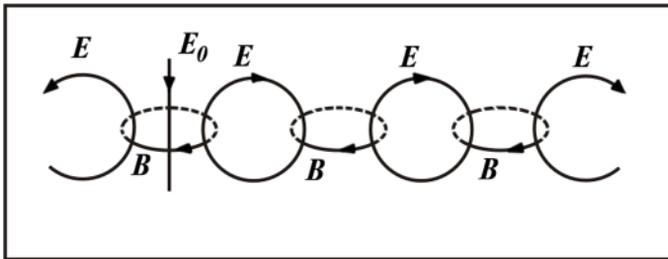
1- rasm.

Maksvellning ikkinchi g'oyasi, ya'ni elektr maydonning vaqt o'tishi bilan o'zgarishi magnit maydonni yuzaga keltirishi lozimligi haqidagi fikri ham juda samarali chiqdi. U vaqtlarda bu g'oyani tasdiqlovchi tajribaga asoslangan hech qanday ma'lumot yo'q edi. Keyinchalik o'tkazilgan ko'pgina tajribalar bu g'oyaning to'g'riligini tasdiqladi. Masalan, elektromagnit to'lqinlarning ochilishi elektr maydonning vaqt o'tishi bilan o'zgarishi magnit maydonni yuzaga keltirishini tasdiqlovchi asosiy omillardan biri hisoblanadi. Chunki elektromagnit to'lqinlarning mavjudligi haqidagi gipoteza (bu gipotezani ham Maksvell nazariy jihatdan oldindan aytgan edi) Maksvellning ikkinchi g'oyasidan va elektromagnit induksiya hodisasidan kelib chiqqan.

Shunday qilib Maksvell elektr va magnit maydonlar bir-biriga chambarchas bog'langanligini nazariy yo'l bilan asoslab berdi.

\vec{E} elektr maydon kuchlanganlik vektorining o'zgarish tezligi $\frac{\Delta E}{\Delta t}$ qancha katta bo'lsa, bu elektr maydonga bog'liq ravishda vujudga keladigan magnit maydon ham shuncha kuchli bo'ladi. Xuddi shuningdek, \vec{B} magnit maydon induksiya vektorining o'zgarish tezligi $\frac{\Delta B}{\Delta t}$ qancha katta bo'lsa, magnit maydon vujudga keltiradigan elektr maydon ham shuncha kuchli bo'ladi. Amalda biz hamma vaqt shunday o'zgaruvchan magnit maydonlar bilan ish ko'ramizki, ularda faqat magnit induksiya vektorigina emas, balki uning o'zgarish tezligi ham o'zgaruvchan bo'ladi. Bunday sharoitda ham o'zgaruvchan elektr maydon paydo bo'ladi. Shularga asosan, umuman aytganda, o'zgaruvchan magnit maydon bilan to'lgan fazo ayni vaqtda o'zgaruvchan elektr maydon bilan ham to'lgan bo'ladi, degan xulosa kelib chiqadi.

Elektr maydon bilan magnit maydon o'rtasidagi o'zaro bog'lanish kashf qilingandan keyin bu maydonlar bir-biridan xoli, bir-biridan mustaqil mavjud bo'la olmasligi ayon bo'lib qoldi. O'zgaruvchan



2- rasm.

magnit maydon hosil qilinarkan, ayni bir paytda fazoda o'zgaruvchan elektr maydon hosil bo'lmay iloji yo'q va, aksincha, o'zgaruvchan magnit maydonsiz o'zgaruvchan elektr maydon mavjud bo'la olmaydi. Bu ikkala o'zgaruvchan maydon hamisha bir-biri bilan bog'langan bo'lib, ular birgalikda **elektromagnit maydonni** tashkil qiladi.

Elektromagnit maydon uyurmaviy xarakterga ega, ya'ni vujudga keltirayotgan maydonning kuch chiziqlari vujudga kelayotgan maydonning kuch chiziqlari bilan konsentrik o'rab olingan. Natijada o'zaro «o'ralgan» elektr va magnit maydonlar sistemasi hosil bo'ladi.

2- rasmdan elektromagnit maydonning xarakteri to'g'risida ma'lum tasavvur hosil qilish mumkin, bu rasmni go'yo bunday maydonning oniy surati deyish mumkin. E_0 to'g'ri chiziq birlamchi o'zgaruvchan elektr maydonni, B gorizontaal aylanalar ikkilamchi o'zgaruvchan magnit maydonni, vertikal E aylanalar esa ikkilamchi o'zgaruvchan elektr maydonni tasvirlaydi.

Elektromagnit maydon moddiydir. Elektromagnit maydonning moddiyligi shu bilan tasdiqlanadiki, unda kuchlarning ta'siri seziladi, uning o'zi bilan energiya eltishi va uzatishi kuzatiladi. Bu materiya hamma vaqt mavjud. Maksvell ta'biri bilan aytganda, nasos yordamida odatdagi moddiy materiyani (uni Maksvell «dag'al» yoki «quyultirilgan» materiya deb atagan) so'rib olib tashlansa ham, elektr yoki yorug'lik ta'sirlarini uzata olish qobiliyatiga ega «nozik» materiya qoladi. Bu shuni anglatadiki, elektromagnit maydon zaryadlar va toklar mavjud bo'lmagan joyda, masalan, vakuumda elektr va magnit maydonlarning vaqt bo'yicha o'zgarishi tufayli mavjud bo'la oladi.

2- §. Siljish toki

Elektromagnit maydonning magnit va elektr kuch chiziqlarining berkligi Maksvellning elektromagnit maydon nazariyasidagi juda muhim qoidadir.

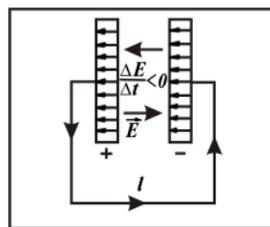
Barcha hollarda maydonning berk (uyurmali) xarakteri haqida gapirish imkoniga ega bo‘lish uchun Maksvell *siljish toki* tushunchasini kiritdi. («Siljish toki» atamasining kelib chiqish tarixi quyidagicha: XIX asr oxirlarida butun olam bo‘shlig‘ini band etgan va hamma jismlardan o‘ta oladigan alohida bir muhit — elastik muhit mavjud, deb faraz qilingan va bu muhitni «efir» deb atalgan. Maydonlar, xususan, elektr maydon «efir» zarralarini muvozanat vaziyatlaridan siljitadi, degan fikr fanda keng tarqalgan edi. Shuning uchun kondensator qoplamalari orasida «siljish toki» oqadi, deb hisoblangan. Hozirgi vaqtda bu tasavvur fanda butunlay o‘z aksini yo‘qotgan bo‘lsa ham, «siljish toki» atamasi saqlanib qolgan, lekin uning ma‘nosi o‘zgacha).

O‘zgaruvchan elektr maydonni Maksvell *siljish toki* deb atagan. Bu maydonning tok deb atalishiga sabab shuki, bu maydon xuddi odatdagi tok singari magnit maydon hosil qiladi.

Siljish toki tushunchasi kiritilgandan keyin har qanday elektr tokini berk tok deb qarash mumkin bo‘ladi. Masalan, tebranish konturida g‘altakdagi o‘tkazuvchanlik toki (elektronlarning tartibli harakati) kondensator qoplamalari orasidagi siljish toki (vaqtga bog‘liq holda o‘zgaruvchi elektr maydon) bilan almashinadi. Bunda o‘zgaruvchan elektr maydon kondensator qoplamalari orasida g‘altakdagi tokka teng o‘tkazuvchanlik toki o‘tayotganida qanday magnit maydon yuzaga kelsa, xuddi shunday magnit maydon hosil qiladi. 3- rasmda kondensator razryadlanayotgan hol ko‘rsatilgan. Kondensator razryadlangan vaqtda uning plastinkalari orasidagi elektr maydon kamaya borganligi uchun $\frac{\Delta E}{\Delta t}$ kattalik manfiy bo‘ladi va uning yo‘nalishi maydon kuchlanganligi vektori \vec{E} ning yo‘nalishiga qarama-qarshi yo‘naladi.

Shunga ko‘ra siljish tokining yo‘nalishi o‘tkazuvchanlik tokining yo‘nalishiga mos keladi, ya‘ni konturdagi o‘tkazuvchanlik tokini kondensator plastinkalari orasida siljish toki tutashtiradi, degan xulosaga kelamiz.

Siljish toki magnit maydon hosil qilish qobiliyati jihatidagina o‘tkazuvchanlik tokiga ekvivalentdir. Qolgan hamma xususiyatlari jihatidan siljish toki o‘tkazuvchanlik tokiga o‘xshamaydi. Jumladan, siljish toki o‘tkazgichdan o‘tgan vaqtda Joule — Lens issiqligi hosil bo‘lmaydi.



3- rasm.

Maksvell o'tkazuvchanlik toki va siljish toki tushunchasi bilan bir qatorda to'liq tok tushunchasini ham kiritgan. To'liq tokning zichligi \vec{i} deb o'tkazuvchanlik toki $\vec{i}_{o'tk}$ bilan siljish toki \vec{i}_s zichliklarining geometrik yig'indisi qabul qilinadi:

$$\vec{i} = \vec{i}_{o'tk} + \vec{i}_s. \quad (1)$$

To'liq tok doimo berk ekanligini quyidagi mulohazalardan kelib chiqib ko'rsatish mumkin: kondensatorning qoplamlarini birlashtiruvchi o'tkazgichda oqayotgan to'liq tokni o'tkazuvchanlik tokiga teng deb, qoplamlar orasida to'liq tokni siljish tokiga teng deb hisoblash mumkin. U holda qoplamlarning sirtida siljish toki bilan o'tkazuvchanlik tokining zichliklari bir xil bo'lganligi va bir tomonga yo'nalganligi uchun sirtlarda to'liq tok o'zgarmaydi hamda zanjir bo'ylab tok berk bo'ladi (3- rasmga qarang).

3- §. Maksvellning elektromagnit maydon nazariyasi haqida tushuncha

Siljish tokining kashf qilinishi Maksvellga elektr va magnit hodisalarning yagona nazariyasini yaratish imkonini berdi. 1873- yilda Maksvellning «Elektr va magnetizm bo'yicha traktat» nomli mashhur asari nashr etildi. Ushbu asarda ***Maksvellning elektromagnit maydon nazariyasi*** bayon etilgan bo'lib, unda elektromagnit maydonlarni aniq hisoblash uchun uning nomi bilan ***Maksvell tenglamalari*** deb ataladigan tenglamalar ishlab chiqilgan. Mexanikada Nyuton qonunlari, termodinamikada asosiy (bosh) qonunlar qanday rol o'ynasa, elektromagnetizmni o'rganishda Maksvell tenglamalari ham shunday rol o'ynaydi. Binobarin, Maksvell tenglamalari yuqorida qayd etilgan qonunlar kabi tabiat qonunlaridir.

Maksvell tenglamalari, asosan, to'rtta bo'lib, ular integral va differensial ko'rinishlarda ifodalanadi. Shuni aytish lozimki, Maksvell tenglamalarining matematik shakli uni tushunib olish uchun katta tayyorgarlik ko'rishni talab etadi va tenglamaga jo qilingan g'oyalarning butun chuqurligi va jozibasini ko'rsatishga imkon bermaydi.

Odatda oliy ta'lim uchun darsliklarda keltiriladigan Maksvell tenglamalarining to'rttasidan akademik litsey (yoki o'rta maktab) fizikasiga bevosita aloqador bo'lgan faqat ikkitasi ustida to'xtalib o'tamiz. Maksvellning bu ikki tenglamasining fizik mohiyatini elektromagnit maydon nazariya asosida yotgan ikkita g'oyaga tayanib, quyidagicha sodda ko'rinishda ifodalash mumkin:

$$\vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi}{dt}; \quad (2)$$

$$\vec{H} \cdot d\vec{l} = -\frac{dN}{dt}. \quad (3)$$

Tenglamalarning simmetrik xarakteri ko‘zga tashlanadi. (2) tenglama $d\vec{l}$ qismda \vec{E} elektr maydon kuchlanganligining Φ magnit induksiya oqimining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi bilan aloqasini o‘rnatadi. (3) tenglama esa $d\vec{l}$ qismda \vec{H} magnit maydon kuchlanganligining N elektr induksiya oqimining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi bilan aloqasini o‘rnatadi.

Ma’lumki, ixtiyoriy S yuza orqali o‘tuvchi Φ magnit induksiya oqimi \vec{B} magnit induksiya vektori bilan quyidagi formula orqali bog‘langan (2- kitob, 77- § ga qarang):

$$\Phi = \int_s \vec{B}_n \cdot dS, \quad (4)$$

bunda: B_n kattalik \vec{B} ning normal tashkil etuvchisi. Xuddi shuningdek, ixtiyoriy S yuza orqali o‘tuvchi N elektr induksiya oqimi \vec{D} elektr induksiya vektori bilan quyidagi formula orqali bog‘langan (2- kitob, 5- § ga qarang):

$$N = \int_s \vec{D}_n \cdot dS. \quad (5)$$

Bunda: D_n kattalik \vec{D} ning normal tashkil etuvchisi. Shuningdek, \vec{B} bilan \vec{H} vektorlari o‘zaro

$$\vec{B} = \mu\mu_0 \vec{H} \quad (6)$$

va \vec{D} bilan \vec{E} vektorlari o‘zaro

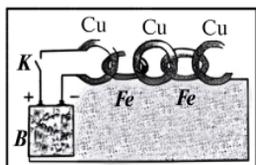
$$\vec{D} = \epsilon\epsilon_0 \vec{E} \quad (7)$$

formulalar orqali bog‘lanishda ekanligini eslatib o‘tamiz, bunda: μ — muhitning magnit singdiruvchanligi, ϵ — dielektrik kirituvchanligi, ϵ_0 va μ_0 lar* mos ravishda elektr va magnit doimiylari.

(2) – (5) formulalarda magnit maydonning o‘zgarishi o‘zgaruvchan elektr maydonni, elektr maydonning o‘zgarishi o‘zgaruvchan magnit maydonni vujudga keltirishi aks etganligi ko‘rinib turibdi.

Maksvell tenglamalarining yanada yaqqolroq manzarasini ingliz

* ϵ_0, μ_0 lar 2- kitobdan ma’lum.



4- rasm.

fizigi Bregg «Bregg zanjiri» nomi bilan mashhur bo'lgan faraziy model ko'rinishida taklif etdi. Navbatma-navbat almashinib keluvchi Cu mis va Fe temir halqalardan yasalgan zanjirni ko'z oldimizga keltiraylik (4- rasm).

K kalitni bir onga ulab, *B* batareyadan birinchi Cu mis halqaga tok yuboramiz. Keyingi Fe temirdan yasalgan halqa magnitlanadi. Unda magnit maydonning vujudga kelishi uchinchi Cu mis halqada induksion tokning paydo bo'lishiga sabab bo'ladi. Bu tok, o'z navbatida, to'rtinchi Fe temir halqada magnit maydon bo'lishiga sabab bo'ladi va hokazo.

Maksvell tenglamalarining ahamiyati shundaki, unda elektr va magnit maydonlarning barcha qonunlari, shuningdek, elektromagnit induksiya hodisasi mujassamlangan. Maksvell tenglamalari u yaratilgan vaqtgacha ma'lum bo'lgan barcha hodisalarni to'g'ri tushuntiribgina qolmay, balki yana yangi va muhim hodisalarni bashorat qiladi. Jumladan:

1) siljish toklarining magnit maydoni haqidagi Maksvell gipotezasi bu nazariyadagi mutlaqo yangilik edi;

2) shu gipoteza asosida Maksvell elektromagnit o'zaro ta'sirlarning chekli tezlik bilan tarqalishi, ya'ni yaqindan ta'sir etish g'oyasini ilgari surdi.

Uzoqdan ta'sir etish nazariyasiga muvofiq, biror elektr zaryad joyidan siljisa, qo'shni zaryadga ta'sir etuvchi Kulon kuchi darhol o'zgaradi. Ta'sir bir onda uzatiladi, chunki bu nazariyaga muvofiq bir zaryad ikkinchi zaryadning borligini bo'shliq orqali «sezadi».

Yaqindan ta'sir etish nazariyasiga muvofiq esa ahvol butunlay boshqacha va ancha murakkab. Bunda zaryadning siljishi natijasida uning yaqin atrofidagi elektr maydon o'zgaradi. Bu o'zgaruvchan elektr maydon fazoning qo'shni sohalarida o'zgaruvchan magnit maydon hosil qiladi. O'zgaruvchan magnit maydon, o'z navbatida, o'zgaruvchan elektr maydonni yuzaga keltiradi va hokazo (2- rasmga qarang). Demak, elektr zaryadning siljishi fazoda tarqaluvchan elektromagnit maydonni, ya'ni elektromagnit to'lqinlarni vujudga keltiradi. Elektromagnit to'lqinlarning tarqalish jarayoni chekli, lekin juda katta tezlik bilan ro'y beradi. Shunday qilib, Maksvell elektromagnit to'lqinlarning mavjudligini oldindan aytib berdi;

3) elektromagnit maydonning tarqalish tezligi yorug'likning bo'shliqdagi tezligiga teng ekanligini Maksvell sof matematik yo'l

bilan ko'rsatib, yorug'lik elektromagnit to'liqlardan iborat, degan xulosaga keladi va yorug'likning elektromagnit nazariyasini yaratishga muvaffaq bo'ldi. Keyinchalik elektromagnit to'liqlar tajribada olindi, yanada keyinroq esa ko'pgina tajriba va hodisalar asosida yorug'likning elektromagnit nazariyasi hamda u bilan birga Maksvellning butun nazariyasi o'zining to'liq va muvaffaqiyatli tasdig'ini topdi.

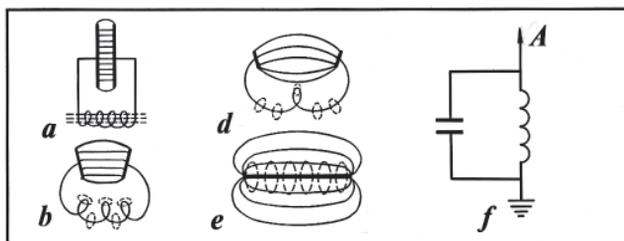
Maksvellning xulosalari fizikaviy dunyoqarashning rivojlanishi uchun katta ahamiyatga ega bo'ldi. *Birinchi marta* matematik tenglamalar yordamida fizik jismlardan farq qiluvchi fizik obyekt – elektromagnit maydon tavsiflandi. *Birinchi marta* yorug'likka elektromagnit to'liq sifatida qaraldi. *Birinchi marta* o'z kelib chiqishlari bilan turlicha bo'lgan elektr, magnit va optik hodisalarni atigi to'rttagina tenglama yordamida tavsiflashga muvaffaq bo'lindi. *Birinchi marta* yaqindan o'zaro ta'sir g'oyasi shunday ishonchli asosga ega bo'ldi.

4- §. Elektromagnit to'liqlar. Gers tajribalari

Biz avvalgi paragrafdagi o'zgaruvchan elektr maydon o'zgaruvchan magnit maydonni yuzaga keltirishi va bu o'zgaruvchan magnit maydon, o'z navbatida, o'zgaruvchan elektr maydonni yuzaga keltirishi haqida fikr yuritgan edik. Demak, zaryadlar yordamida o'zgaruvchan elektr yoki magnit maydon uyg'otilsa, atrof fazoda nuqtadan nuqtaga tarqaluvchi elektr va magnit maydonlarning ketma-ket o'zaro almashinuvi sodir bo'ladi. Bu jarayon fazoda ham vaqt bo'yicha davriy ravishda tarqalganligidan **to'liq** deb ataladi. *Davriy ravishda o'zgaradigan elektromagnit maydonning fazoda tarqalish jarayoni **elektromagnit to'liq** deyiladi.*

Maksvell o'z nazariyasida elektromagnit to'liqlarning mavjudligini oldindan aytibgina qolmay, balki u bu to'liqlarni tajribada oshkor qilish sharoitlari haqida ham to'xtalgan. Buning uchun yetarlicha yuqori chastotali elektr tebranishlardan va ochiq tebranish konturidan foydalanish zarurligini ko'rsatib o'tgan.

Haqiqatan ham tebranish konturi o'zini qurshagan fazoga juda kichik miqdordagi energiyaga ega bo'lgan elektromagnit to'liqlar tarqatadi, chunki bunday konturdagi elektr maydon kondensator qoplamalari oraliqida, magnit maydon esa g'altak ichida to'planadi. Kondensator va g'altakni o'rab turgan fazoda maydon amalda nolga teng. Bunday kontur **berk tebranish konturi** deb ataladi (5- a rasm).

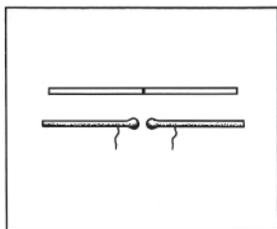


5- rasm.

To'liqlarning tarqalishi sezilarli bo'lishi uchun atrof fazodan elektromagnit maydon hosil bo'ladigan sohalarni ajratish kerak. Bunga erishish uchun kondensator qoplamalari orasidagi va g'altak o'ramlari orasidagi masofani uzaytirish lozim (5- *b*, *d* rasmlar). Ravshanki, bunday konturning sig'imi va induktivligi keskin kamayadi, bu esa yana ham qulaylik yaratadi, chunki bunday hol chastotaning ortishiga olib keladi. Demak, to'liq uzunligi kamayadi. Chastotani yanada oshirish uchun g'altak o'rniga o'ramsiz to'g'ri o'tkazgich olish kerak. To'g'ri o'tkazgichning induktivligi g'altak induktivligiga qaraganda ancha kichik. Kondensator qoplamalarini bir-biridan uzoqlashtira borib, ayni bir vaqtda ularning o'lchamlarini kichraytirsak, ochiq tebranish konturi hosil bo'ladi. Bunday kontur to'g'ri o'tkazgichdan iborat (5- *e* rasm).

Berk konturda kondensator qoplamalarini siljitmasdan, konturning bir tomonini yerga, ikkinchi tomonini bir uchi bo'sh bo'lgan vertikal simga ulaymiz. U vaqtda o'zgaruvchan elektromagnit maydon bu sim bilan yer orasida katta fazoni egallaydi, bu bilan to'liqinni nurlatish quvvati keskin ortadi (5- *f* rasm). Elektromagnit to'liqlar nurlatish quvvatini orttirish maqsadida tebranish konturiga ulanuvchi qurilma **antenna** deb ataladi. Antennani 1895- yilda A.S. Popov ixtiro qilgan.

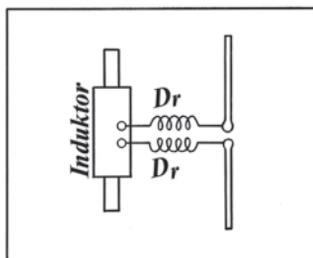
Ochiq tebranish konturida elektromagnit tebranishlar uyg'otish uchun o'tkazgich (metall sterjen)ning o'rtasidan qirqib, havo oralig'i hosil qilish kerak. Bu oraliq **uchqun oraliq** deb ataladi (6- rasm). Sig'imni orttirish uchun tebranish konturini hosil qiluvchi sterjenlarning uch- qun oraliq tomonidagi uchlarini yo'g'onlashtirib sfera shaklida yasash mumkin. Shunday sodda qurilmadan foydalanib, 1888- yilda nemis fizigi Gers dunyoda birinchi bo'lib elektromagnit



6- rasm.

to'liqlarni hosil qildi va bu qurilma uning sharafiga **Gers vibratori** deb ataldi.

Shuni aytib o'tish lozimki, Maksvell elektromagnit to'liqlarning real mavjudligiga juda qattiq ishonar edi. Lekin bu to'liqlarning borligi Maksvellning vafotidan qariyb 10 yil keyingina Gers tomonidan tajribada tasdiqlandi.

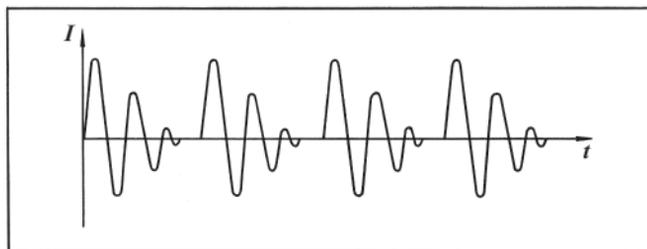


7- rasm.

Elektromagnit tebranishlarni uyg'otish uchun vibrator induktorga ulanadi (7- rasm) va ikkala o'tkazgich yuqori potentsiallar farqi hosil bo'lguncha zaryadlanadi. Potentsiallar farqi ma'lum bir qiymatga erishgach, vibratorning har ikkala yarmini tutashtiruvchi uchqun hosil bo'ladi. Natijada uchqun o'chguncha davom etadigan erkin so'nuvchi tebranishlar yuzaga keladi. Tebranishlarda hosil bo'ladigan yuqori chastotali tokni induktor chulg'amiga o'tkazmaslik uchun vibrator bilan induktor orasiga Dr drossel, ya'ni katta induktivlikka ega bo'lgan g'altak ulangan. Uchqun o'chgandan so'ng vibrator induktordan yana zaryad oladi va jarayon yangidan qaytariladi.

Gers vibratorining kamchiligi shundaki, induktordan vibratorga energiya uzatish chastotasi vibratorning xususiy tebranishlar chastotasidan ancha kam. Shuning uchun Gers vibratorining elektromagnit tebranishlari bir-biridan bir oz kechikib keluvchi so'nuvchi tebranishlar seriyasidan iborat bo'ladi (8- rasm).

So'nmaydigan tebranishlar hosil qilish uchun energiyani konturning xususiy tebranishlar chastotasiga teng chastota bilan avtomatik berib turish, ya'ni avtotebranishlar sistemasini hosil qilish zarur. Elektron lampa – (triod)dan foydalanib, bunday avtotebranish konturi hosil qilish mumkin bo'ladi.



8- rasm.

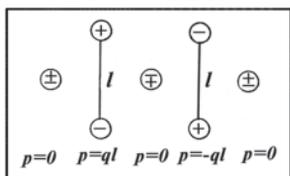
Gers o'z tajribalarida elektromagnit tebranishlar chastotasini 10^8 Hz tartibgacha yetkazdi va uzunligi 10 m dan 0,6 m gacha bo'lgan to'lqinlar oldi. 1895- yilda P.N. Lebedev juda kichik vibrator ishlatib to'lqin uzunligi 6 mm ga teng bo'lgan elektromagnit to'lqinlar hosil qildi. Yana ham qisqaroq (uzunligi 0,1 mm ga yaqin) to'lqinlarni 1923- yilda A.A. Glagoleva-Arkadeva yalpi tarqatkich deb ataladigan tarqatkich yordamida hosil qildi.

5- §. Yassi elektromagnit to'lqin. To'lqin tenglamasi

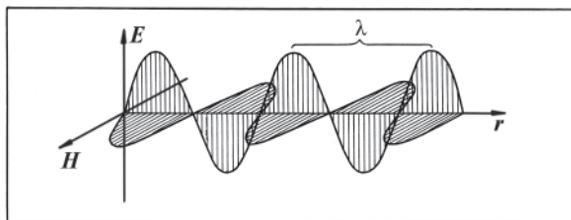
Elektromagnit to'lqinlarning manbalari turli-tuman o'zgaruvchan toklar, jumladan, o'tkazgichlardagi o'zgaruvchan tok, ionlar, elektronlar va boshqa zaryadli zarralarning tebranma harakatlari bo'lishi mumkin. O'zgaruvchan tokka ekvivalent eng sodda sistema p momenti garmonik o'zgaruvchan bo'lgan elektr dipoldir. Dastlabki payt ($T=0$) da bunday dipolning $+q$ va $-q$ zaryadlarining markazlari bir-birining ustiga tushadi va shuning uchun dipol momenti $p=0$ bo'ladi (9- rasm). Chorak davr ($\frac{1}{4}T$) dan so'ng zaryadlar bir-biridan maksimal l masofaga siljiydi va dipolning momenti $p=ql$ maksimal qiymatiga erishadi. Yarim davr ($\frac{1}{2}T$) dan so'ng zaryadlar bir-biriga yaqinlashadi va bunda $p=0$ bo'ladi. So'ngra davrning to'rtinchi qismi ($\frac{3}{4}T$) o'tgach, zaryadlar bir-biridan qarama-qarshi tomonga l masofaga siljiydi, natijada dipol momenti yana maksimal qiymati ($p=-ql$) ga erishadi, lekin endi uning yo'nalishi qarama-qarshi bo'ladi. Va, nihoyat, bir davr (T) vaqt o'tganda zaryadlar yana bir-biriga yaqinlashadi, dipol momenti $p=0$ bo'ladi. Shu tarzda bu jarayon davriy takrorlanaveradi. Shunday qilib, dipol momentining tebranishi tufayli o'zgaruvchan elektromagnit maydon hosil bo'ladi va atrof fazoga elektromagnit to'lqin tarqaladi.

Nurlatkichdan tarqalayotgan elektromagnit maydon Maksvell nazariyasidan kelib chiqadigan va juda ko'p tajribalardan olingan natijalar asosida aniqlangan quyidagi xususiyatlarga ega:

1. \vec{E} elektr maydon kuchlanganlik vektori elektromagnit to'lqinlar tarqalishi yo'nalishiga perpendikulyar tekislikda tebranadi.



9- rasm.



10- rasm.

2. \vec{H} magnit maydon kuchlanganlik vektori elektromagnit to'liqlar tarqalishi yo'nalishiga perpendikulyar tekislikda tebranadi.

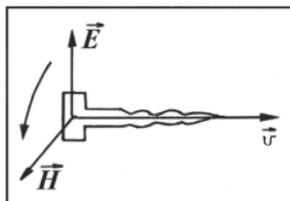
3. \vec{E} va \vec{H} vektorlar o'zaro perpendikulyar bo'lib, ularning tebranishlari hamma vaqt bir xil fazada sodir bo'ladi. Demak, elektromagnit to'liqni shunday ikki o'zaro perpendikulyar tekisliklarda yotuvchi sinusoidal shaklida (10- rasm) tasvirlash mumkinki, bunda to'liq shu ikki tekislik kesishishi natijasida hosil bo'lgan chiziq bo'ylab tarqaladi.

Sinusoidalardan biri \vec{E} vektorining, ikkinchisi esa \vec{H} vektorining tebranishlarini ifodalaydi.

Shunday qilib, elektromagnit to'liq ko'ndalang bo'lib, unda \vec{E} , \vec{H} va to'liqning tarqalish tezligi \vec{v} vektorlar o'zaro perpendikulyar ekan. Ularning bir-biriga nisbatan joylashuvi o'ng vint sistemasini hosil qiladi: agar vint dastasini \vec{E} vektorining uchidan \vec{H} vektori uchi tomon eng qisqa yo'l bo'yicha (90° li kichik burchak ostida) buralganda vintning ilgarilanma harakati yo'nalishi \vec{v} vektor yo'nalishi bilan mos tushishi kerak (11- rasm).

Agar elektromagnit to'liqning \vec{E} va \vec{H} vektorlarining to'g'ri burchakli koordinatalar sistemasi o'qlaridagi proyeksiyalari to'liq chastotasi deb ataladigan chastota bilan bir xil chastotada garmonik tebransa, bunday to'liq **monoxromatik elektromagnit to'liq** deb ataladi.

Sinusoidal to'liq monoxromatik to'liq bo'ladi. ω siklik chastota bilan sinusoidal tebranayotgan to'liqni manbadan yetarlicha uzoq masofada yassi to'liq deb hisoblash mumkin. X o'qi bo'yicha tarqalayotgan yassi elektromagnit to'liq tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:



11- rasm.

$$E = E_0 \sin(\omega t \pm kx + \alpha_0); \quad (8)$$

$$H = H_0 \sin(\omega t \pm kx + \alpha_0), \quad (9)$$

bunda: E , H va E_0 , H_0 — mos ravishda \vec{E} va \vec{H} vektorlarining oniy va amplituda qiymatlari, k — to‘lqin son deb ataladigan kattalik, α_0 — koordinatasi $x=0$ bo‘lgan nuqtadagi tebranishlarning boshlang‘ich fazasi. (8) va (9) formulalarda boshlang‘ich fazalar bir xil, chunki elektromagnit to‘lqinda \vec{E} va \vec{H} vektorlar bir xil fazada tebranadi. Xususiyl holda boshlang‘ich faza $\alpha_0 = 0$ bo‘lishi mumkin. U holda yassi elektromagnit to‘lqin tenglamasi quyidagi ko‘rinishda ifodalanadi:

$$E = E_0 \sin(\omega t \pm kx), \quad H = H_0 \sin(\omega t \pm kx). \quad (10)$$

Bu formulalar, agar qavsda kx oldida «minus» ishora turgan bo‘lsa, x o‘qi bo‘ylab uning musbat qiymatlari yo‘nalishida tarqalayotgan yassi elektromagnit to‘lqin, agar qavsda kx oldida «plyus» ishora turgan bo‘lsa, x o‘qi bo‘ylab uning manfiy qiymatlari yo‘nalishida tarqalayotgan yassi elektromagnit to‘lqin tenglamasini beradi.

Maksvellning elektromagnit maydon nazariyasidan kelib chiqadiki, \vec{E} va \vec{H} vektorlarining modullari o‘zaro quyidagi munosabat orqali bog‘langan:

$$\sqrt{\epsilon \epsilon_0} E = \sqrt{\mu \mu_0} H, \quad (11)$$

bunda: ϵ_0 va μ_0 — mos ravishda elektr va magnit doimiylari; ϵ — elektromagnit to‘lqin tarqalayotgan muhitning dielektrik kirituvchanligi; μ — shu muhitning magnit singdiruvchanligi.

6- §. Elektromagnit to‘lqin tezligi. Elektromagnit to‘lqin uzunligi

Maksvell nazariyasiga asosan, elektromagnit to‘lqinlarning tarqalish tezligi chekli qiymatga ega bo‘lib, u to‘lqin tarqalayotgan muhitning elektr va magnit xususiyatlariga bog‘liq. Maksvell tenglamalari yechimidan elektromagnit to‘lqinlarning tarqalish tezligi uchun quyidagi munosabat kelib chiqadi:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0 \cdot \epsilon \mu}}. \quad (12)$$

Agar elektromagnit to‘lqinlar vakuumda tarqalayotgan bo‘lsa, u holda $\epsilon=1$ va $\mu=1$ bo‘ladi. Binobarin, elektromagnit to‘lqinlarning vakuumda tarqalish tezligi quyidagi munosabat bilan ifodalanadi:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}. \quad (13)$$

(12) formulani e‘tiborga olinsa, u holda:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}} \quad (14)$$

bo‘ladi. Demak, elektromagnit to‘lqinlarning muhitda tarqalish tezligi vakuumdagi tezligidan $\sqrt{\epsilon \mu}$ marta kichik ekan.

(13) formulaga ϵ_0 elektr va μ_0 magnit doimiylarning son qiymatlarini qo‘yib, c tezlikni hisoblaylik:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = \frac{1}{\sqrt{8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}}} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Elektromagnit to‘lqinlarning vakuumda tarqalish tezligining bu qiymati yorug‘likning vakuumda tarqalish tezligiga teng bo‘lib chiqdi va u yorug‘lik tezligining eksperimental o‘lchangan qiymati ($c \approx 300000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$) bilan mos tushadi. Bu holat Maksvellni *yorug‘lik elektromagnit to‘lqinlardan iborat*, degan xulosaga olib keldi.

Elektromagnit to‘lqinlar ham barcha to‘lqin jarayonlar kabi T — tebranishlar davri; ω — tebranishlarning siklik chastotasi; ν — tebranishlar chastotasi; λ — to‘lqin uzunligi kabi parametrlar bilan xarakterlanadi.

Elektromagnit to‘lqinning bir tebranish davriga teng vaqt davomida ko‘chish masofasiga to‘lqin uzunligi deyiladi, yoki elektromagnit to‘lqinda bir xil fazada tebranayotgan bir-biriga eng yaqin nuqtalar orasidagi masofa to‘lqin uzunligi deyiladi (10- rasmga qarang). (Bu nuqtalarning tebranish fazalari 2π ga farq qilishi ravshan).

Shunday qilib, agar bir jinsli muhitda to‘lqinning tarqalish tezligi v bo‘lsa, tebranish davri, chastotasi, to‘lqin uzunligi bilan tezlik orasida quyidagicha munosabat bor:

$$\lambda = vT, \quad \lambda = \frac{v}{\nu}. \quad (15)$$

Vakuumda:

$$\lambda_o = cT = \frac{c}{\nu} \quad (16)$$

bo'ladi, bunda: λ_o — vakuumdagi to'liqin uzunligi. To'liqinning tarqalish tezligi muhitni xarakterlovchi elektr va magnit kattaliklar ϵ va μ ga bog'liq (14 formulaga qarang) bo'lgani uchun to'liqin bir muhitdan ikkinchi muhitga o'tganda tezlik va to'liqin uzunligi o'zgaradi, chastota o'zgarmaydi, chunki to'liqin chastotasi nurlatkich chastotasi bilan birday bo'ladi. Binobarin, agar to'liqin vakuumdan muhitga (yoki, aksincha) o'tsa, u holda (14), (15) va (16) ifodalarga asosan quyidagi formula hosil bo'ladi:

$$\lambda = \frac{\lambda_o}{\sqrt{\epsilon\mu}}. \quad (17)$$

Demak, muhitda elektromagnit to'liqin uzunligi vakuumdagidan $\sqrt{\epsilon\mu}$ marta kam bo'ladi.

Tebranshlarining siklik chastotasi $\omega=2\pi\nu$ va (9) formulani e'tiborga olib, to'liqin son $k = \frac{\omega}{v}$ ni ko'rib chiqaylik [(8) va (9) formulalarga qarang]:

$$k = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi\nu}{v} = \frac{2\pi}{vT} = \frac{2\pi}{\lambda}. \quad (18)$$

Demak, (18) formuladan ko'rinadiki, *to'liqin son deb ataladigan kattalik son jihatdan 2π ga teng masofaga nechta to'liqin uzunligi joylashishi mumkinligini ko'rsatar ekan.*

(18) formuladan foydalanib, yassi elektromagnit to'liqin tenglamasi (10) ni yana quyidagi ko'rinishlarda ifodalash mumkin:

$$E = E_o \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} \pm \frac{x}{\lambda}\right) \quad \text{va} \quad H = H_o \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} \pm \frac{x}{\lambda}\right) \quad (19)$$

yoki:

$$E = E_o \sin \omega\left(t \pm \frac{x}{v}\right) \quad \text{va} \quad H = H_o \sin \omega\left(t \pm \frac{x}{v}\right). \quad (20)$$

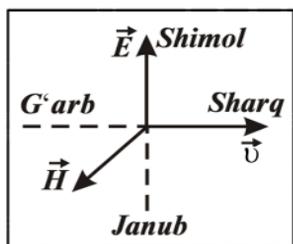
Takrorlash uchun savollar

1. *Maksvellning elektromagnit maydon nazariyasi asosida qanday g'oyalari yotadi?*
2. *Elektromagnit maydon deganda nimani tushunasiz? Uning uyurmaviy xarakterini grafikda tasvirlang.*
3. *Siljish toki nima? Uning odatdagi tokdan farqi nimada?*

4. To'liq tok zichligi ifodasini yozing va tushuntiring.
5. Maksvell tenglamalari integral ko'rishda qanday yoziladi? Fizik mazmunini tushuntiring.
6. Makvell tenglamalari dijjensial ko'rinishda qanday ifodalanad? Bu ifodalar qanday fizik kattaliklarni bir-biri bilan bog'laydi?
7. «Bregg zanjiri» yordamida Maksvellning elektromagnit maydon nazariyasi qanday tushuntiriladi?
8. Maksvell elektromagnit nazariyasining ahamiyati nimalardan iborat?
9. Elektromagnit to'lqin deb nimaga aytiladi?
10. Qanday konturni ochiq tebranish konturi deb ataladi?
11. Antenna nima? Uni kim ixtiro qilgan?
12. Gers vibrator nima? Undan qanday maqsadlarda foydalaniladi?
13. Gers tajribalarini tushuntiring.
14. Nima uchun Gers vibratorining elektromagnit tebranishlari so'nuvchi tebranishlar bo'ladi? So'nmas tebranishlarni hosil qilish uchun nima qilish kerak?
15. Dipol momenti garmonik o'zgaruvchan bo'lgan elektr dipoli elektromagnit to'lqinlarning manbasi bo'la olishini tushuntiring.
16. Nurlatkichdan tarqalayotgan elektromagnit maydonning Maksvell nazariyasidan kelib chiqadigan va ko'p tajribalarda isbotlangan qanday xususiyatlarini bilasiz?
17. Elektromagnit to'lqinda \vec{E} , \vec{H} va \vec{v} vektorlar bir-biriga nisbatan qanday joylashgan? Ularning o'zaro joylashuvi qanday aniqlanadi?
18. Monoxromatik to'lqin deganda qanday to'lqinni tushunasiz?
19. Yassi elektromagnit to'lqin tenglamasini yozing va tushuntiring.
20. To'lqin soni nimani anglatadi?
21. Elektromagnit to'lqinda \vec{E} va \vec{H} vektorlar bir xil fazada tebranadi, deganda siz nimani tushunasiz?
22. \vec{E} va \vec{H} vektorlarining modullari o'zaro qanday bog'langan?
23. Elektromagnit to'lqin tezligi ifodasini yozing va qanday kattaliklarga bog'liq ekanligini tushuntiring.
24. Elektromagnit to'lqin uzunligi, tebranishlar chastotasi va davri orasidagi bog'lanishlarni ifodalovchi formulalarni yozing.
25. Nima uchun elektromagnit to'lqin bir muhitdan ikkinchi muhitga o'tganda uning tezligi va to'lqin uzunligi o'zgaradi, chastotasi esa o'zgarmaydi?
26. Elektromagnit to'lqinning vakuumdagi to'lqin uzunligidan muhitdagi to'lqin uzunligi qanday kattalikka farq qiladi?

Masala yechish namunalari

1- masala. Televizorning qabul qiluvchi antennasi shimol-janub yo'nalishda gorizontali oriyentatsiyalangan. Televizion markazdan



12- rasm.

kelayotgan magnit induksiya vektorining tebranishlari qanday orientatsiyalangan va televizion markaz antennaga nisbatan qanday yoʻnalishda joylashgan?

Yechilishi. Televizionning qabul qiluvchi antenasi shunday orientatsiyalanganiki, bunda qabul qilinayotgan elektromagnit toʻlqinning elektr maydon kuchlanganlik vektorining tebranishlari yoʻnalishi anten-

na uzunasi bilan mos tushadi. Binobarin, bu holda \vec{E} vektori tebranishlari shimol-janub yoʻnalishida sodir boʻladi. Elektromagnit toʻlqinda $\vec{E} \perp \vec{H} \perp \vec{v}$. Demak, magnit induksiya vektorining tebranishlari vertikal tekislikda sodir boʻladi. Televizion markaz esa antennaga nisbatan sharq yoki gʻarb tomonda joylashgan boʻladi (12- rasm).

2- masala. Dielektrik kirituvchanligi 2 ga, magnit singdiruvchanligi taxminan 1 ga teng bir jinsli va izotrop muhitda elektromagnit toʻlqin X yoʻnalishida tarqalmoqda. Toʻlqinda magnit maydon kuchlanganlik vektorining tebranishlari:

$$H = 0,12 \sin(\omega t - kx) \frac{\text{mA}}{\text{m}}$$

sinusoidal qonun boʻyicha sodir boʻlsa, elektr maydon kuchlanganlik vektorining tebranishlari qanday qonun boʻyicha sodir boʻladi? Toʻlqinning shu muhitda tarqalish tezligini toping.

Berilgan: $H = 0,12 \sin(\omega t - kx) \frac{\text{mA}}{\text{m}}$; bundan:

$$H_o = 0,12 \frac{\text{mA}}{\text{m}} = 0,12 \cdot 10^{-3} \frac{\text{A}}{\text{m}};$$

$$\epsilon = 2; \mu = 1; \epsilon_o = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}; \mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}; c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Topish kerak: $E - ?$ $v - ?$

Yechilishi. Elektromagnit toʻlqinda elektr va magnit maydon kuchlanganliklari bir xil qonuniyat boʻyicha va bir xil fazada tebranadi. Shuning uchun quyidagi ifodani yozish mumkin:

$$E = E_o \sin(\omega t - kx). \quad (21)$$

Bunda: E_o — elektr maydon kuchlanganligining amplitudasi, uning kattaligini E_o va H_o larni oʻzaro bogʻlovchi $\sqrt{\epsilon\epsilon_o} E_o = \sqrt{\mu\mu_o} H_o$ ifodadan topamiz:

$$E_o = \sqrt{\frac{\mu\mu_o}{\epsilon\epsilon_o}} H_o. \quad (22)$$

(22) ifodadan E_o ning qiymatini (21) ga keltirib qo'ysak, u holda quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$E = \sqrt{\frac{\mu\mu_o}{\epsilon\epsilon_o}} H_o \sin(\omega t - kx).$$

To'lqinning tarqalish tezligini esa quyidagi munosabatdan foydalanib topish mumkin:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}.$$

Bunda: c — to'lqinning vakuumda tarqalish tezligi.

$$\text{Hisoblash: } E_o = \sqrt{\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}}{2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}}} \cdot 0,12 \cdot 10^{-3} \frac{\text{A}}{\text{m}} = 0,032 \frac{\text{B}}{\text{m}}.$$

$$\text{Demak: } E = 0,032 \cdot \sin(\omega t - kx) \frac{\text{B}}{\text{m}}; \quad v = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{\sqrt{2} \cdot 1} = 2,12 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

3- masala. Ikki simli liniya elektromagnit tebranishlar generatori bilan induktiv ravishda ulangan bo'lib, spirtga solib qo'yilgan. Agar turg'un do'ngliklari orasidagi masofa 0,5 m, spirt uchun $\epsilon=26$ va $\mu=1$ bo'lsa, generatorning chastotasi va to'lqinning vakuumdagi uzunligini aniqlang.

$$\text{Berilgan: } l = 0,5 \text{ m}; \quad \epsilon = 26; \quad \mu = 1; \quad c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

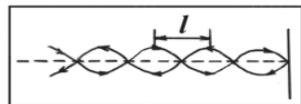
Topish kerak: v —? λ_o —?

Yechilishi. Elektromagnit to'lqin uzunligi bilan chastotasi orasida $\lambda = \frac{v}{\nu}$ bog'lanish mavjud. Bundan $\nu = \frac{v}{\lambda}$; bunda: λ — to'lqinning spirtdagi uzunligi.

Uni masalaning shartiga asosan topish mumkin. Ma'lumki, turg'un to'lqinda do'ngliklar (maksimumlar) orasidagi masofa to'lqin uzunligining

yarmiga teng, ya'ni: $l = \frac{\lambda}{2}$ (13- rasm),

bundan: $\lambda = 2l$. Elektromagnit to'lqinning



13- rasm.

tarqalish tezligi $v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$ ga teng. Demak, generatorning chastotasi

$$v = \frac{c}{2l\sqrt{\epsilon\mu}} \text{ dan, vakuumdagi to'liqin uzunlik esa } \lambda_o = \lambda\sqrt{\epsilon\mu} = 2l\sqrt{\epsilon\mu}$$

dan aniqlanadi.

Hisoblash:

$$v = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \cdot 0,5 \text{m} \cdot \sqrt{26 \cdot 1}} = 58,8 \cdot 10^6 \text{ Hz} = 58,8 \text{ MHz};$$

$$\lambda_o = 2 \cdot 0,5 \text{m} \cdot \sqrt{26 \cdot 1} = 5,1 \text{m}.$$

4- masala. Radiopriyomnikning qabul qilish konturi 1,5 mH induktivlikka va 450 pF sig'imga ega bo'lsa, u qanday uzunlikdagi to'liqinga sozlangan?

Berilgan: $L=1,5 \text{ mH}=1,5 \cdot 10^{-3} \text{ H}$; $C=450 \text{ pF}=4,5 \cdot 10^{-10} \text{ F}$.

Topish kerak: $\lambda=?$

Yechilishi. Efirda uzatilayotgan elektromagnit to'liqinni tutishda rezonans hodisasidan foydalaniladi. Buning uchun radiopriyomnikning qabul qilish konturining xususiy tebranishlar chastotasi efirdan kelayotgan to'liqin chastotasiga sozlanadi. Konturning xususiy tebranishlar davri quyidagi Tomson formulasidan topiladi:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}.$$

Demak, kontur sozlangan elektromagnit to'liqin uzunligi

$$\lambda = cT = c \cdot 2\pi\sqrt{LC}$$

ifodadan hisoblab topiladi.

Hisoblash:

$$\lambda = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{1,5 \cdot 10^{-3} \text{ H} \cdot 4,5 \cdot 10^{-10} \text{ F}} = 1547,9 \text{ m} = 1,548 \text{ km}.$$

5- masala. Sinusoidal elektromagnit tebranishlar manbayidan 4 m masofadagi nuqtada E elektr maydon kuchlanganligi $t = \frac{T}{6}$ paytda yarim amplituda qiymatiga erishadi. Radioto'liqinning uzunligi va chastotasini toping.

Berilgan: $x = 4 \text{m}$; $t = \frac{T}{6}$; $E = \frac{E_o}{2}$; $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Topish kerak: $\lambda=?$ $v=?$

Yechilishi. Masalaning shartiga ko'ra E vektorining tebranishlari

$$E = E_0 \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

sinusoidal qonun bo'yicha sodir bo'ladi. Bu ifodaga x , t va E larning qiymatlarini keltirib qo'yamiz, $2\pi = 360^\circ$ ekanligini hisobga olsak, u holda:

$$\frac{E_0}{2} = E_0 \sin 360^\circ \left(\frac{1}{T} \cdot \frac{T}{6} - \frac{4}{\lambda} \right)$$

bo'ladi. Bundan:

$$\sin 360^\circ \left(\frac{1}{6} - \frac{4}{\lambda} \right) = \frac{1}{2}$$

kelib chiqadi. Ma'lumki, $\sin 30^\circ = \frac{1}{2}$. Shuning uchun

$360^\circ \left(\frac{1}{6} - \frac{4}{\lambda} \right) = 30^\circ$ deb yoza olamiz. So'nggi ifodadan λ ni topsak,

$\lambda = 48$ m bo'ladi. Radioto'lqin chastotasi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$v = \frac{1}{T} = \frac{c}{\lambda}$$

Bu formuladagi kattaliklar o'rniga son qiymatlarini qo'yib hisoblaymiz:

$$v = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{48 \text{m}} = 6,25 \cdot 10^6 \text{s}^{-1} = 6,25 \cdot 10^6 \text{Hz}$$

Shunday qilib, radioto'lqinning to'lqin uzunligi $\lambda = 48$ m va chastotasi $v = 6,25 \cdot 10^6$ Hz ga teng ekan.

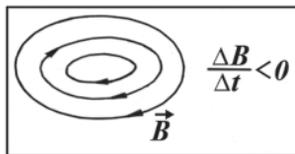
Mustaqil yechish uchun masalalar

1. 14- rasmda magnit maydon induksiya chiziqlari tasvirlangan.

Induksiya vektorining o'zgarishi $\frac{\Delta B}{\Delta t} < 0$.

Shu rasmda elektr maydonning kuch chiziqlarini tasvirlang.

2. $\sqrt{\epsilon \epsilon_0} E = \sqrt{\mu \mu_0} B$ munosabatdan foydalanib, magnit maydon



14- rasm.

kuchlanganlik vektorining SI o'lchov birligi $\frac{A}{m}$ ekanligini isbot qiling.

3. Yassi elektromagnit to'liqin bir jinsli va izotrop muhitda tarqaladi. Muhitning dielektrik kirituvchanligi $\epsilon=3$ ga, magnit singdiruvchanligi $\mu=1$ ga teng. Agar elektr maydon kuchlanganligining amplitudasi

$10 \frac{V}{m}$ ga teng bo'lsa, magnit maydon kuchlanganligining amplitudasini va to'liqinning tarqalish tezligini toping.

4. Birinchi kosmik yo'ldosh-kema «Vostok»da o'rnatilgan radioperedatchiklardan biri 20 MHz chastotada ishlagan. Radioto'liqlarning uzunligi va davrini toping.

5. Tebranish konturining to'liqin uzunligi 1 km dan 2 km gacha diapazonda o'zgaradi. Agar konturning sig'imi 1000 pF ga teng bo'lsa, kontur induktivligining o'zgarish diapazonini aniqlang?

6. Agar kerosin uchun $\epsilon=2$ va $\mu=1$ bo'lsa, unda elektromagnit to'liqinning tarqalish tezligi qanday bo'ladi? To'liqin uzunligi vakuumdagi to'liqin uzunligidan necha marta farq qiladi?

7. Tebranish konturi 2000 pF sig'imli yassi kondensator va $2 \cdot 10^{-3}$ Hz induktivlik g'altigidan iborat. Shu kontur qanday to'liqin uzunligiga moslangan? Agar kondensator qoplamalari orasidagi fazo parafin shimdirilgan qog'oz bilan to'ldirilsa, to'liqin uzunligi qanday o'zgaradi? Konturning qarshiligini hisobga olmang. Parafin uchun $\epsilon=6$ deb oling.

8. Elektromagnit to'liqlar bir jinsli muhitda $2 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$ tezlik bilan tarqaladi. Agar vakuumda elektromagnit tebranishlar chastotasi 1 MHz bo'lsa, ularning muhitdagi to'liqin uzunligi qanday bo'ladi? U vakuumdagi to'liqin uzunlikdan necha marta kichik?

9. t vaqtning $\frac{T}{3}$, $\frac{T}{6}$, $\frac{T}{9}$ ga teng paytlari uchun elektromagnit

tebranishlar manbayidan $x = \frac{\lambda}{12}$ masofadagi nuqtada tebranishlari sinusoidal qonun bo'yicha o'zgarayotgan E elektr maydon kuchlanganligining oniy qiymatlarini toping. E ning tebranishlar

amplitudasi $10 \frac{V}{m}$.

7- §. Elektromagnit to‘lqinlarning xossalari

Yuqorida elektromagnit to‘lqinlarning ba‘zi xossalari bilan tanishdik. Ularni ta’kidlab o‘tamiz:

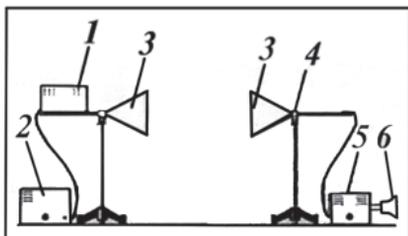
1) elektromagnit to‘lqinlar ko‘ndalang to‘lqinlarga kiradi, ya’ni

\vec{E} va \vec{H} vektorlarning tebranishlari to‘lqinning tarqalish yo‘nalishiga perpendikulyar tekislikda sodir bo‘ladi;

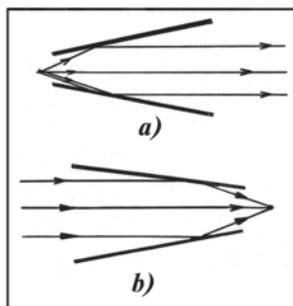
2) elektromagnit to‘lqinlar vakuumda yorug‘likning vakuumdagi tezligiga teng tezlik ($c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$) bilan tarqaladi;

3) elektromagnit to‘lqinlarning tezligi va to‘lqin uzunligi muhitning elektr va magnit xossalariga bog‘liq, chastotasi esa barcha muhitlarda o‘zgarmaydi.

Bulardan tashqari elektromagnit to‘lqinlar quyidagi bir qator xossalarga esa. Shularni ko‘rib chiqaylik. Bu maqsadda sxemasi 15- rasmda keltirilgan qurilmadan foydalanamiz. Qurilma tarkibiga tebranishlari (2) tovush generatoridan olinadigan signal bilan modulyatsiyalanadigan (1) klistron, elektromagnit to‘lqinlarni tarqatuvchi va qabul qiluvchi (3) rupor antennalar, (4) detektor, (5) past chastotali kuchaytirgich va (6) radiokarnay kiradi. Rupor antennaning ishlash prinsipini 16- rasmdan tushunib olish mumkin. Ruporning o‘qi bo‘ylab elektromagnit tebranishlar manbayidan tarqalgan to‘lqinlar ruporning ichki sirtidan qaytishi tufayli rupor bo‘lmagan holda tarqaladigan to‘lqinlardan ancha kuchli bo‘ladi (16- a rasm). Shunday ko‘rinishdagi qabul qiluvchi antenna uning o‘qi bo‘ylab kelayotgan to‘lqinlarni qabul qiladi (16- b rasm). (Bu qurilmada elektromagnit to‘lqinlarning uzatilishi va qabul qilinishi qanday amalga oshirilishi haqida keyingi mavzularda tanishib boramiz).



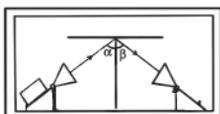
15- rasm.



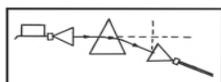
16- rasm.

1. *Elektromagnit to'liqlarning to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalishi.* Elektromagnit to'liqlarning to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalishiga ishonch hosil qilish uchun qabul qiluvchi (3) antenna karnayini nur tarqatuvchi 3- antenna karnayi qarshisiga o'rnatamiz va tovush signali mavjudligiga ishonch hosil qilamiz. Endi qabul qiluvchi antenna yo'nalishini o'zgartiraylik. Bunda tovush signali pasayadi.

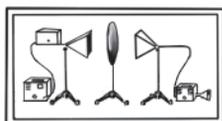
2. *Elektromagnit to'liqlarning qaytishi.* Endi antennalarni tutashtiruvchi to'g'ri chiziqqa perpendikulyar ravishda elektromagnit to'liq yo'lga metall plastinka joylashtiraylik. U holda hech qanday tovush signali eshitilmaydi. Bundan metall to'siq elektromagnit to'liqni to'la qaytarishiga ishonch hosil qilamiz. To'liqni metall to'siqqa ma'lum burchak ostida yo'naltirib, elektromagnit to'liqlar uchun ham qaytish qonunining bajarilishiga ishonch hosil qilamiz (17- rasm).



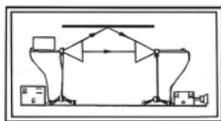
17- rasm.



18- rasm.



19- rasm.



20- rasm.

3. *Elektromagnit to'liqlarning sinishi.* Endi to'liqning yo'lga parafindan yasalgan prizmani joylashtiraylik (18- rasm), bunda tovush signali eshitilmaydi. Qabul qiluvchi antenna karnayini vertikal yo'nalishda siljitaylik. Prizmadan o'tayotib, elektromagnit to'liq uning asosiga tomon og'ganiga antenna karnayini prizmaning asosiga tomon siljitganda tovush signali hosil bo'lishidan ishonch hosil qilamiz.

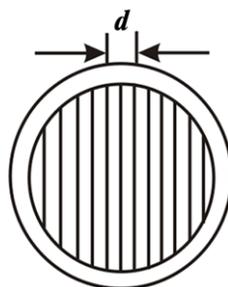
Agar to'liqning yo'lga parafindan yasalgan linzani joylashtirsak, u holda qabul qiluvchi antenna karnayini linzaning fokusi atrofida u yoqdan-bu yoqqa siljitib, linzaning fokuslovchi ta'sirini sezamiz (19- rasm).

4. *Elektromagnit to'liqlarning interferensiyasi.* 20- rasmda sxemasi keltirilgan qurilma vositasida elektromagnit to'liqlarning interferensiyalanishini kuzatish mumkin. Rasmdan ko'rinishicha, bunda qabul qiluvchi antenna karnayiga turli yo'nalishlar bilan tarqalayotgan

ikki to'liq tebranishlari kelib tushadi: to'liqlardan biri qabul qiluvchi antenna karnayiga kelib tushishdan avval metall ekrandan qaytadi, ikkinchisi esa bo'sh fazo orqali bevosita kelib tushadi. Metall plastinka gorizontal holda vertikal yo'nalishda siljitilganda tovush goh kuchayadi, goh pasayadi. Bu holatni plastinkaning vaziyati

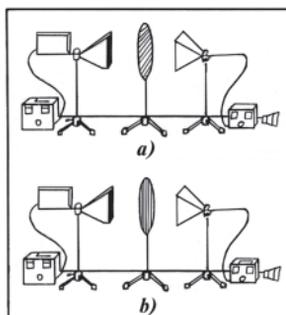
o'zgaranda, qabul qiluvchi antennaga yetib borgan va plastinkadan qaytgan to'qlinlarning yo'l ayirmasining o'zgarishi natijasida to'qlinlar yo bir-birini kuchaytiradi yoki susaytiradi, deb tushuntirish mumkin.

5. *Elektromagnit to'qlinlarning ko'ndalangligi.* Elektromagnit to'qlinlarning ko'ndalangligiga ishonch hosil qilish uchun quyidagicha eksperiment o'tkazamiz. Bu maqsadda oralaridagi d masofa o'rganilayotgan elektromagnit to'qlinning λ to'qlin uzunligidan kichik ($d < \lambda$) bo'lgan o'zaro parallel metall sterjen (sim)lardan panjara yasaymiz (21- rasm).



21- rasm.

Panjarani antennalarning orasiga sterjenlari yo gorizontaal yoki vertikal holatda bo'ladigan qilib joylashtiramiz. U holda panjaraning bu vaziyatlaridan birida to'qlin panjara orqali o'tadi (22- a rasm). Panjaraning boshqa holatida esa (22- b rasm), to'qlin panjara orqali o'tmaydi. Bu hodisani to'qlinning elektr maydoni o'tkazgich



22- rasm.

(panjara sterjeni)ga tushib, undagi elektronlar bilan ta'sirlashadi va ularni tebrantiradi, deb tasavvur qilib tushuntirish mumkin.

Haqiqatan ham, elektronlarning tebranishi ikkilamchi to'qlinlarning nurlanishiga olib keladi. Panjara sterjenlari unga tushayotgan to'qlinning elektr maydoni tebranishlari yo'nalishiga parallel bo'lganda elektronlarning tebranishi sterjenning butun uzunligi bo'yicha bir xil fazada yuz beradi, bu esa yetarlicha intensivlikka ega ikkilamchi to'qlinlarning nurlanishiga olib keladi.

Bu ikkilamchi to'qlinlar birlamchi (panjaraga tushayotgan) to'qlin bilan qo'shib bir-birini so'ndiradi, panjaradan elektromagnit to'qlin o'tmaydi. Panjara sterjenlari tushuvchi to'qlinning elektr tebranishlari yo'nalishiga perpendikulyar qilib joylashtirilganda ikkilamchi to'qlinlar hosil bo'lmaydi va birlamchi to'qlin panjara orqali o'tib qabul qilgichga yetib boradi.

Yuqorida o'tkazilgan eksperimentlar natijalari elektromagnit to'qlinlarning xossalari yorug'lik xossalariiga o'xshashligini ko'rsatadi. Ushbu va boshqa juda ko'p eksperimentlar asosida yorug'lik elektromagnit tabiatga ega, deb qat'iy aytish mumkin. Keyinroq

o‘tkazilgan ko‘pgina tajribalar shuni ko‘rsatadiki, nafaqat yorug‘lik nuri, balki infraqizil, ultrabinafsha, rentgen va gamma nurlar ham elektromagnit tabiatga ega ekan.

8- §. Elektromagnit to‘lqin energiyasi. Umov-Poynting vektori

Elektromagnit maydon energiyaga ega. Shuning uchun elektromagnit to‘lqinlar tarqalar ekan, ular elektromagnit maydonni xarakterlovchi kattalik — energiyani o‘zlari bilan eltadi.

Ma’lumki, elektr maydonning w_e va magnit maydonning w_m energiya zichliklari quyidagi ko‘rinishda ifodalanar edi (2- kitob, 21 va 97- § larga qarang):

$$w_e = \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2} \quad \text{va} \quad w_m = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2}.$$

Elektromagnit maydonning w energiya zichligi elektr maydonning w_e energiya zichligi bilan magnit maydonning w_m energiya zichligi yig‘indisiga teng bo‘ladi:

$$w = w_m + w_e = \frac{\epsilon\epsilon_0 H^2}{2} + \frac{\mu\mu_0 H^2}{2}. \quad (23)$$

\vec{E} va \vec{H} vektorlar modullari orasidagi munosabatni ifodalovchi (11) formulani e’tiborga olsak, u holda elektr va magnit maydonlar energiyalarining zichliklari vaqtning har bir onida birday bo‘ladi, degan xulosa chiqadi. Shuning uchun quyidagicha yoza olamiz:

$$w = 2w_e = \epsilon\epsilon_0 E^2. \quad (24)$$

Bizga ma’lum bo‘lgan $\sqrt{\epsilon\epsilon_0} E = \sqrt{\mu\mu_0} H$ formuladan elektr maydon kuchlanganligining qiymatini (24) ga keltirib qo‘ysak, quyidagi ifoda kelib chiqadi:

$$w = \sqrt{\epsilon\epsilon_0} \cdot \sqrt{\mu\mu_0} E \cdot H. \quad (25)$$

(12) formulaga muvofiq, elektromagnit to‘lqinning tezligi quyidagi formula orqali ifodalanishini e’tiborga olsak:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\epsilon_0} \sqrt{\mu\mu_0}},$$

u holda:

$$S = wv = E \cdot H \quad (26)$$

munosabatga ega bo'lamiz. $S = wv$ kattalikni energiya oqimi zichligi deb yuritiladi.

Elektromagnit to'liqning tarqalish yo'nalishiga perpendikulyar joylashgan birlik yuza orqali birlik vaqtda ko'chiriladigan energiyani energiya oqimi zichligi deb ataladi.

\vec{E} va \vec{H} vektorlar o'zaro perpendikulyar va to'liqning tarqalish yo'nalishi bilan o'ng vint sistemasini hosil qiladi (5- § ga qarang).

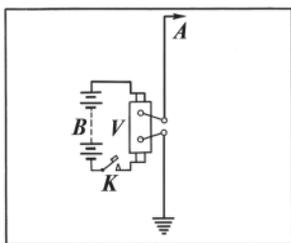
Binobarin, $[\vec{E} \vec{H}]$ vektorning yo'nalishi energiyaning ko'chish yo'nalishi bilan mos tushadi, bu vektorning moduli esa EH ga teng (chunki $\sin \alpha = \sin 90^\circ = 1$). Demak, *energiya oqimi zichligi vektorini* \vec{E} va \vec{H} vektorlarning vektor ko'paytmasi ko'rinishida berish mumkin:

$$\vec{S} = [\vec{E} \cdot \vec{H}]. \quad (27)$$

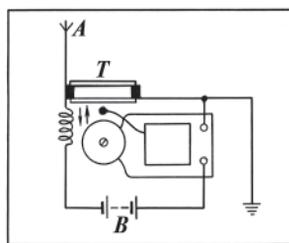
Energiya oqimi zichligining vektori tushunchasini birinchi bo'lib 1874- yilda umumiy holda topgan va uni elastik to'liqlarga tatbiq etgan rus olimi N.A. Umov edi. 1884- yilda ingliz fizigi J .G. Poynting esa bu vektorni xususiy holda elektromagnit to'liq uchun tatbiq etdi. Shu sababli \vec{S} vektor Umov-Poynting vektori deb ataladi.

9- §. Elektromagnit to'liqlarni qayd etish. Radioning kashf etilishi

Antenna tarqatadigan elektromagnit to'liqlar hamma tomonga birdek tarqaladi. Agar elektromagnit to'liqlar o'z yo'lida o'tkazgichlarga uchrasa, u holda bu to'liqlar o'tkazgichlarda o'zgaruvchan tok hosil qiladi. Bu toklarning chastotasi ularni vujudga keltirgan elektromagnit maydonning o'zgarish chastotasi bilan bir xil bo'ladi. Bunda elektromagnit maydon energiyasining bir qismi o'tkazgichlarda vujudga kelgan yuqori chastotali induksion tokning energiyasiga aylanadi. Elektromagnit to'liqlar ta'sirida yuqori chastotali o'zgaruvchan toklar uyg'otadigan o'tkazgichlar **qabul qiluvchi antennalar** deb ataladi.



23- rasm.



24- rasm.

Qabul qiluvchi antennalardan foydalanib, elektromagnit to‘lqinlar ustida qilingan tajribalar asosida atoqli rus fizigi A.S. Popov 1895- yil 7- mayda dunyoda birinchi bo‘lib radioni kashf qildi. U metall kukunlarining yuksak chastotali elektr tebranishlar ta‘sirida bir-biriga yopishishi va bu bilan o‘zlarining elektr o‘tkazuvchanligini o‘zgartirish xususiyatidan foydalanib, birinchi elektromagnit to‘lqinlarni sezuvchi priyomnik yaratdi.

A.S. Popov o‘z tajribasida elektromagnit to‘lqinlarni tarqatkich sifatida yerga ulangan antennadan foydalandi. Bunday tarqatkichning sxemasi 23- rasmda tasvirlangan. Sxemada *B* batareyadan ta‘minlanuvchi *V* Rumkorf g‘altagi batareyaning kuchlanishini o‘zgaruvchan yuqori kuchlanishga aylantirib beruvchi kuchaytirgichdir. Agar *K* kalit ulansa, uchqun oraliqda tebranma jarayondan iborat bo‘lgan uchqun hosil bo‘ladi va buning natijasida *A* antenna elektromagnit to‘lqinlar tarqata boshlaydi. Bu to‘lqinlar qabul qiluvchi stansiyadagi *A* antennaga yetib borgach (24- rasm), priyomnikning yerga ulangan antennadan va *T* kogererdan iborat zanjirida elektromagnit tebranishlar hosil qiladi. A.S. Popov elektromagnit to‘lqinlarni bevosita sezuvchi indikator sifatida kogererdan foydalangan. Kogerer Popov radiopriyomnigining eng asosiy qismi bo‘lib hisoblanadi.

Kogerer ichiga metall kukunlari solingan ikki elektrodli shisha naydan tashkil topgan. Uning ishlashi elektr razryadlarning metall kukuniga ko‘rsatadigan ta‘siriga asoslangan. Odatdagi sharoitda metall qirindilari bir-biriga jips yopishib turmaydi, shu sababli kogererning elektr qarshiligi juda katta bo‘ladi. Bunday kogererdan yuqori chastotali tok o‘tkazilsa, qirindilar orasida juda mayda uchqunlar hosil bo‘ladiki, bu uchqunlar qirindilarni bir-biriga jipslab qo‘yadi. Natijada kogererning elektr qarshiligi keskin kamayadi. Asbob silkitilsa, metall qirindilari bir-biridan ajraladi va kogererning katta qarshiligi yana tiklanadi. Popov kogererni silkitib turuvchi mexanizm sifatida elektr

qo'ng'iroqdan foydalanadi. Elektr qo'ng'iroq zanjiri elektromagnit to'lqin kelgan paytda kogerer orqali ulanadi. To'lqin qabul qilinganidan keyin qo'ng'iroq darhol to'xtaydi, chunki uning to'qmog'i qo'ng'iroq kosasiga emas, balki kogererga ham uriladi. Shundan keyin priyomnik yana yangi to'lqinni qabul qilishga tayyor bo'ladi.

Shunday qilib, Popov priyomnigida elektromagnit to'lqinlarning g'oyatda kichik energiyasidan kogerer vositasida qayd qiluvchi apparat — elektr qo'ng'iroqni energiya bilan ta'minlovchi elektr batareyasini boshqarish uchun foydalaniladi. Gers vibratorini takomillashtirib va o'zining radiopriyomnigini ishlatib A.S. Popov 1896- yilda dunyoda birinchi bo'lib uncha katta bo'lmagan (250 m) masofada, bir yildan so'ng 5 km masofada, 1899- yilda esa o'zi kashf etgan anten nasidan foydalanib 50 km masofada radiotelegraf aloqasini o'rnatdi. Keyinchalik 1901- yilda Atlantika okeani orqali radiotelegraf aloqasi o'rnatildi. 1904—1907- yillarda elektron lampalarning ixtiro qilinishi va 1913- yilda ularning so'nmas tebranishlarni generatsiyalash (uyg'otish) uchun qo'llanishi radiotelefon va radioeshittirishning rivojlanishiga katta imkon yaratdi.

Shuni qayd etish lozimki, G. Gersning elektromagnit to'lqinlar bo'yicha ishlaridan ta'sirlanib italyalik fizik va muhandis G. Markoni ham bu sohada tajribalar o'tkazgan hamda simsiz telegraf asbobini ishlab chiqqan. Markoni priyomnigining sxemasi ham Popov priyomnigi sxemasi kabi edi.

10- §. Modulyatsiya va detektorlash

Ma'lumki, barcha tovush tebranishlari past chastotali tebranishlardir. Masalan, tovushli axborot va musiqada bu chastotalar yuz gersdan bir necha ming gersgacha bo'ladi. Holbuki, vaqt birligi ichida uzatiladigan elektromagnit to'lqin energiyasi chastotaning to'rtinchi darajasiga proporsionaldir. Shu sababli past chastotali (tovush chastotali) elektromagnit to'lqinlar deyarli tarqalmaydi. Yuksak chastotali, masalan, lampali generatorda generatsiyalanadigan to'lqinlar yaxshi tarqaladi. Lekin bu to'lqinlar priyomnikda faqat sof garmonik tebranishlar hosil qiladi. Bunday tebranishlarni qabul qilish bilan faqat peredatchikning ishlayotgan yoki ishlamayotganligini bilamiz, tovushli axborot yoki musiqani esa eshita olmaymiz. Tovushlarni radiodan uzatish uchun antenadan tarqalayotgan yuksak chastotali elektromagnit to'lqinlarni tovush tebranishlari ta'sirida o'zgartirish kerak.

Radiotexnikada foydalaniladigan elektromagnit to‘lqinlarni **radioto‘lqinlar** deb ataladi. Radioto‘lqinlarning chastotalari $3 \cdot 10^4$ Hz dan $3 \cdot 10^{11}$ Hz oraliqda, to‘lqin uzunliklari esa mos ravishda $10 \cdot 10^4$ m dan $1 \cdot 10^{-3}$ m oralig‘ida yotadi. Radioto‘lqinlarni o‘ta uzun ($\lambda > 10 \cdot 10^3$ m), uzun ($\lambda = 1 \cdot 10^4 \div 1 \cdot 10^3$ m), o‘rtacha uzun ($\lambda = 1 \cdot 10^3 \div 1 \cdot 10^2$ m), qisqa ($\lambda = 100 \div 10$ m) va ultraqisqa ($\lambda = 10 \div 1 \cdot 10^{-3}$ m) to‘lqinlarga ajratiladi.

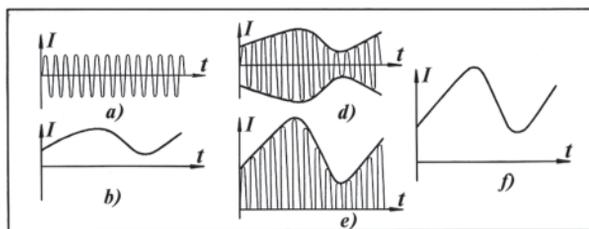
Peredatchikdan priyomnikka tarqalayotgan radioto‘lqin parametrlaridan birini uzatilayotgan axborotga moslab o‘zgartirish modulyatsiya deb ataladi.

Modulyatsiyasiz birorta ham, na radio, na telegraf, na telefon va na televizion aloqani amalga oshirish imkoni yo‘q. Past chastotali tebranishlarni, masalan, tovushli axborot va musiqani uzatish uchun radioperedatchikdan nurlanayotgan yuqori chastotali tebranishlar (radioto‘lqinlar)ni tovush chastotali tebranishlar bilan modulyatsiyalanadi. Bunda yuqori chastotani **eltuvchi chastota**, yuqori chastotali tebranishlarni **modulyatsiyalangan tebranishlar**, past chastotali (tovush) tebranishlarni **modullovchi tebranishlar** (yoki modullovchi signal) deb ataladi.

Past chastotali signal bilan modulyatsiyalangan radioto‘lqin radiosignal deb ataladi.

Agar to‘lqinning amplitudasi o‘zgartirilsa, u holda **amplitudaviy modulyatsiya**, chastotasi o‘zgartirilsa, **chastotaviy modulyatsiya** va, nihoyat, fazasi o‘zgartirilsa, **fazaviy modulyatsiya** haqida gap yuritiladi. Modulyatsiyaning keyingi ikkitasi xalaqitga chidamliligi bilan ajralib turadi. Shuning uchun radioeshittirishning **FM** kanallarida musiqa va nutqning yuqori sifatli qabul qilinishi ta‘minlanadi. Har bir radiostansiya o‘z eshittirishlari uchun beriladigan axborot bilan modulyatsiyalangan ma‘lum bir chastotali uzatuvchi radioto‘lqindan foydalanadi.

25- a rasmda yuqori chastotali radioto‘lqin tasvirlangan, bunda I — tok kuchi, t — vaqt. Bu radioto‘lqinning amplitudasi 25- b



25- rasm

rasmda tasvirlangan past chastotali signal bilan modulyatsiyalansa, amplitudaviy modulyatsiyalangan radiosignal (25- d rasm) hosil bo'ladi. (Radiosignalni hosil qilish usuli bilan keyingi mavzuda tanishamiz).

Radiosignalni inson qulog'i eshitmaydi. Shuning uchun priyomnikka yetib kelgan radiosignal bilan maxsus usul bilan yana past chastotali (tovush) signalini ajratib olish kerak.

*Priyomnikka peredatchikdan kelayotgan modulyatsiyalangan signal bilan past chastotali signalni ajratib olish usuli **detektorlash** deb ataladi.*

Tebranishlarni detektorlash bir tomonlama o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan maxsus qurilmalar yordamida amalga oshiriladi. Masalan, elektron lampalar, yarimo'tkazgichli diodlardan detektor sifatida foydalanish mumkin.

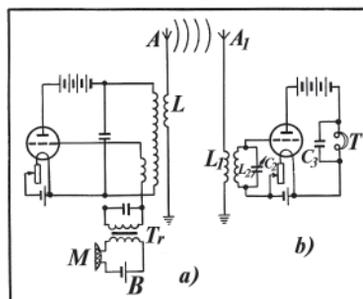
Detektor zanjirida radiosignal to'g'rilanadi va kuchaytiriladi (25- e rasm), so'ng undan tovush signallari ajratib olinadi (25- f rasm). Sxemasida detektor bo'lgan priyomnikni **detektorli priyomnik** deyiladi. (Detektorning ishlash prinsipi bilan keyingi mavzuda tanishamiz).

11- §. Hozirgi zamon radioaloqasining prinsiplari

Hozirgi zamon uzatish va qabul qilish radioappaturalarining sxemasi juda turli-turman va murakkabdir. Radioaloqa prinsiplarini o'rganishda biz radioperedatchik va radiopriyomnikning eng sodda sxemalarini ko'rish bilan cheklanamiz.

26- rasmda radioperedatchik va radiopriyomnikning prinsiplial sxemasi ko'rsatilgan. Radioperedatchikning sxemasi (26- a rasm) avtotebranish konturining sxemasiga o'xshashdir. Ular orasidagi farq faqat shundaki, peredatchik lampasining to'r zanjiriga T_r kuchaytiruvchi transformatorning ikkilamchi chulg'ami ulangan, elektromagnit to'lqinlar nurlaydigan ochiq kontur esa A antena va Yerga ulangan L induktiv g'altagi ko'rinishida yasalgan. Transformatorning birlamchi chulg'amiga B batareya va M ko'mir kukunli mikrofon ulangan.

Agar M mikrofondagi tovush tebranishlari kelmasa, u holda peredatchikning konturida o'zgarmas ampli-



26- rasm.

tudali odatdagi elektromagnit tebranishlar bo‘ladi. Agar mikrofon membranasiga nutq yoki musiqadan hosil bo‘lgan tovush to‘lqinlari tushsa, membrana bu tovush to‘lqinlariga mos tebrana boshlaydi (25- *b* rasmga qarang). Membrananing tovush tebranishlari ko‘mir kukunlariga o‘zgaruvchan bosim beradi, buning natijasida mikrofonning qarshiligi, transformatorning birlamchi va, demak, ikkilamchi chulg‘amidagi tok kuchi ham shunday tebranadi. Natijada elektron lampaning to‘rida membrananing tovush tebranishlariga mos o‘zgaruvchi qo‘shimcha kuchlanish yuzaga keladi. To‘r kuchlanishining tebranishlari peredatchik konturining elektr tebranishlari amplitudalarini o‘zgartiradi. Shuning o‘zi yuksak chastotali tebranishlar amplitudasini past chastotali signal bilan modulyatsiyalashdir (25- *d* rasmga qarang).

Peredatchik tarqatayotgan modulyatsiyalangan yuqori chastotali signal priyomnikning antenasiga yetgach (26- *b* rasmga qarang), L_1 g‘altakda va u bilan induktiv bog‘langan L_2C_2 konturda peredatchik konturidagi tebranishlarga o‘xshash elektromagnit tebranishlar hosil qiladi (buning uchun priyomnikning tebranish konturi C_2 o‘zgaruvchan kondensator yordamida peredatchikning tebranish konturiga rezonans qilib sozlanishi kerak). L_2C_2 kontur lampaning to‘r zanjiriga ulangan. Shuning uchun unda bo‘layotgan elektr tebranishlar lampaning anod zanjiridagi tok va kuchlanishni boshqaradi. Natijada anod zanjirida to‘r zanjiridagi tebranishlarga o‘xshash, biroq kuchaytirilgan va to‘g‘rilangan elektr tebranishlar yuzaga keladi (25- *e* rasmga qarang). Biz ko‘rayotgan priyomnikda detektor vazifasini triod o‘taydi. Detektor zanjirida to‘g‘rilangan modulyatsiyalangan yuqori chastotali tebranishlardan past chastotali tebranishlarni ajratib olish uchun detektor zanjirida T telefonga C_3 kondensator parallel qilib ulanadi. Kondensatordan yuqori chastotali tok, telefon chulg‘ami orqali esa tovush chastotasidagi tok o‘tadi. Buning natijasida telefonning membranasini mikrofon membranasini hosil qilgan tovush tebranishlarini, ya‘ni peredatchik mikrofoniga kelayotgan tovushlarni eshittiradi (25- *f* rasmga qarang). Telefon radioaloqasi jarayonining umumiy xususiyatlari shundan iborat. Priyomnik detektorida hosil qilingan tovush chastotasidagi tebranishlardan radiokarnaylarda foydalanish mumkin. Agar peredatchikning mikrofonini ikonoskop bilan, priyomnik telefoni esa kineskop bilan almashtirilsa, yuqorida keltirilgan peredatchik va priyomnikning prinsipial sxemalari televizion radioaloqa uchun ham ishlatilishi mumkin.

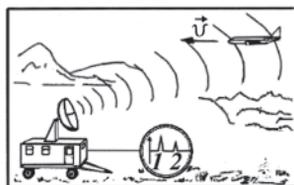
12- §. Radiolokatsiya

Radioaloqa qo‘llaniladigan eng muhim sohalardan biri *radiolokatsiyadir*. 1983- yilda birinchi marta sobiq ittifoq sayyoralararo «Venera-15» va «Venera-16» stansiyalari yordamida Quyosh sistemasining sirli sayyorasi Veneraning shimoliy yarimshari sirtining xaritasi radiolokatsion usulda olindi.

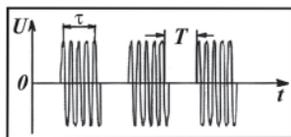
Quyuc bulut bilan qoplanganligiga qaramay bu sayyora sirtining aniq tasvirlari olingan. Radioto‘lqinning qalin bulut qatlami orqali kam yutilish bilan o‘tish va turli jismlar sirtidan qaytaruvchi qoplamaning fizik xususiyatlariga bog‘liq holda qaytish xossalari tufayligina shunday aniq tasvirlarni olish imkoni bo‘ldi.

Radiolokatsiya ultraqisqa (odatda detsimetrl) radioto‘lqinlarning to‘siqlardan, buyumlarning sirtidan qaytishiga asoslangan. Radiolokatsiya yordamida 200—300 km masofadagi yirik buyumlar, masalan, qorong‘ilikda yoki tuman ortida yashiringan samolyotlar, kemalar, aysberglarning turgan joylarini aniqlash mumkin. Bu maqsadda maxsus asbob — radiolokatoridan foydalaniladi.

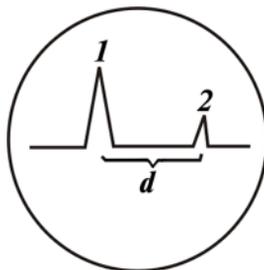
Buyumlarning turgan joylari quyidagicha aniqlanadi. Juda qisqa vaqt oralig‘i davomida radiolokator fazoga radioto‘lqinlarning ingichka dastasini — elektromagnit to‘lqin impulsini yuboradi (27- rasm). Bunday impuls sifatida, odatda, amplitudasi to‘g‘ri burchakli impulslar bilan modulyatsiyalangan radioto‘lqinlardan foydalaniladi (28-rasm). Har bir impulsning davom etish vaqti $\tau \approx 10^{-6}$ s ga teng, ular orasidagi tanaffuslar esa $T=10^{-3}$ s. Impulslarning bunday uzatilishi ularni qabul qilishga xalaqit bermaydi. Impuls nishonga yetib borgach, undan kichikroq amplitudali impuls ko‘rinishida qaytadi va lokator priyomnigi bilan tutiladi. Jo‘natilgan va qaytgan elektromagnit impulslar lokatordagi elektron-nur trubka ekranida vaqt bo‘yicha gorizontaal yoyilishda 1 va 2 signallar ko‘rinishida paydo bo‘ladi (29-rasm). Lokator impulslarni qisqa vaqt oralig‘ida davriy ravishda jo‘natib turadi.



27- rasm.



28- rasm.



29- rasm.

Bir sekunda jo‘natilayotgan impulslarning soni katta, taxminan bir necha ming tartibida bo‘ladi. Shuning uchun ekranda 1 va 2 signallar doim ko‘rinib turadi. Impulsning jo‘natilgandan to ana shu impulsni qayta qabul qilingan paytgacha o‘tgan t vaqtning kattaligi gorizontaal yoyilgan elektron nurning harakatlanish tezligi v bilan shu ikki signal orasidagi d masofadan foydalanib aniqlanadi:

$$t = \frac{d}{v}.$$

U holda lokator va impulsni qaytargan nishon orasidagi l masofa quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$l = c \cdot \frac{t}{2} = c \frac{d}{2v},$$

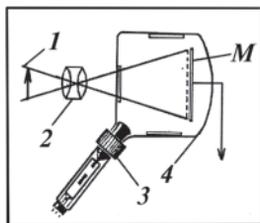
bunda: $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ — elektromagnit impulsning tarqalish tezligi.

Agar kuzatilayotgan buyum tinch holatda bo‘lmay, balki harakatlanayotgan bo‘lsa, u holda lokatordan ungacha bo‘lgan masofa o‘zgarishi bilan elektron nurli trubka ekranidagi 2 signalning vaziyati ham o‘zgaradi. Shunga ko‘ra nishonning vaziyatini, masalan, samolyot lokatorga yaqinlashayotganini yoki undan uzoqlashayotganini bilish mumkin.

Hozirgi vaqtda radiolokatsion qurilmalar faqat samolyot, kema va shu kabilarning turgan joylarini aniqlash uchungina emas, balki boshqa ko‘pgina sohalarda ham qo‘llaniladi. Masalan, lokatorlar yordamida bulutlarning hosil bo‘lishi va tarqalishini, atmosferaning yuqori qatlamlarida meteoritlarning uchishini kuzatish mumkin va hokazo. Bulut orqali yoki kechasi yerni kuzatish uchun samolyotlar lokatorlar bilan ta‘minlanadi.

13- §. Teleko‘rsatuvlarning fizik asoslari

Teleko‘rsatuvlarni amalga oshirish prinsipi radioeshittirishlar prinsipidan uncha katta farq qilmaydi. 26- rasmda keltirilgan radioperedatchik va radiopriyomnikning prinsipial sxemalari televizion radioaloqa uchun ham ishlatiladi, biroq bunda peredatchikning mikrofonini *ikonoskop* bilan, priyomnikning telefoni *kineskop* bilan almashtiriladi.



30- rasm.

Ikonoskop maxsus yasalgan elektron-nur trubka bo‘lib (30- rasm), unda lyuminessensiya ekrani o‘rnida *yorug‘lik sezgir M mozaika* bo‘ladi.

Mozaika bir-biridan izolyatsiyalangan juda ko'p sonli (bir necha million) mayda kumush zarralar — diametri 0,1 mm ga yaqin bo'lgan kumush sharchalardan iborat bo'lib, sharchalar sirtiga seziiy qoplangan. Yorug'likka sezgir sharchalar qalinligi bir tekis (25–50 mk) bo'lgan dielektrik taglik — slyuda plastinkaning bir tomoniga joylashtirilgan. Plastinkaning ikkinchi tomoni esa elektr o'tkazuvchanlikka ega metall qatlam bilan qoplangan. Bu qatlamni **signal plastinka** deb ataladi.

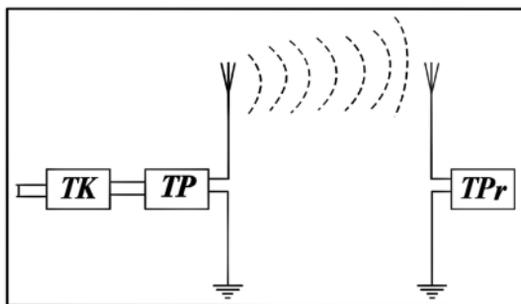
Mozaika yoritilganda kumush sharchadan elektronlar uzilib chiqadi va sharcha musbat zaryadlanib qoladi. Har bir sharchani yorug'lik ta'sirida zaryad to'play oladigan miniatyur (jajji) kondensator deb qarash mumkin. Kondensatorlarning zaryadi shu kondensatorni yoritib turgan yorug'lik intensivligiga bog'liq bo'ladi.

Uzatilayotgan I buyumning tasviri M mozaika sirtida 2 optik sistema yordamida fokuslanadi. Bunda mozaikaning har bir sharchasi shu sharchaning yoritilganligiga proporsional kattalikda musbat zaryadlanadi.

3 elektron zambarakdan nurlanayotgan elektron-nur mozaika sirtidan har sekunda 25 marta yugurib o'tadi (har o'tishda u 625 gorizontaal satr chizadi) va sharchaning musbat zaryadlarini navbatma-navbat neytrallaydi. Har bir bunday neytrallashtirishda signal plastinkaning zaryadi o'zgaradi va peredatchik lampasi to'ridagi kuchlanishni ham mos ravishda o'zgartiradi. Bu o'zgaruvchan kuchlanish I buyum tasvirini uzatishda ikonoskop mozaikasining har bir sharchasi yuborgan elementar signal bo'ladi. Bunday signalni **videosignal** deyiladi. Videosignal uzatilayotgan tasvirning alohida qismlarining yoritilganligiga bog'liq bo'ladi. Shunday qilib, peredatchikdan nurlanayotgan radioto'lqinlar unda videosignal bilan modullanadi. Hosil bo'lgan signal **televizion signal** deb ataladi. Televizion signal uzatuvchi televizion antenna orqali nurlanadi va fazoda tarqaladi. Televizion signalni kabel tarmog'i orqali ham uzatish mumkin. Kabelli televizion sistemada shunday qilinadi.

Tasvirni olish uchun teskari jarayon — televizion signalni optik tasvirga aylantirishni amalga oshirish kerak. Bunda priyomnikning kineskopidan foydalaniladi. Kineskop — lyuminessensiyalanuvchi ekranli elektron nur trubkadan iborat.

Priyomnik, ya'ni televizor peredatchikdan kelayotgan televizion radiosignalni antenna yordamida tutadi va qayta tiklaydi. Bu modullangan tebranihlar to'g'rilanib kuchaytiriladi, so'ng ular kineskop elektron nurining intensivligini boshqaruvchi maxsus



31- rasm.

qurilmaga beriladi. Kineskopning elektron nuri ikonoskopning elektron nuri bilan qat'iy sinxron harakatlanadi va $\frac{1}{25}$ s davomida lyuminessensiyalanuvchi ekranda uzatilayotgan butun tasvir — kadrni tiklaydi. Bir sekundda 25 kadr birin-ketin almashinadi, shuning uchun ko'zimiz uni harakatlanayotgan yagona tasvir tarzida ko'radi.

Rangli televideniya kineskopda uchta elektron zambarak joylashtirilgan bo'lib, ularning har biri o'z videosignali bilan boshqariladi. Bunday trubkaning ekrani uchta — qizil, ko'k va yashil rangda yorishadigan lyuminoфор bilan, shu bilan birga bu lyuminoфорlar hosil qiladigan satrlar navbatlashib keladigan qilib qoplangan. Yoyishda uchta elektron nurdan har biri shu nur intensivligini boshqaruvchi videosignallar qaysi rangga moslab modullangan bo'lsa, lyuminoфорning o'sha rangdagi satrlaridagina o'tadi, televizor ekranida rangli tasvir hosil bo'ladi.

Tasvir uzatish televizion kanalining asosiy sxemasi 31- rasmda ko'rsatilgan, bu yerda *TK* — televizion kamera, *TP* — televizion peredatchik, *TPr* — televizion priyomnik.

Shuni aytish lozimki, birinchi ikonoskop rus muhandisi V.K. Zvorikin tomonidan 1931- yilda ixtiro qilingan, birinchi kineskop esa 1911- yilda rus olimi B.L. Rozing tomonidan yaratilgan.

Zamonaviy televizorning birinchi namunasini 1928- yilda toshkentlik ixtirochilar B. Grabovskiy va I. Belyanskiylar ixtiro qilishgan. Ular elektron nur yordamida harakatlanayotgan tasvirni bir joydan ikkinchi joyga uzatadigan va qabul qiladigan apparat — sodda «televizor»ni yaratdilar. Afsuski, bu ixtiroga o'z paytida tegishli e'tibor berilmadi. Lekin shunday bo'lsa ham, Toshkent teleko'rsatuvlar vatani, deb aytsak mubolag'a bo'lmaydi, deb o'ylaymiz.

14- §. Teleko‘rsatuvlarni uzatish

13- § da aytib o‘tilganidek, televizor ekranida harakatlanayotgan yagona tasvirni ko‘rish uchun peredatchik sekundiga 25 ta turli kadrlarni uzatishi kerak bo‘ladi. Qabul qilinayotgan tasvirning milt-milt bo‘lib ko‘rinishini kamaytirish maqsadida satrlararo yoyish sistemasi qo‘llaniladi: avval toq satrlarning, so‘ng juft satrlarning barcha elementlari uzatiladi. Bir sekundda 25 ta turli kadrlarni uzatish deganda, shu bir sekundda ushbu kadrlarni 13 millionga yaqin elementlarini uzatishni tushunish kerak. Bunday yuqori chastotali modulyatsiyaga faqat ultraqisqa to‘lqinlar vositasida uzatishdagina erishish mumkin.

Shuning uchun teleko‘rsatuvlar ultraqisqa radioto‘lqinlar diapazonida amalga oshiriladi. Biroq ultraqisqa radioto‘lqinlar Yer sirtida kuchli yutiladi va ionosferadan deyarli qaytmaydi. Shuning uchun uzatuvchi va qabul qiluvchi antennalar bir-biriga bevosita ko‘rinadigan masofada bo‘lgandagina teleko‘rsatuvlar ishonchli bo‘lishi mumkin.

Albatta bunda antennalarning Yer sirtidan qanday balandlikda joylashganligi, joylarning relyefi, radioto‘lqinlarni yutuvchi va sochuvchi alohida katta to‘siqlarning joylashuvi ham rol o‘ynaydi. Masalan, balandligi 540 m bo‘lgan «Ostankino» teleminorasi 130 km ga, balandligi 375 m bo‘lgan Toshkent teleminorasi esa 100 km ga teleko‘rsatuvlarning ishonchli qabulini ta‘minlay oladi.

Teleko‘rsatuvlarni uzoq masofalarga uzatish uchun maxsus qurilmalar — **radioreleyli uzatkichlardan** foydalaniladi. Radioreleyli uzatkich bir necha retranslyatsion stansiyalardan iborat bo‘lib, har bir stansiya o‘zidan avvalgi stansiyadan televizion signallarni qabul qiladi, ularni kuchaytiradi, so‘ng o‘zidan keyingi stansiyaga uzatadi. Teleko‘rsatuvlarni yanada uzoqroq masofaga uzatish uchun sun‘iy aloqa yo‘ldoshlaridan foydalaniladi. Bu hol teleko‘rsatuvlarni Yer sharining istalgan nuqtasiga uzatishga va qabul qilishga imkon beradi.

O‘zbekistonda teleko‘rsatuvlar 1956- yil 5- noyabrda boshlangan. Hozirgi vaqtda Toshkent televideniyesi eng zamonaviy texnik vositalar bilan jihozlangan bo‘lib, asosan, besh dasturda ishlaydi. Bu dasturlar O‘zbekistonning barcha viloyatlariga retranslyatsiya qilinadi. Shuningdek, har bir viloyat telestudiyasida mahalliy teleko‘rsatuvlar ham ko‘rsatib boriladi.

Takrorlash uchun savollar

1. Elektromagnit to'liqlar xossalari qanday qurilma yordamida o'rganish mumkin? Sxemasini chizing va tushuntiring.
2. Elektromagnit to'liqlarning to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalishini, to'siqdan qaytishini tushuntiring.
3. Elektromagnit to'liqlarning ikki muhit chegarasida sinishini tushuntiring.
4. Elektromagnit to'liqlarning interferensiyasini tushuntiring.
5. Elektromagnit to'liqlar ko'ndalang to'liqlar ekanligini isbotlovchi tajribani tushuntiring.
6. Elektromagnit to'liqlarning energiyasi qanday fizik kattaliklarga bog'liq?
7. Elektromagnit to'liqlarning energiya zichligining ifodasini yozing va tushuntiring.
8. Elektromagnit maydon energiya oqimi zichligi deganda qanday kattalikni tushunasiz? Ta'rifini bering.
9. Umov-Poynting vektori qanday fizik kattalik?
10. Radioto'liqlar diapazoni qanday? Ular qanday sohalarga ajratiladi?
11. Modulyatsiya qanday jarayon?
12. «Eltuvchi chastota», «modulyatsiyalanuvchi tebranishlar», «modullovchi tebranishlar» deganda nimani tushunasiz?
13. Modulyatsiyaning qanday turlarini bilasiz?
14. Radiosignal nima? Grafik tasvirini chizing.
15. Detektorlash qanday jarayon?
16. Popov radiopriyomnigining sxemasini va ishlash prinsipini tushuntiring.
17. Radioperedatchikning prinsipial sxemasini chizing va undan radiosignallar qanday tarqalishini tushuntiring.
18. Radiopriyomnikning prinsipial sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.
19. Radiolokatsiya deb nimaga aytiladi? Uning yordamida buyumgacha bo'lgan masofa qanday aniqlanadi?
20. Radioperedatchik va radiopriyomnikdan teleko'rsatuvlar uchun foydalanish mumkinmi?
21. Ikonoskop qanday tuzilgan? Mozaika-chi?
22. Kineskop qanday tuzilgan?
23. Videosignal qanday hosil qilinadi? Televizion signal-chi?
24. Rangli teleko'rsatuvlar qanday amalga oshiriladi?
25. Teleko'rsatuvlarni uzoq masofalarga qanday uzatiladi?

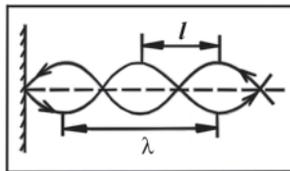
Masala yechish namunalari

1- masala. Elektromagnit to'liqlar generatori oldiga metall plastinka joylashtirib, turg'un to'liqlar hosil qilinadi. Do'ngliklar orasidagi masofa 15 sm. Generator chastotasini aniqlang.

Berilgan: $l = 15 \text{ sm} = 0,15 \text{ m}; \quad c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$

Topish kerak: $v = ?$

Yechilishi. Elektromagnit to'liqin metall sirtidan to'la qaytadi va tushayotgan to'liqin bilan qo'shilib, turg'un to'liqin hosil qiladi (32- rasm). Rasmdan ko'rinadiki, ikki qo'shni do'ngliklar orasidagi masofa yarim



32- rasm.

to'liqin uzunligiga teng, ya'ni: $l = \frac{\lambda}{2}.$

Bundan $\lambda = 2l.$ Generatorning chastotasi

to'liqin uzunligi orqali $v = \frac{c}{\lambda}$ dan aniqlanadi. Demak:

Hisoblash:

$$v = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \cdot 0,15 \text{ m}} = 10^9 \frac{1}{\text{s}} = 10^3 \text{ MHz}.$$

2- masala. Vakuumda X yo'nalish bo'yicha yassi elektromagnit to'liqin tarqalmoqda. To'liqinning magnit maydon kuchlanganligining amplitudasi $H_o = 0,05 \frac{\text{A}}{\text{m}}.$ Elektr maydon kuchlanganligining amplitudasi va to'liqinning energiya zichligining o'rtacha qiymatini aniqlang.

Berilgan: $H_o = 0,05 \frac{\text{A}}{\text{m}};$

$$\mu = 1; \quad \varepsilon = 1; \quad \mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}; \quad \varepsilon_o = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}.$$

Topish kerak: E_o —? \bar{w} —?

Yechilishi. Maksvellning elektromagnit maydon nazariyasidan, elektromagnit tebranishlarda elektr maydon kuchlanganligining E oniy (yoki E_o amplituda) qiymati bilan magnit maydon kuchlanganligining H oniy (yoki H_o amplituda) qiymati o'zaro quyidagicha munosabatda ekanligi kelib chiqadi:

$$\sqrt{\varepsilon\varepsilon_o} E = \sqrt{\mu\mu_o} H \quad \text{yoki} \quad \sqrt{\varepsilon\varepsilon_o} E_o = \sqrt{\mu\mu_o} H_o.$$

Keyingi munosabatdan elektr maydon kuchlanganligining amplituda qiymati uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$E_o = \sqrt{\frac{\mu\mu_o}{\epsilon\epsilon_o}} H_o. \quad (a)$$

Elektromagnit to'liqlar energiyasining zichligi:

$$w = \frac{\epsilon_o\epsilon E^2}{2} + \frac{\mu_o\mu H^2}{2} = \epsilon_o\epsilon E^2 = \mu_o\mu H^2$$

ifodadan topiladi, bunda:

$$E = E_o \cos(\omega t - kx), \quad H = H_o \cos(\omega t - kx)$$

Demak:

$$w = \mu_o\mu H_o^2 \cos^2(\omega t - kx). \quad (b)$$

bo'ladi. (b) munosabatdan ko'rinadiki, elektromagnit to'liq energiyasi zichligi ham vaqtga bog'liq bo'lib, davriy ravishda o'zgarib turadi. Shuning uchun w ning vaqt bo'yicha o'rtacha qiymatini olamiz:

$$\bar{w} = \overline{\mu_o\mu H_o^2 \cos^2(\omega t - kx)}.$$

μ_o , μ , H_o larning o'rtacha qiymati o'ziga teng, $\cos^2(\omega t - kx)$ esa $\frac{1}{2}$ ga teng. Shunday qilib:

$$\bar{w} = \frac{1}{2} \mu_o\mu H_o^2.$$

Hisoblash:

$$E_o = \sqrt{\frac{1 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}}{1 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}}} \cdot 0,05 \frac{\text{A}}{\text{m}} = 18,84 \frac{\text{V}}{\text{m}}.$$

$$\bar{w} = \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}} \cdot (0,05)^2 \cdot \frac{\text{A}^2}{\text{m}^2} = 1,57 \cdot 10^{-9} \frac{\text{J}}{\text{m}^3}.$$

3- masala. Uzunligi 30 m ga teng radioto'liqlar 200 Hz chastotali tovush tebranishlari bilan modulyatsiyalangan bo'lsa, tovush tebranishlarining bir davri davomida elektromagnit to'liqlarning qancha tebranishlari sodir bo'ladi?

Berilgan: $\lambda=30\text{m}$; $\nu_l=200\text{Hz}$; $c=3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Topish kerak: n —?

Yechilishi. Agar T_t va T — mos ravishda tovush va elektromagnit tebranishlarning davri, v_t va v — chastotasi bo'lsa, u holda tovush tebranishlari davriga teng vaqt davomida elektromagnit to'liqida

$$n = \frac{T_t}{T} = \frac{v}{v_t}$$

tebranishlar sodir bo'lishi tushunarli. Elektromagnit tebranishlarning chastotasi $v = \frac{c}{\lambda}$ dan topiladi, bunda: c — elektromagnit to'liqlarining vakuumda tarqalish tezligi. Binobarin:

$$n = \frac{c}{\lambda v_t}$$

Hisoblash:

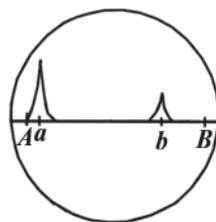
$$n = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{30\text{m} \cdot 200 \frac{1}{\text{s}}} = 50.000 = 5 \cdot 10^4.$$

4- masala. Radiolokatoridan yuborilayotgan impulslarning takrorlanish chastotasi 1500 Hz ga, bitta impulsning davomiyligi 1 mks ga teng. Lokatorning nishonni topishi mumkin bo'lgan eng katta va eng kichik masofalarini aniqlang.

Berilgan: $v = 1500 \text{ Hz}$; $\tau = 1\text{mks} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ s}$.

Topish kerak: $l_{\text{max}} - ?$ $l_{\text{min}} - ?$

Yechilishi. Elektromagnit to'liqlarning lokatordan nishongacha va undan yana lokatorgacha bo'lgan l masofani o'tishi uchun ketgan t vaqt oralig'i bu to'liqlarning T tebranish davridan katta bo'lmasligi kerak, chunki aks holda elektron nur trubkaning ekranida elektron nur AB kesmani chizib o'tguncha b exo-signal (nishondan qaytgan signal) lokatorgacha qaytishga ulgurmaydi (33- rasm). Shuningdek, t vaqt impulsning davomiyligi τ dan ham katta bo'lmasligi kerak, chunki aks holda b exo-signal jo'natilayotgan a signal bilan ustma-ust tushib qolishi mumkin. Shuning uchun:



33- rasm.

$$l_{\text{max}} = \frac{ct}{2} = \frac{cT}{2} = \frac{c}{2v} \quad \text{va} \quad l_{\text{min}} = \frac{ct}{2} = \frac{c\tau}{2}.$$

$$\text{Hisoblash: } l_{\max} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \cdot 1500 \frac{1}{\text{s}}} = 10^5 \text{ m} = 100 \text{ km};$$

$$l_{\min} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 10^{-6} \text{ s}}{2} = 150 \text{ m} = 0,15 \text{ km}.$$

Mustaqil yechish uchun masalalar

10. Nima uchun metall ko'prik ostidan o'tayotgan avtomobilda radio qabul qilish yomonlashadi yoki umuman so'nadi?

11. Muhitda ω chastotali elektromagnit to'lqin tarqalmoqda. Muhitning dielektrik kirituvchanligi $\epsilon=1$, magnit singdiruvchanligi $\mu=1$ ga teng. Elektr maydon kuchlanganligi

$E = 10 \cos(\omega t + \alpha) \frac{\text{V}}{\text{m}}$ qonun bilan o'zgarayotgan nuqtada Umov-Poynting vektorini toping.

12. Radiostansiya musiqa asboblari sozlash uchun tovush signali beradi. Signalning tovush chastotasi 440 Hz. Peredatchik 660 kHz chastotada ishlaydi. Yuqori chastotaning nechta tebranishi tovush chastotasidagi bitta tebranishni olib boradi?

13. Agar radiosignal obyektga borib qaytib kelguncha 400 mks vaqt o'tgan bo'lsa, obyekt radiolokator antennisidan qanday masofada joylashgan?

14. Radiolokator yuborayotgan elektromagnit to'lqinlarning chastotasi 10^{11} Hz. To'lqin uzunligini toping.

15. Nima uchun televizion uzatish va qabul qilishda radioaloqa to'g'ri ko'rish chegarasidagina mumkin bo'ladi?

OPTIKA

Optika bo‘limida yorug‘lik hodisalari va qonunlari, yorug‘likning tabiati hamda uning modda bilan o‘zaro ta’siri o‘rganiladi.

Yorug‘lik ma’lum diapazondagi elektromagnit to‘lqinlardan iboratdir. Inson ko‘zi butun nurlanish tarkibidan faqat to‘lqin uzunligi $3,8 \cdot 10^{-7}$ m dan $7,7 \cdot 10^{-7}$ m gacha bo‘lgan nurlarigina ko‘ra oladi. To‘lqin uzunligi $3,8 \cdot 10^{-7}$ m dan qisqa bo‘lgan nurlar **ultrabinafsha**, to‘lqin uzunligi $7,7 \cdot 10^{-7}$ m dan katta bo‘lgan nurlar esa **infraqizil nurlar** deb ataladi. Ultrabinafsha va infraqizil nurlar ko‘zga ko‘rinmaydi.

Jismlardan yorug‘lik qaytib ko‘zimizga tushgandagina biz ularni ko‘ra olamiz. Ba’zi jismlarni atrofimiz yorug‘ yoki qorong‘i bo‘lishidan qat’iy nazar ko‘raveramiz, chunki ularning o‘zlari yorug‘lik sochadi. Bunday jismlar **yorug‘lik manbalari** deb ataladi.

Yorug‘lik manbalari ikki guruhga: **tabiiy** va **sun‘iy manbalarga** bo‘linadi. Quyosh, yulduzlar, atmosferadagi nur sochuvchi gazlar va ba’zi tirik organizmlar (masalan, baliqlar, hasharotlar, yog‘ochni chiritadigan ba’zi mikroblar va boshqalar) yorug‘likning tabiiy manbalaridir. Biz uchun asosiy tabiiy yorug‘lik manbayi Quyoshdir. Quyoshdan chiqayotgan yorug‘lik barcha tirik organizmlar — o‘simlik, hayvon va insonlarning hayot manbayidir.

Yorug‘likning sun‘iy manbalari jumlasiga cho‘g‘langan jismlar, tok o‘tganida nurlanuvchi gazlar, lyuminessensiyalanuvchi qattiq jismlar va suyuqliklar kiradi.

Odatda yorug‘lik manbalari ma’lum o‘lchamli jismlar bo‘ladi, lekin ular ko‘pincha **nuqtaviy yorug‘lik manbayi** deb qabul qilinadi. Agar yorug‘lik manbayining chiziqli o‘lchami shu manbadan uning ta’siri o‘rganilayotgan joygacha bo‘lgan masofaga nisbatan juda kichik bo‘lsa, bunday yorug‘lik manbayi **nuqtaviy yorug‘lik manbayi** deb ataladi.

Yorug‘lik vakuumda $c \approx 300000$ km/s tezlik bilan, boshqa muhitlarda esa bundan kichik tezlik bilan tarqaladi.

Muayyan to‘lqin uzunlikdagi yorug‘lik, masalan, qizil, yashil, binafsha va shu kabi rangli yorug‘liklar **monoxromatik yorug‘lik** deyiladi. Yorug‘lik turli uzunlikdagi to‘lqinlardan iborat bo‘lsa, bunday yorug‘lik **murakkab yorug‘lik** deyiladi. Masalan, Quyoshdan keladigan yorug‘lik murakkab yorug‘likdir. Binobarin, bunday yorug‘likni turli rangli monoxromatik yorug‘liklardan tarkib topgan deyish mumkin.

Yorug‘lik o‘zi bilan birga energiya eltadi. Biror modda orqali yorug‘lik o‘tganda uning energiyasi ma’lum miqdorda yutiladi, bunda yorug‘lik energiyasi moddaning ichki energiyasiga aylanadi.

15- §. Yorug‘lik oqimi. Yorug‘lik kuchi. Yoritilganlik

Yorug‘lik to‘lqinlari yorug‘lik manbayidan atrofdagi fazoga energiya eltadi. Optikaning yorug‘lik energiyasini o‘lchash usullarini o‘rgatuvchi bo‘limi *fotometriya* deb ataladi.

Yorug‘lik o‘zi eltadigan energiya nuqtayi nazaridan bir qator fizik kattaliklar bilan xarakterlanadi. Bu kattaliklarni *fotometrik kattaliklar* deb ataladi. Ulardan eng muhimi *yorug‘lik oqimidir*.

Yorug‘lik energiyasini sezish uchun tabiiyki, ko‘z alohida ahamiyatga ega. Shu sababli bizni, birinchi navbatda, yorug‘lik to‘lqinlari bilan o‘tadigan to‘liq energiya emas, balki uning bevosita ko‘zga ta’sir etadigan qismi qiziqtiradi.

Ko‘z yashil nurlarni eng yaxshi sezadi. Shu sababli yorug‘lik energiyasining tegishli o‘lchash asboblari bilan qayd etiladigan miqdorigina emas, balki bu energiyaning bevosita ko‘zimizga seziladigan, ya’ni ko‘zimiz bilan baholaydigan miqdorini bilish katta amaliy ahamiyatga egadir. Yorug‘lik energiyasini bunday baholash uchun kiritilgan fizik kattalik yorug‘lik oqimidir.

Agar biror yuzga t vaqt davomida energiyasi W bo‘lgan yorug‘lik tushayotgan bo‘lsa, bu nurlanishning quvvati W/t ga teng bo‘ladi.

Ma’lum bir yuzga tushayotgan nurlanish quvvati bilan o‘lchanadigan kattalik Φ yorug‘lik oqimi deyiladi:

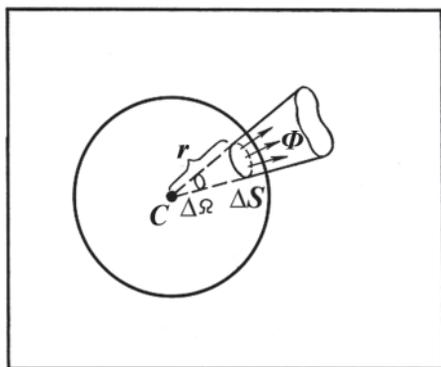
$$\Phi = \frac{W}{t}. \quad (28)$$

Yorug‘lik manbalarining ko‘pchiligi yorug‘likni hamma yo‘nalishlarda tarqatadi, shuning uchun *to‘liq yorug‘lik oqimi* tushunchasi kiritiladi.

Barcha yo‘nalishlardagi nurlanish quvvati bilan o‘lchanadigan kattalikka Φ_0 yorug‘lik manbayining to‘liq yorug‘lik oqimi deyiladi.

Yorug‘lik manbayini xarakterlash uchun fotometriyada *yorug‘lik kuchi* deb ataladigan kattalik qo‘llaniladi.

C nuqtada turuvchi nuqtaviy yorug‘lik manbayining atrofida markazi shu nuqtada bo‘lgan r radiusli shar chizamiz (34- rasm). Unda fikran shunday shar sektori (uchi shar markazida bo‘lgan konus) qirqib olaylikki, uning asosi shar sirtida ΔS yuzni hosil qilsin. Bu konus sirti bilan chegaralangan fazo *fazoviy burchak*



34- rasm.

$\Delta\Omega$ deb ataladi va bu burchak kattaligi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\Delta\Omega = \frac{\Delta S}{r^2}. \quad (29)$$

Fazoviy burchak tayanib turgan shar sirtining yuzi kattalik jihatidan shar radiusining kvadratiga teng bo'lsa, ya'ni $\Delta S=r^2$ bo'lsa, fazoviy burchak birga teng bo'ladi va bu burchak **steradian** (sr) deb ataladi. Sharning to'liq sirti $S=4\pi r^2$ bo'lgani uchun nuqta atrofidagi butun fazoni qamrab oluvchi Ω to'liq fazoviy burchak quyidagicha ifodalanadi:

$$\Omega = \frac{S}{r^2} = \frac{4\pi r^2}{r^2} = 4\pi \text{ sr}. \quad (30)$$

Demak, nuqta atrofidagi to'la fazoviy burchak 4π steradianga teng bo'lar ekan.

Birlik fazoviy burchak ostida tarqalayotgan yorug'lik oqimi bilan o'lchanadigan fizik kattalik manbaning yorug'lik kuchi deb ataladi:

$$I = \frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega}. \quad (31)$$

Yorug'lik jismlarga tushib, ularni yoritadi. Yoritishni baholash uchun **yoritilganlik** deb ataladigan fizik kattalik kiritilgan.

Bir tekis yoritilgan sirtning birlik yuzasiga tushayotgan yorug'lik oqimi bilan o'lchanadigan kattalik yoritilganlik deb ataladi.

Agar ΔS sirtga $\Delta\Phi$ yorug'lik oqimi tushayotgan bo'lsa, u holda E yoritilganlik quyidagicha ifodalanadi:

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S}. \quad (32)$$

Ish joylarimizda, o'qish va dars tayyorlash xonalarimizda, zavod hamda fabrikalarda bajarayotgan ishlarimiz sifatli bo'lishi uchun yoritilganlik katta ahamiyatga ega. Shu kabi bizni o'rab turgan yashil o'simliklarning hayoti uchun ham yoritilganlikning mavjud bo'lishi shartdir.

Endi yuqorida ko'rib o'tilgan fotometrik kattaliklarning o'lchov birliklari bilan tanishib chiqaylik.

Birliklarning xalqaro (SI) sistemasida fotometrik kattaliklarning asosiy birligi qilib yorug'lik kuchi birligi **kandela** (kd) qabul qilingan.

101325 Pa bosim ostidagi platinaning qotish temperaturasi (1769°C) ga teng temperaturada to'la nurlangich (absolyut qora jism)ning 1/600000 m² kesimidan shu kesimga perpendikulyar yo'nalishda chiqarayotgan yorug'lik kuchini 1 kandela deb qabul qilingan.

Yorug'lik oqimining birligi qilib **lyumen** (lm) qabul qilingan. (31) formulaga binoan:

$$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot 1 \text{ sr}$$

bo'ladi, ya'ni *yorug'lik kuchi bir kandela bo'lgan nuqtaviy manbaning bir steradian fazoviy burchak ichida chiqargan yorug'lik oqimi bir lyumen* deyiladi.

Agar nuqtaviy manba yorug'likni hamma yo'nalishlar bo'yicha tekis tarqatayotgan bo'lsa, uning to'liq yorug'lik oqimi quyidagi ifodaga teng bo'ladi:

$$\Phi_0 = 4\pi I. \quad (33)$$

Yoritilganlik birligi qilib **luks** (lx) qabul qilingan. (32) formulaga asosan:

$$1 \text{ lx} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ m}^2} = 1 \frac{\text{lm}}{\text{m}^2}$$

bo'ladi, ya'ni *bir m² sirtga bir lyumen yorug'lik oqimi normal tushib, tekis taqsimlanganda hosil bo'lgan yoritilganlik luks* deb ataladi.

16- §. Yorqinlik va ravshanlik

Shu vaqtgacha biz faqat nuqtaviy yorug'lik manbalari haqida gapirdik. Biroq ko'p hollarda yorug'lik manbalari biror o'lchamga ega bo'ladi, ya'ni yoyilgan bo'ladi. Bunday manbalarning shakli va o'lchamlari ko'z bilan ko'rib farq qilinadi.

Yoyilgan yorug‘lik manbalari uchun yorug‘lik kuchi yetarli xarakteristika bo‘la olmaydi. Shuning uchun qo‘shimcha xarakteristikalar — **yorqinlik** va **ravshanlik** tushunchalari kiritiladi.

Yorug‘lik manbayining yuza birligidan barcha yo‘nalishlar bo‘yicha nurlanayotgan yorug‘lik oqimiga son jihatdan teng bo‘lgan kattalik yorqinlik deyiladi:

$$R = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S}, \quad (34)$$

bunda: ΔS — manbaning yorug‘lik sochayotgan yuzi.

Yorug‘lik manbalari katta o‘lchamli bo‘lganda ko‘z manba sirtining alohida qismlarining ma’lum yo‘nalishdagi nurlanish kuchini ajratadi. *Manba sirtining yuza birligidan ma’lum yo‘nalishda yuzaga normal ravishda chiqayotgan yorug‘lik kuchiga son jihatdan teng bo‘lgan kattalik ravshanlik* deb ataladi:

$$B = \frac{I}{\Delta S}. \quad (35)$$

Agar yorug‘lik ixtiyoriy yo‘nalishda chiqayotgan bo‘lsa, ravshanlik quyidagicha ifodalanadi:

$$B = \frac{I}{\Delta S \cos \varphi}, \quad (36)$$

bunda: φ — nurlanayotgan sirtga o‘tkazilgan normal bilan kuzatish yo‘nalishi orasidagi burchak.

Yorug‘lik kuchi $I = \frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega}$ bo‘lgani uchun manbaning ravshanligi

$$B = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S \cdot \Delta\Omega \cos \varphi}, \quad (37)$$

ya’ni, yorug‘lik manbayining ravshanligi yorug‘lik manbayining birlik fazoviy burchakda ko‘rinayotgan birlik yuzasidan chiqayotgan yorug‘lik oqimiga son jihatdan teng bo‘lgan fizik kattalikdir.

Shunday qilib, nurlanayotgan sirtning ravshanligi ko‘rinish burchagiga bog‘liq bo‘ladi. Ravshanligi hamma yo‘nalishlar bo‘yicha bir xil bo‘lgan ($B=\text{const}$) manbalar **lambert manbalari** (Lambert qonuniga bo‘ysunuvchi manbalar) yoki **kosinusli manbalar** deb ataladi. Bunday manba sirtining elementi tarqatayotgan oqim $\cos \varphi$ ga proporsional bo‘ladi.

Lambert manbalarining yorqinligi bilan ravshanligi o‘zaro quyidagi munosabatda bog‘langan:

$$R = \pi \cdot B. \quad (38)$$

Bundan nurlanuvchi sirtlarning ravshanligi uning yorqinligidan π marta kichik bo‘ladi, degan xulosaga kelish mumkin.

Yorqinlik ham yoritilganlik o‘lchanadigan birliklarda, ya’ni lukslarda o‘lchanadi.

Ravshanlik birligi qilib **nit** (nt) qabul qilingan. (35) formuladan

$$1 \text{ nt} = \frac{1 \text{ cd}}{1 \text{ m}^2} = 1 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$$

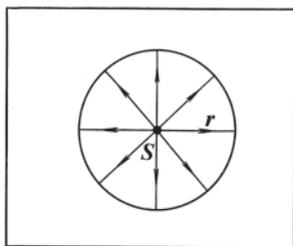
bo‘ladi. Bir tekis yorituvchi yassi sirtidagi bir kvadrat metr yuzning sirt normalini yo‘nalishidagi yorug‘lik kuchi bir kandelaga teng bo‘lsa, shu sirtning o‘z normalini yo‘nalishidagi ravshanligi bir nit bo‘ladi.

17- §. Yoritilganlik qonunlari

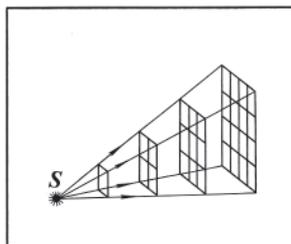
Kuzatishlarning ko‘rsatishicha, buyumlarning yoritilganligi manbaning yorug‘lik kuchiga va manbadan yoritilayotgan sirtgacha bo‘lgan masofaga bog‘liq holda o‘zgarar ekan. Bu bog‘lanishni aniqlaylik. Yoritilayotgan r radiusli shar bo‘lib, uning sirt markazida yorug‘lik kuchi I bo‘lgan nuqtaviy manba turgan bo‘lsin. Bu holda nurlar yoritilayotgan sirtning har qanday elementiga perpendikulyar bo‘ladi (35- rasm).

Yorug‘lik kuchi I bo‘lgan manbaning barcha yo‘nalishlar bo‘ylab sochayotgan to‘liq yorug‘lik oqimi $\Phi_0 = 4\pi I$ bo‘ladi. Butun shar sirtining yuzi $S = 4\pi r^2$. Bu sirtning yoritilganligi:

$$E_0 = \frac{\Phi_0}{S} = \frac{4\pi I}{4\pi r^2} = \frac{I}{r^2}. \quad (39)$$



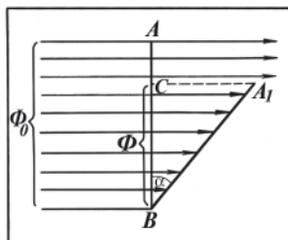
35- rasm.



36- rasm.

Bu bog‘lanish yoritilganlikning **birinchi qonunini** ifodalaydi: *nuqtaviy yorug‘lik manbayidan chiqayotgan nurlar sirtga perpendikulyar tushganda sirtning yoritilganligi manbaning yorug‘lik kuchiga to‘g‘ri proporsional va undan yoritilayotgan sirtgacha bo‘lgan masofa kvadratiga teskari proporsionaldir.* Bu qonunning to‘g‘ri ekanligini, ya‘ni yoritilganlik nuqtaviy yorug‘lik manbayidan yoritilayotgan sirtgacha bo‘lgan masofaning kvadratiga teskari proporsional ekanligi 36- rasmda tasvirlangan. Rasmdan ko‘rinadiki, yoritiluvchi sirt yorug‘lik manbayidan qancha uzoqda joylashgan bo‘lsa, bir birlik sirtga to‘g‘ri keladigan yorug‘lik oqimi shuncha kam yetib boradi, ya‘ni masofa necha marta ortsa, sirtning yoritilganligi masofaning kvadrati marta kamayadi.

Yoritilganlik yuqorida ko‘rsatilgan omillardan tashqari nurning yoritiluvchi sirtga qanday burchak ostida tushishiga ham bog‘liqdir. Bu bog‘lanishni aniqlaylik. Perpendikulyar nurlarning Φ_0 oqimi yuzi S va uzunligi AB bo‘lgan to‘g‘ri to‘rtburchak sirtga tushayotgan bo‘lsin (37- rasm). Bu holda sirtning yoritilganligi:



37- rasm.

$$E_0 = \frac{\Phi_0}{S}.$$

Yuzni biror α burchakka og‘diramiz, unda sirt A_1B vaziyatni oladi va unga kamroq Φ yorug‘lik oqimi tushadi, chunki nurlarning bir qismi sirtga tushmay o‘tib ketadi.

Bu holda sirt yuzi o‘zgarmaganligi sababli sirtning yoritilganligi kamayadi va $E = \frac{\Phi}{S}$ ga teng bo‘lib qoladi. Bu hosil bo‘lgan

tengliklarning ikkinchisini birinchisiga bo‘lsak: $\frac{E}{E_0} = \frac{\Phi}{\Phi_0}$ hosil bo‘ladi.

Chizmadan $\frac{\Phi}{\Phi_0} = \frac{BC}{BA} = \frac{BC}{BA_1}$ ekanligi ko‘rinib turibdi. Keyingi ikki tenglikni taqqoslab, quyidagini hosil qilamiz:

$$\frac{E}{E_0} = \frac{BC}{BA_1}.$$

To‘g‘ri burchakli CBA_1 uchburchakdan:

$$\frac{BC}{BA_1} = \cos \alpha$$

deb yozish mumkin, u holda yuqoridagi tenglik:

$$\frac{E}{E_0} = \cos \alpha \quad \text{yoki} \quad E = E_0 \cos \alpha \quad (40)$$

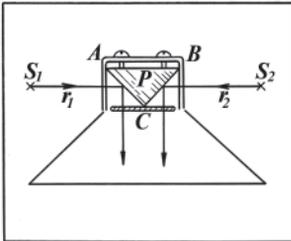
bo‘ladi. Bu bog‘lanish yoritilganlikning **ikkinchi qonunini** ifodalaydi: *yorituvchi sirtga yorug‘lik nuri burchak ostida tushsa, sirtning yoritilganligi nurning tushish burchagi kosinusiga to‘g‘ri proporsionaldir.*

Yoritilganlikning ikkala qonunini birlashtirib, quyidagicha yozish mumkin:

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha. \quad (41)$$

Nuqtaviy yorug‘lik manbayining biror sirtida hosil qilgan yoritilganligi manbaning yorug‘lik kuchiga va nurlarning tushish burchagi kosinusiga to‘g‘ri proporsional va manbadan sirtgacha bo‘lgan masofaning kvadratiga teskari proporsionaldir.

18- §. Fotometrлар va ularning qo‘llanishi



38- rasm.

Sirtlarning yoritilganligini tenglashtirish yo‘li bilan ikki manbaning yorug‘lik kuchi taqqoslanadi. Shu maqsadda ishlatiladigan asboblار **fotometrлар** deb ataladi. Eng sodda fotometrlardan birining sxemasi 38- rasmda ko‘rsatilgan. Uchburchakli *ABC* prizmaning oq rangga bo‘yalgan *AC* va *BC* yoqlariga manbalardan yorug‘lik tushadi. Prizmaning har bir yog‘ini faqat bir manba yoritadi. Yoritilganlik *C* tomondan ko‘z bilan

kuzatiladi. Fotometrni manbalar orasida u yoki bu tomonga siljitib, prizmaning *BC* va *AC* yoqlari bir xil yoritilishiga erishiladi va shundan so‘ng quyidagi mulohazalarga muvofiq manbaning yorug‘lik kuchi hisoblanadi: yorug‘lik kuchi I_1 bo‘lgan S_1 manba prizmadan r_1 masofada turib,

$$E_1 = \frac{I_1}{r_1^2} \cos \alpha$$

yoritilganlik hosil qiladi, yorug'lik kuchi I_2 bo'lgan S_2 manba esa prizmadan r_2 masofada turib:

$$E_2 = \frac{I_2}{r_2^2} \cos \alpha$$

yoritilganlik hosil qiladi. Fotometrni $E_1 = E_2$ bo'ladigan qilib joylashtirganimiz uchun quyidagini yoza olamiz:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}. \quad (42)$$

Ikki manbaning yorug'lik kuchlari nisbati yorug'lik manbalaridan birday yoritilayotgan sirtgacha bo'lgan masofalar kvadratlarining nisbati kabidir.

Yuqoridagi (42) ifoda bir manbaning yorug'lik kuchi ma'lum bo'lganda ikkinchi manbaning yorug'lik kuchini topishga imkon beradi.

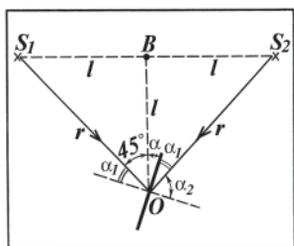
Faqat ikkala taqqoslanuvchi sirtlarning rangi bir xil bo'lgandagina ravshanliklarning tengligini ko'z bilan yetarli darajada aniq belgilash mumkin. Sirtlarning rangi bir-biridan ozgina farq qilganda ham ravshanliklarni taqqoslash juda qiyinlashadi, farq katta bo'lganda esa ravshanliklarni taqqoslash mumkin bo'lmay qoladi.

Takrorlash uchun savollar

1. *Yorug'lik nima? Yorug'lik manbayichi?*
2. *Qanday yorug'lik manbalarini bilasiz?*
3. *Nuqtaviy yorug'lik manbayi deganda nimani tushunasiz? Ta'rifini bering, misollar keltiring.*
4. *Yorug'lik nuri deb nimaga aytiladi? Yorug'lik dastasi debchi?*
5. *Fotometriya nimani o'rganadi?*
6. *Asosiy fotometrik kattaliklarni ayting, ta'rifini bering, formulasini yozing.*
7. *Fotometrik kattaliklarning o'lchov birliklarini ayting, ta'rifini bering.*
8. *Yoritilganlik qonunlarini keltirib chiqaring va ta'rifini bering.*
9. *Fotometrlar qanday asboblardir? Tuzilishini va ishlash prinsipini tushuntiring.*

Masala yechish namunalari

1- masala. Bir-biridan 2 m uzoqlikda turgan S_1 va S_2 nuqtaviy yorug'lik manbalarini birlashtiruvchi $S_1 S_2$ to'g'ri chiziqning o'rtasidagi B nuqtadan uzunligi 1 m bo'lgan OB perpendikulyar o'tkazilgan (39- rasm). O nuqtada perpendikulyar bilan 15° burchak



39- rasm.

hosil qiluvchi noshaffof plastinka joylashtirilgan. Plastinkaning ikkala tomonining yoritilganligi bir xil va 20 lx ga teng. Manbalarning yorug'lik kuchini toping.

Berilgan: $S_1 S_2 = 2\text{m}$; $OB = 1\text{m}$;
 $E_1 = E_2 = 20 \text{ lx}$; $\alpha = 15^\circ$.

Topish kerak: I_1 — ? I_2 — ?

Yechilishi. $S_1 B$, $S_2 B$ va OB masofalarni l harfi bilan belgilaymiz; $l = 1\text{m}$. $S_1 O$ va $S_2 O$ nurlarni o'tkazamiz va bu nurlarning plastinkaga tushish burchaklarini mos ravishda α_1 va α_2 deb belgilaymiz.

Shakldan ko'rinadi, $\alpha_1 + \alpha = 45^\circ$, binobarin: $\alpha_1 = 45^\circ - \alpha = 45^\circ - 15^\circ = 30^\circ$ va $\alpha_2 = 90^\circ - \alpha_1 = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$.

Yoritilganlik qonuniga asosan:

$$E_1 = \frac{I_1}{r_1^2} \cos \alpha_1; \quad E_2 = \frac{I_2}{r_2^2} \cos \alpha_2.$$

r masofani aniqlaymiz. Teng yonli to'g'ri burchakli $S_1 OB$ uchburchakdan $r^2 = l^2 + l^2 = 2l^2$, ya'ni $r = \sqrt{2}l$ bo'ladi.

U holda plastinka sirtlarining yoritilganligi quyidagicha bo'ladi:

$$E_1 = \frac{I_1}{2l^2} \cos \alpha_1; \quad E_2 = \frac{I_2}{2l^2} \cos \alpha_2.$$

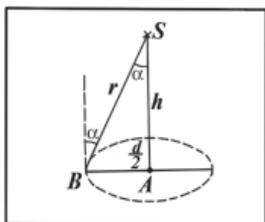
Bu ifodalardan manbalarning yorug'lik kuchini topamiz:

$$I_1 = \frac{2l^2 E_1}{\cos \alpha_1}; \quad I_2 = \frac{2l^2 E_2}{\cos \alpha_2}.$$

Hisoblash:

$$I_1 = \frac{2 \cdot 20 \cdot 1 \cdot \text{lx} \cdot \text{m}^2}{\sqrt{3}/2} = 46 \text{ cd}; \quad I_2 = \frac{2 \cdot 20 \cdot \text{lx} \cdot \text{m}^2}{0,5} = 80 \text{ cd}.$$

2- masala: To'la yorug'lik oqimi 1300 lm bo'lgan lampa stol markazidan 2 m balandlikda osilgan. Diametri 1,5 m bo'lgan dumaloq stolning o'rtasida va chetlarida yoritilganlik qanday bo'ladi?



40- rasm.

Berilgan: $\Phi_0 = 1300 \text{ lm}$; $h = 2\text{m}$; $d = 1,5 \text{ m}$.

Topish kerak: E_A —? E_B —?

Yechilishi. Stol o'rtasining yoritilganligi (40-

rasm) $E_A = \frac{I}{h^2}$, bunda: $I = \frac{\Phi_0}{4\pi}$.

Binobarin, $E_A = \frac{\Phi_0}{4\pi h^2}$. Stol chetining yoritilganligi:

$$E_B = \frac{I}{r^2} \cos \alpha, \quad 40\text{- rasmdan: } r = \sqrt{h^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2},$$

$$\cos \alpha = \frac{h}{\sqrt{h^2 + (d/2)^2}}, \quad \text{u holda: } E_B = \frac{\Phi_0}{4\pi \left[h^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2 \right]} \cdot \frac{h}{\sqrt{h^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2}}.$$

Hisoblash:

$$E_A = \frac{1300 \text{ lm}}{43,144 \text{ m}^2} = 26 \text{ lx}; \quad E_B = \frac{1300 \text{ lm}}{4 \cdot 3,14 \cdot (4 + 0,75^2) \text{ m}^2} \times \frac{2 \text{ m}}{\sqrt{(4 + 0,75^2) \text{ m}^2}} = 21 \text{ lx}.$$

3- masala. Yorug'lik kuchi 300 cd ga teng manbadan 3 m uzoqlikda joylashgan va yuzi 15 sm² bo'lgan sirtga tik tushayotgan yorug'lik oqimini toping.

Berilgan: $S = 15 \text{ sm}^2 = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$; $r = 3 \text{ m}$;

$I = 300 \text{ cd} = 3 \cdot 10^2 \text{ cd}$; $\alpha = 0^\circ$.

Topish kerak: Φ —?

Yechilishi. Manbani radiusi 3 m bo'lgan sferaning markazida joylashgan deb hisoblaymiz. S sirt sferik sirtning bir qismini tashkil etadi. U holda bunday sirtning yoritilganligi $E = \frac{I}{r^2} \cdot \cos \alpha$ bo'ladi.

Ikkinchi tomondan: $E = \frac{\Phi}{S}$.

Bu ifodalarning o'ng qismlarini tenglashtirib, S sirtga tushayotgan yorug'lik oqimi uchun quyidagi munosabatni hosil qilamiz:

$$\Phi = \frac{I \cdot S}{r^2} \cos \alpha.$$

Hisoblash:

$$\Phi = \frac{3 \cdot 10^2 \text{ cd} \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2}{9 \text{ m}^2} \cos 0^\circ = 0,05 \text{ lm}.$$

4- masala: Yorug'lik kuchi 120 cd bo'lgan elektr lampa 3 m radiusli xira sferik plafon bilan o'ralgan. Lampaning ravshanligi va yorqinligini toping. Plafon shishada yorug'likning yutilishini hisobga olmang.

Berilgan: $I=120$ cd; $r=3$ sm= $3 \cdot 10^{-2}$ m.

Topish kerak: R —? B —?

Yechilishi. Ta'rifga asosan, manbaning ravshanligi $R = \frac{\Phi_0}{S}$. Bizga ma'lumki, yorug'likning to'liq oqimi $\Phi_0 = I\Omega = 4\pi I$, cferaning sirti $S=4\pi r^2$ bo'ladi. U holda:

$$R = \frac{4\pi I}{4\pi r^2} = \frac{I}{r^2}.$$

Lampaning yorqinligi $R=\pi B$ munosabatdan foydalanib topiladi:

$$B = \frac{R}{\pi} = \frac{I}{\pi r^2}.$$

Hisoblash:

$$R = \frac{120 \text{ cd}}{9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 1,33 \cdot 10^5 \text{ lx}$$

$$B = \frac{120 \text{ cd}}{3,14 \cdot 9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 4,25 \cdot 10^4 \text{ nt.}$$

Mustaqil yechish uchun masalalar

16. Bir-biridan 20 sm masofada turgan ikkita ekran orasiga yorug'lik manbayi joylashtirilgan. Chap ekran o'ng ekranga nisbatan 3 marta ko'proq yoritilishi uchun manbani chap ekrandan qanday masofada qo'yish kerak?

17. Bir-biriga nisbatan 6 m masofada 4 m uzunlikdagi vertikal o'rnatilgan ikki simyog'ochga yorug'lik kuchlari $I_1=I_2=200$ cd bo'lgan lampalar osilgan. Har bir lampa ostidagi va simyog'ochlar o'rtasidagi yer yuzining yoritilganligini toping.

18. 0,6 steradian fazoviy burchak uchiga o'rnatilgan nuqtaviy manba shu burchak ichida 240 lm yorug'lik oqimini tarqatadi. Manbaning yorug'lik kuchini aniqlang.

19. Fotometr bir tomondan 50 sm narida turgan yorug'lik kuchi 100 cd bo'lgan lampa bilan yoritilmoqda. Fotometrning qismlari bir xil yoritilishi uchun uning ikkinchi tomoniga 30 sm masofada turgan lampaning yorug'lik kuchi qancha bo'lishi kerak?

20. Yassi sirtning nuqtaviy manbaga eng yaqin nuqtasidagi yoritilganligi 100 lx ga teng. Shu sirtga nurlarning tushish burchaklari 30° , 45° , 60° bo'lgan joylaridagi yoritilganlik nimaga teng bo'ladi?

21. 25 cd va 100 cd li ikki lampa bir-biridan 1 m masofada joylashgan. Fotometr ikkala tomondan bir xil yoritilishi uchun uni bu lampalar orasida qayerga qo'yish kerak?

22. 100 cd yorug'lik kuchiga ega bo'lgan lampochka bilan yuzasi 300 cm^2 bo'lgan qog'oz varag'i yoritiladi. Unga lampochkadan butun yorug'likning 0,5 foizi tushadi. Shu qog'oz varag'ining yoritilganligini toping.

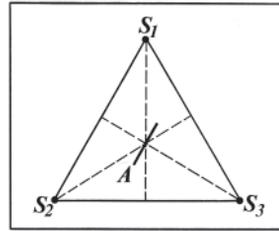
23. Quyoshning to'g'ri tushayotgan nurlari 100000 lx yoritilganlik hosil qiladi. Yorug'lik kuchi 1000 cd bo'lgan lampadan qanday masofada xuddi shunday yoritilganlik hosil qilish mumkin?

24. Yorug'lik nurlari tik tushayotgan sirtning 500 W quvvatli lampa tomonidan yoritilganligi 28 lx ga teng. Lampa bilan sirt orasidagi masofa 5 m. Lampaning yorug'lik berishini (lm/W larda) toping.

25. Bir ishni bajarish uchun stolning yoritilganligi 10 lx bo'lishi kerak. Yorug'lik kuchi 100 cd bo'lgan lampani stol markazidan qanday balandlikka o'rnatish kerak?

26. Normal tushayotgan quyosh nuridan Yer sirtining yoritilganligini toping. Quyoshning ravshanligi $1,2 \cdot 10^9 \text{ nt}$.

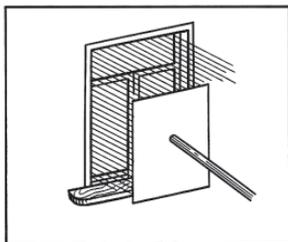
27. Teng tomonli uchburchakning uchlarida har birining yorug'lik kuchi 10 cd dan bo'lgan uchta lampa joylashtirilgan. Uchburchak markazida uning tomonlaridan biriga parallel va uchburchak tekisligiga tik holda plastinka joylashtirilgan (41- rasm). Shu plastinka ikkala sirtining yoritilganligini toping. Uchburchakning bitta tomonining uzunligini 200 sm ga teng deb oling.



41- rasm.

19- §. Yorug‘likning to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqalishi. Ferma prinsipi

Yorug‘likning tarqalishi yorug‘lik to‘lqinlari energiyasining ko‘chishidan iboratdir. Agar Quyoshdan kelayotgan yorug‘likni darchadagi kichik dumaloq teshik orqali o‘tkazib, chetdan turib qarasak, havoda ingichka yorug‘lik dastasini ko‘ramiz — bu yorug‘lik shu‘lasidir (42- rasm).



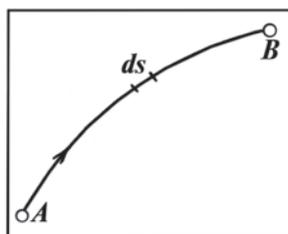
42- rasm.

Teshikni kichraytirib, biz shu‘lani ingichkalashtirishimiz — yorug‘lik nurini olishimiz mumkin, biroq uni cheksiz ingichka qilish mumkin emas. Yorug‘lik nuri geometrik tushunchadir. *Yo‘nalishlari fazo-ning ixtiyoriy nuqtasida yorug‘lik energiyasining ko‘chish yo‘nalishi bilan ustma-ust tushadigan geometrik chiziq yorus‘lik nuri deyiladi.*

Bir jinsli muhitda yorus‘lik to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqaladi. Bir jinsli bo‘lmagan muhitda yorus‘lik nurlari egiladi. 1662- yilda fransuz matematigi Ferma yorus‘likning bir jinsli bo‘lmagan muhitda tarqalish yo‘lini topishga imkon beradigan prinsipni yaratdi. *Ferma prinsipiga ko‘ra, yorus‘lik shunday yo‘l bo‘ylab tarqaladiki, bu yo‘lni bosib o‘tish uchun eng kam vaqt kerak bo‘ladi.*

Yorus‘lik biror muhitda AB yo‘nalishda tarqalayotgan bo‘lsin (43-rasm). Yo‘lning dS bo‘lagini bosib o‘tish uchun yorus‘lik

$dt = \frac{dS}{v}$ vaqt sarflaydi, bunda v — yorus‘likning muhitning berilgan nuqtasidagi tezligi. Yorug‘likning muhitdagi v va vakuumdagi c tezliklari orasidagi bog‘lanishga asosan: [(14) formulaga qarang]:



43- rasm.

$$dt = \frac{\sqrt{\epsilon\mu} \cdot dS}{c} \quad \text{bo‘ladi.} \quad \sqrt{\epsilon\mu} = n$$

kattalikni ***muhitning sindirish ko‘rsatkichi*** deyiladi. Demak: $dt = \frac{n \cdot dS}{c}$

deb yoza olamiz. Yorug‘lik yo‘lning A

nuqtasidan B nuqtasigacha bosib o'tishi uchun ketgan t vaqt quyidagi:

$$t = \int_A^B \frac{n \cdot dS}{c} = \frac{1}{c} \int_A^B n \cdot dS$$

ifodadan hisoblab topiladi.

Ferma prinsipiga ko'ra, t vaqt minimal bo'lishi kerak. c o'zgarmas

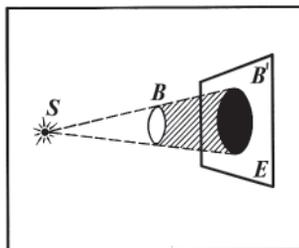
kattalik, binobarin, $\int_A^B n \cdot dS$ integral minimal bo'lishi kerak. Bu kattalikni **yo'lning optikaviy uzunligi** deb ataladi. Bir jinsli muhitda yo'lning optikaviy uzunligi shu yo'lning geometrik uzunligi S bilan muhitning sindirish ko'rsatkichi n ning ko'paytmasiga teng: $L=nS$. Shu tushunchadan foydalanib, Ferma prinsipini quyidagicha ta'riflash mumkin: *yorug'lik optikaviy uzunligi minimal bo'lgan yo'l bo'yicha tarqaladi.*

Agar muhit bir jinsli va izotrop bo'lsa, uning barcha nuqtalarida n birday va o'zgarmas bo'ladi. Binobarin, S geometrik yo'lning minimal qiymati A va B nuqtalar orasidagi eng qisqa masofaning — shu nuqtalarni birlashtiruvchi to'g'ri chiziqning uzunligi bilan mos tushishi kerak.

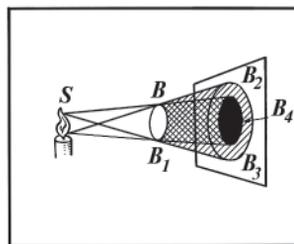
Haqiqatan ham, kuzatishlar bir jinsli muhitda yorug'likning to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalishini ko'rsatadi. Yorug'likning to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalishiga nuqtaviy manbadan kelayotgan yorug'lik yo'lga qo'yilgan buyumlar soyasining hosil bo'lishi yoki nuqtaviy bo'lmagan manbadan keladigan yorug'lik yo'lga qo'yilgan buyumlarning soya va yarim soyalarining hosil bo'lishi dalil bo'la oladi.

Masalan, S nuqtaviy manbadan (44-rasm) kelayotgan yorug'lik nuri yo'lga B jismni qo'yaylik. Yorug'lik to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalgani uchun B jism yorug'lik nurini to'sib qoladi, natijada bu jism orqasida kesik konus shaklida soya hosil bo'ladi. Bu konus ichidagi birona nuqtaga ham S manbadan kelayotgan yorug'lik tushmaydi. Shuning uchun bunday konus o'qiga tik qilib qo'yilgan E ekranda B jismning aniq B' soyasi hosil bo'ladi.

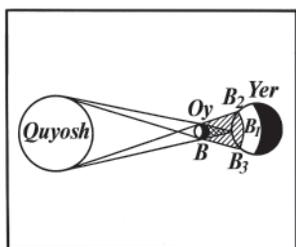
Agar S yorug'lik manbai nuqtaviy bo'lmasa (45-rasm), manbaning har bir



44- rasm.



45- rasm.



46- rasm.

nuqtasidan B jismga tushgan yorug'lik uning orqasida ayrim-ayrim konus shaklidagi soyalarni hosil qiladi. Bu soyalarga umumiy bo'lgan fazoga yorug'lik butunlay tushmaydi (rasmda BB_1B_4 shunday sohadir). $BB_1B_3B_2$ kesik konus o'rab turgan fazoning har qaysi nuqtasiga manbaning ba'zi nuqtalaridangina yorug'lik tushib, boshqa nuqtalaridan yorug'lik tushmaydi.

Natijada ekranda B_4 to'liq soyaning chetlarida B_2B_3 ochroq soha hosil bo'ladi. Bu soha *yarim soya* deyiladi. To'liq soya sohasidan uzoqlashgan sari yarim soya tobora och bo'la boradi. To'liq soya sohasida turgan kuzatuvchiga yorug'lik manbayi butunlay ko'rinmaydi, yarim soya sohasidagi kuzatuvchiga esa yorug'lik manbayi sirtining ma'lum bir qismigina ko'rinadi.

Noshaffof jismga yorug'lik manbayidan nurlar tushganda soyaning hosil bo'lishidan foydalanib, Quyosh va Oy tutilishi hodisalarini izohlash mumkin. Oy Yer bilan Quyosh orasida bo'lganida Quyoshdan kelayotgan yorug'lik nurlarining bir qismini Oy to'sadi. Shu sababli Yerda Oyning yarim soyasi (B_2B_3) hosil bo'ladi (46- rasm). Yarim soya ichida turgan kuzatuvchiga Quyosh sirtining bir qismi qoraygan bo'lib ko'rinadi, ya'ni Quyosh qisman tutiladi, B_1 sohadagi kuzatuvchiga Quyosh ko'rinmaydi, shuning uchun Quyosh to'la tutiladi, deyiladi.

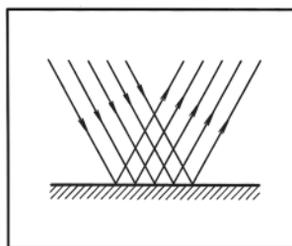
Bu ko'rib o'tilgan hodisalar yorug'likning to'g'ri chiziq bo'yicha tarqalishini tasdiqlaydi.

20- §. Yorug'likning qaytishi. Ko'zgu

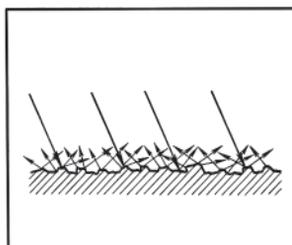
Tajriba va nazariyaning ko'rsatishicha, yorug'lik nuri shaffof muhitlarda yorug'likning vakuumdagi tezligidan kichik bo'lgan tezliklar bilan tarqalar ekan. Turli shaffof muhitlarda yorug'likning tarqalish tezligi turlicha bo'ladi. Barcha nuqtalarida yorug'likning tarqalish tezligi bir xil bo'lgan muhit *optik bir jinsli muhit* deb ataladi.

Yorug'lik bir jinsli muhitda to'g'ri chiziqli tarqaladi. Ikki xil muhit chegarasida nur o'zining yo'nalishini o'zgartirib, bir qismi birinchi muhitga qaytadi. Bu hodisa *yorug'likning qaytishi* deb ataladi. Yorug'likning qolgan qismi esa ikkinchi muhitga o'tib, uning ichida tarqalishni davom ettiradi.

Ikki muhit orasidagi chegaraning xossalari qanday bo'lishiga qarab, qaytishning xarakteri turlicha bo'lishi mumkin. Agar chegara notekisliklarining o'lchami yorug'lik to'lqinining uzunligidan kichik bo'lsa, bunday sirt **ko'zgusimon sirt** deb ataladi. Ana shunday sirt (masalan, silliq shisha sirti, yaxshilab jilolangan metall sirti, simob tomchisining sirti va boshqalar)ga ingichka parallel nurlar dastasi tarzida tushadigan yorug'lik nurlari sirtidan qaytgandan keyin ham parallel nurlar dastasi ko'rinishida qoladi. Yorug'likning bunday qaytishi **tekis qaytish** deyiladi (47-rasm). Yorug'likni tekis qaytaruvchi sirt **ko'zgu** deb ataladi.

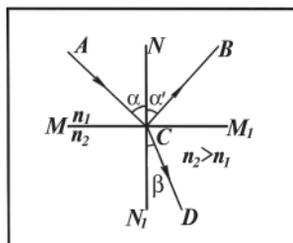


47- rasm.



48- rasm.

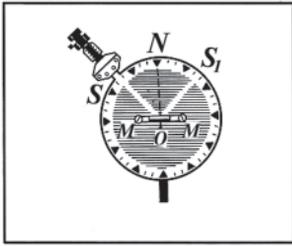
Agar sirdagi notekisliklarning o'lchami yorug'lik to'lqini uzunligidan katta bo'lsa, ingichka shu'la chegarada sochiladi. Yorug'lik nurlari qaytgandan keyin turli yo'nalishlarda tarqaladi. Bunday qaytish **tarqoq qaytish** (yoki **diffuz qaytish**) deb ataladi (48- rasm). O'zi yorug'lik tarqatmaydigan buyumlarni ulardan yorug'likning xuddi shu tarqoq qaytishi tufayligina ko'ramiz. Hatto juda silliq sirtidan ham yorug'lik juda oz darajada sochiladi. Aks holda biz bunday jismlarning sirtini ko'ra olmagan bo'lar edik.



49- rasm.

Tushayotgan AC nur bilan MM_1 sirtning nur tushayotgan C nuqtasiga o'tkazilgan CN perpendikulyar (normal) orasidagi α burchakka yorug'likning **tushish burchagi** deyiladi (49- rasm). Qaytgan CB nur bilan CN perpendikulyar orasidagi α' burchak yorug'likning **qaytish burchagi** deyiladi. Singan CD nur bilan CN_1 perpendikulyar orasidagi β burchak **sinish burchagi** deyiladi.

Yorug'likning qaytishi quyidagi qonunga bo'ysunadi: 1) tushuvchi AC nur va ikki muhit chegarasida nurning tushish nuqtasidan chiqarilgan CN perpendikulyar qaysi tekislikda yotsa, qaytgan nur CB ham shu tekislikda yotadi; 2) qaytish burchagi tushish burchagiga teng bo'ladi, ya'ni: $\alpha = \alpha'$.



50- rasm.

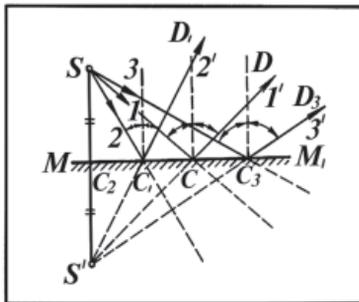
Yorug'likning qaytish qonunini quyidagi tajriba asosida kuzatamiz. Darajalarga bo'lingan doiraviy disk markaziga MM' yassi ko'zguni shunday joylashtiramizki, unda ON normal, tushuvchi SO va qaytuvchi OS_1 nurlarni kuzatishimiz mumkin bo'lsin (50- rasm). Bunda O nuqta nurning tushish nuqtasi bo'ladi. Yorug'lik manbai S nuqtaga o'rnatilgan. Diskni aylantirib nurning tushish burchagini o'zgartirsak, uning qaytish burchagi ham o'zgaradi. Agarda manbani S_1 nuqtaga o'rnatib, nurning tushish yo'nalishini o'zgartirsak, qaytgan nur nurning oldingi tushish OS yo'nalishida qaytganini ko'ramiz. Demak, tushuvchi va qaytuvchi nurlar o'zaro aylana olar ekan. Bunga **yorug'lik nurining aylanuvchanligi** deyiladi. Bundan tashqari yuqoridagi tajribadan tushuvchi va qaytuvchi nurlarning bir tekislikda yotishiga va nurning tushish burchagi qaytish burchagiga teng ekanligiga ham ishonch hosil qilish mumkin.

Amalda yassi va sferik ko'zgulardan keng foydalaniladi.

21- §. Yassi ko'zguda buyumning tasviri

Yassi ko'zgudan yorug'likning qaytishi va unda buyumning tasviri qanday hosil bo'lishi bilan tanishib chiqaylik.

Yorug'lik chiqaruvchi S nuqta MM_1 yassi ko'zgu yaqinida turgan bo'lsin (51- rasm). Yorug'likning qaytish qonunidan foydalanib, shu S nuqtaning tasvirini yasaymiz. Yorug'lik nurlari S nuqtadan SC , SC_1 va boshqa yo'nalishlarda chiqadi. Bu nurlar ko'zgu sirtidan qaytib, CD , C_1D_1 va boshqa yo'nalishlarda tarqaluvchi nur dastasini



51- rasm.

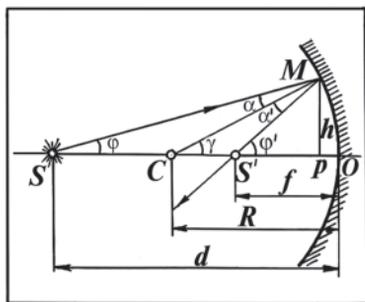
hosil qiladi. Agar bunday tarqaluvchi nurlar dastasi ko‘zimizga tushsa, bizning nazarimizda bu nurlar xuddi ularning xayoliy davomlarining kesishishida yotgan S' nuqtasiga joylashgan yorug‘lik manbayidan chiqayotganday tuyuladi. Bunday holda S' nuqta yorug‘lik sochayotgan S manbaning yassi ko‘zgudagi **mavhum tasviri** deyiladi, chunki bu nuqtada qaytgan nurlar aslida kesishmay ularning davomlari kesishadi. Qaytgan nurlar kesishgan nuqta yorug‘lik sochayotgan nuqtaning **haqiqiy tasviri** deyiladi.

To‘g‘ri burchakli SC_2C_1 va $S'C_2C_1$ uchburchaklarning tengligidan $SC_2 = S'C_2$ ekanligi kelib chiqadi. Bundan ko‘rinadiki, nuqta ko‘zgudan qancha masofada turgan bo‘lsa, uning tasviri ham ko‘zgudan (lekin orqasida) shuncha masofada hosil bo‘ladi, ya’ni yorug‘lik sochayotgan nuqta va uning mavhum tasviri yassi ko‘zguga nisbatan simmetrik joylashgan bo‘ladi. Bu xossadan foydalanib, buyumning yassi ko‘zgudagi tasvirini nuqtalar to‘plami sifatida yasash mumkin. Buning uchun buyumning har bir nuqtasiga ko‘zguga nisbatan simmetrik bo‘lgan nuqtalarni topish kerak.

Buyumning yassi ko‘zgudagi tasviri hamma vaqt mavhum, to‘g‘ri, buyumga teng va ko‘zgu tekisligiga nisbatan simmetrik bo‘ladi.

22- §. Sferik ko‘zgu. Sferik ko‘zguning formulasi

Sferik ko‘zgu yaxshi ishlov berib silliqlangan shar sirtining bir qismidir. Yorug‘lik nuri sferik sirtning ichki va tashqi sirtidan qaytishiga qarab sferik ko‘zgular mos ravishda **botiq** va **qavariq ko‘zgular** deyiladi. 52- rasmda botiq sferik ko‘zgu tasvirlangan. Shar sirtining C markazi ko‘zguning **optik markazi**, shar sigmentining O uchi esa ko‘zguning **qutbi** deyiladi. C optik markazidan o‘tadigan har qanday



52- rasm.

nur ko'zguning **optik o'qi**, sfera markazi C dan va ko'zgu qutbi O dan o'tadigan CO optik o'q ko'zguning **bosh optik o'qi** deyiladi. Faqat bosh optik o'q yaqinida va optik o'qqa kichik burchak ostida kelayotgan nurlar **markaziy nurlar** yoki **paraksial nurlar** deb ataladi.

Yorug'lik chiqaruvchi S nuqtadan ko'zbugacha bo'lgan $OS=d$ masofa, shu nuqta tasviri S' dan ko'zbugacha bo'lgan $OS'=f$ oraliq va sferik ko'zgu radiusi $OC=R$ orasidagi bog'lanishni topaylik. Ravshanki, α — tushish burchagi bo'ladi, chunki bu burchak tushayotgan nur va shar sirtiga perpendikulyar bo'lgan $MC=R$ radius orasida hosil bo'ladi, α' — qaytish burchagi. Uchburchakning tashqi burchagi to'g'risidagi teorema muvofiq SMC uchburchak uchun quyidagini yozish mumkin: $\gamma=\alpha+\varphi$.

Xuddi shuningdek, $S'MC$ uchburchak uchun $\varphi'=\alpha'+\gamma$ bo'ladi. $\alpha=\alpha'$ ekanligini nazarga olib, quyidagi tenglikni hosil qilamiz:

$$2\gamma = \varphi + \varphi'. \quad (43)$$

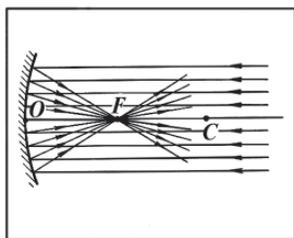
Paraksial nurlar bilan ish ko'rilayotgani uchun bu burchaklarning hammasi juda kichik bo'ladi va ular uchun quyidagi taqribiy tengliklarni yozish mumkin:

$$\varphi' \approx \text{tg}\varphi' = \frac{h}{S'P} \approx \frac{h}{f}; \quad \varphi \approx \text{tg}\varphi = \frac{h}{SP} \approx \frac{h}{d}; \quad \gamma \approx \text{tg}\gamma = \frac{h}{CP} \approx \frac{h}{R}.$$

Burchaklarning bu qiymatlarini (43) ifodaga qo'yib, h ga qisqartirib, quyidagi formulani hosil qilamiz:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{2}{R}. \quad (44)$$

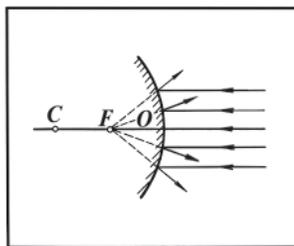
Bu formula S nuqtadan chiqayotgan boshqa nurlar uchun ham o'rinlidir, shuning uchun barcha qaytgan nurlar S' nuqtada kesishadi, ya'ni S' nuqta S nuqtaning tasviri bo'ladi.



53- rasm.

Agar $d \rightarrow \infty$ bo'lsa, u holda $f = \frac{R}{2}$ bo'ladi, biroq $d \rightarrow \infty$ bo'lganda ko'zbuga tushayotgan nurlar optik o'qqa parallel, binobarin, bu nurlar ko'zbugdan qaytgandan keyin bu o'qni qutbdan $\frac{R}{2}$

masofadagi nuqtada kesib o‘tadi (53- rasm). Bu nuqta **ko‘zguning fokusi** F deyiladi. Ko‘zguning qutbidan fokusgacha bo‘lgan masofa **fokus masofasi** deyiladi. Ko‘zguning fokusi orqali o‘tgan va optik o‘qqa perpendikulyar bo‘lgan tekislik ko‘zguning **fokal tekisligi** deyiladi.



54- rasm.

Fokus masofasi ham fokus singari F harfi bilan belgilanadi. Shunday qilib, sferik ko‘zguning F fokus masofasi ko‘zgu sferasi radiusining yarmiga teng. U vaqtda ko‘zguning fokus masofasi tushunchasidan foydalanib, (44) formulani quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}. \quad (45)$$

Qavariq ko‘zgu bo‘lgan holda, optik o‘qqa parallel nurlar qaytgandan keyin sochiladi, bu nurlarning davomi ko‘zguning orqa tomonida optik o‘qni bir nuqtada kesib o‘tadi. Bu nuqta ko‘zguning **mavhum fokusi** deyiladi (54- rasm).

(45) formula **sferik ko‘zgu formulasi** deb yuritiladi.

Sferik ko‘zgu formulasi tasvir va ko‘zguning fokusi haqiqiy bo‘lgan hol uchun keltirilib chiqarildi. Agar tasvir mavhum bo‘lsa $\frac{1}{f}$ had, ko‘zgu fokusi mavhum bo‘lsa $\frac{1}{F}$ had oldilariga minus ishorasi qo‘yiladi. Bunda F va f kattaliklarning o‘zi musbat deb hisoblanadi. Sferik ko‘zgu formulasidan sferik ko‘zguning fokus masofasi:

$$F = \frac{f \cdot d}{f + d} \quad (46)$$

ekanligi kelib chiqadi.

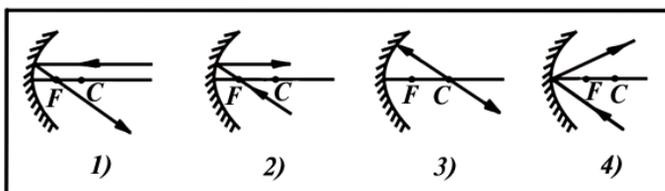
$$D = \frac{1}{f} = \frac{2}{R} \quad (47)$$

kattalik **ko‘zguning optik kuchi** deb ataladi va fokus masofasi metr (m) hisobida o‘lchanganda optik kuch **dioptriya (D)** degan maxsus birlik bilan ifodalanadi:

$$[D] = \frac{1}{[F]} = \frac{1}{1m} = 1 D.$$

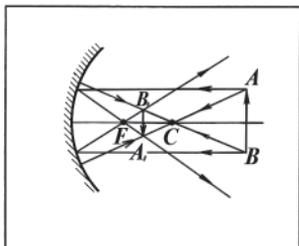
23- §. Sferik ko'zguda tasvir yasash. Sferik ko'zguning kattalashtirishi

Sferik ko'zguda tasvir yasash uchun ko'zguga tushayotgan nurlar dastasi ichidan quyidagi nurlardan foydalanish qulay (55- rasm): 1) ko'zguning bosh optik o'qiga parallel bo'lgan nur ko'zgdan qaytgandan keyin fokusdan o'tadi; 2) fokusdan o'tib ko'zguga tushgan nur undan qaytgandan keyin optik o'qqa parallel ravishda ketadi; 3) optik markazdan o'tib ko'zguga tushgan nur undan qaytishda dastlabki yo'nalishida orqaga ketadi; 4) ko'zguning qutbiga tushgan nur undan optik o'qqa nisbatan simmetrik yo'nalishda qaytadi. Odatda biror nuqtaning tasvirini yasash uchun shu nurlardan ixtiyoriy ikkitasini olish kifoyadir. Shu nurlardan foydalanib, sferik ko'zguda buyumning tasvirini yasashning ba'zi hollarini ko'rib chiqaylik:

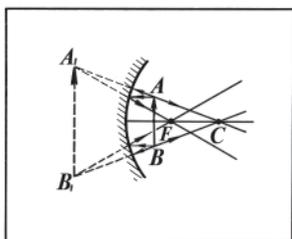


55- rasm.

1) AB buyum ko'zguning optik markazi orqasida turgan, ya'ni $d > R$ bo'lsin (56- rasm). Buyumning A va B chekka nuqtalarining tasvirini yasab, hosil bo'lgan nuqtalarni to'g'ri chiziq bilan tutashtirsak, buyumning tasviri hosil bo'ladi. A va B nuqtalarning tasvirini yasash uchun optik o'qqa parallel va ko'zgu markazi orqali o'tayotgan nurlardan foydalanamiz. Qaytgan nurlar fokus orqali o'tib tushayotgan nur bilan kesishish nuqtalarida A va B nuqtalarning tasviri A_1 va B_1 nuqtalar hosil bo'ladi. Bu nuqtalarni birlashtirgan A_1B_1 to'g'ri chiziq AB buyum tasviridir. Tasvir haqiqiy, teskari va kichiklashgan bo'ladi;



56- rasm.



57- rasm.

2) buyum $d < F$ masofada, ya'ni fokus va ko'zgu orasida turgan holni ko'raylik (57- rasm). Bu holda nurlar qaytgandan keyin

tarqaluvchi dasta tarzida ketadi. Tasvir ko'zgu orqasida hosil bo'ladi; u mavhum, to'g'ri va kattalashgan bo'ladi;

3) qavariq ko'zguda buyumning tasviri (58- rasm) hamma vaqt mavhum, to'g'ri va kichiklashgan bo'ladi.

Tasvir o'lchamining buyum o'lchamiga nisbati **ko'zguning chiziqli kattalashtirishi**

deyiladi, ya'ni $k = \frac{A_1B_1}{AB} = \frac{H}{h}$, bunda $h=AB$

buyumning o'lchami, $H=A_1B_1$ tasvirning o'lchami. 58- rasmdan chiziqli kattalashtirishni tasvirdan ko'zguna bo'lgan masofaning buyumdan ko'zguna bo'lgan masofaga nisbati orqali ifodalash mumkin ekanligi ko'rinib turibdi, ya'ni quyidagicha bo'ladi:

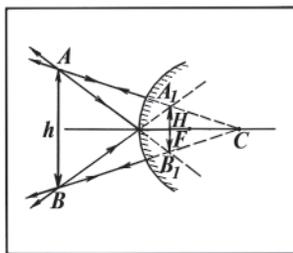
$$k = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}. \quad (48)$$

Takrorlash uchun savollar

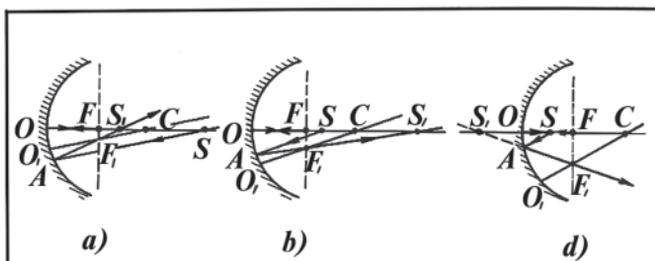
1. Ferma prinsipini tushuntiring.
2. Nima uchun buyumlar soyasi bo'ladi? To'liq soya bilan yarim soya qanday hosil bo'ladi?
3. Yorug'likning tekis va diffuzion qaytishini tushuntiring.
4. Yorug'likning qaytish qonunlarini ta'riflang.
5. Ko'zgu deb nimaga aytiladi? Qanday ko'zgularni bilasiz?
6. Sferik ko'zguning qutbi, optik markazi, bosh optik o'qi, qo'shimcha optik o'qi va fokusini ta'riflang.
7. Sferik ko'zguning formulasini keltirib chiqaring.
8. Yassi ko'zguda buyumning tasviri qanday va qayerda hosil bo'ladi?
9. Sferik ko'zguda tasvir yasashda qanday nurlardan foydalangan ma'qul?
10. Botiq sferik ko'zguda buyumning tasvirini yasang.
11. Qavariq sferik ko'zguda nuqtaning tasvirini hosil qiling.
12. Chiziqli kattalashtirish deb nimaga aytiladi? Formulasini keltirib chiqaring.
13. Yassi sferik ko'zgu qayerlarda ishlatiladi?

Masala yechish namunalari

1- masala. Botiq ko'zguning bosh optik o'qida yotuvchi shu'lanlanuvchi nuqta 1) botiq ko'zgu markazining orqasida; 2) fokus bilan markaz orasida; 3) fokus bilan qutb orasida bo'lgan hollar uchun uning tasviri qayerda yotishini chizma yordamida ko'rsating.



58- rasm.



59- rasm.

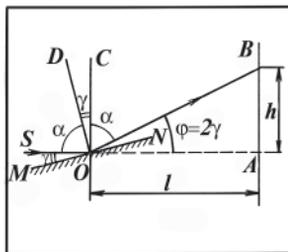
Yechilishi. 1. Ko'zguning C markazi orqali CO_1 qo'shimcha optik o'qni o'tkazamiz (59- *a* rasm). So'ngra S nuqtadan CO_1 ga parallel bo'lgan SA nurni o'tkazganimizda, bu nur ko'zgudan qaytganda fokal tekislikning O_1C optik o'q kesib o'tgan F_1 nuqtasi orqali o'tadi, SA va SO nurlarning kesishishidan hosil bo'lgan S_1 nuqta S nuqtaning tasviri bo'ladi. Bu nuqta ko'zguning fokusi bilan uning optik markazi orasida joylashgandir. Tasvir haqiqiy.

2. Nurlarning aylanuvchanlik xossasidan foydalanib, quyidagilarni tasdiqlash mumkin: agar S shu'lalanuvchi nuqta ko'zgu fokusi bilan optik markazi orasida joylashgan bo'lsa, u holda uning tasviri bo'lgan S_1 nuqta ko'zgu markazining orqasida joylashadi (59- *b* rasm). Buni oldingiga o'xshash yasash yo'li bilan tekshirib ko'rish mumkin: CO_1 yordamchi optik o'q o'tkazamiz va unga parallel bo'lgan SA nurni o'tkazamiz. Bu nur ko'zgudan qaytib fokal tekislikda yotgan F_1 nuqta orqali o'tadi va bosh optik o'qni S_1 nuqtada kesadi. Bu S_1 nuqta S shu'lalanuvchi nuqtaning tasviridir. Bunda ham tasvir haqiqiy.

3. CO_1 yordamchi o'qni o'tkazamiz va unga parallel bo'lgan SA nurning yo'lini qarab chiqamiz (59- *d* rasm). Nur ko'zgudan qaytib F_1 nuqtadan o'tadi va bosh optik o'q bo'ylab o'tuvchi nur bilan kesishmaydi va tasvir hosil bo'lmaydi. Agar tarqaluvchi nurlar ko'zga tushsa, u holda ko'z ko'zguning orqasida nur davomida S_1 nuqtada mavhum tasvirni ko'radi.

Shunday qilib, bosh optik o'qning ustida yotgan nuqtaning tasviri ham shu o'qda yotadi, degan xulosaga kelamiz. Bundan keyin chizmani soddalashtirish uchun buyum («strelka»)ning bir uchi bosh optik o'qda joylashadi, deb hisoblaymiz, u holda buyumning tasvirini bitta nuqta («strelka» ikkinchi uchi) ning tasvirini yasash va undan bosh optik o'qqa perpendikulyar tushirish yo'li bilan hosil qilish mumkin. Bu perpendikulyarning o'q bilan kesishish nuqtasi buyumning ikkinchi uchining tasvirini beradi.

2- masala. Vertikal joylashgan ekranga gorizontal yoʻnalishda yorugʻlik nuri tushmoqda. Agar nurning yoʻliga yassi koʻzgu kiritilsa, yorugʻlik dogʻi ekran boʻylab 3,5 sm yuqoriga siljiydi (60- rasm). Koʻzgu bilan ekran orasidagi masofa 50 sm ga teng. Yorugʻlik nuri koʻzguna qanday burchak ostida tushadi?



60- rasm.

Berilgan: $h=3,5 \text{ sm}=3,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$; $l=50 \text{ sm}=0,5 \text{ m}$.

Topish kerak: α —?

Yechilishi. MN yassi koʻzguning O nuqtasiga tushayotgan SO nurni koʻramiz (60- rasmga qarang). Rasmda DO — koʻzguna tushirilgan perpendikulyar, CO — SA—gorizontal chiziqqa tushirilgan perpendikulyar, OB — koʻzgudan qaytgan nur.

Rasmdan $\angle DOC = 90^\circ - \alpha = \gamma$; $\angle SOM = 90^\circ - \alpha = \gamma$ va $\phi = 2\gamma$ ekanligini koʻrsatish qiyin emas. U holda $\phi = 2\gamma = 2(90^\circ - \alpha)$, bundan

$\alpha = 90^\circ - \frac{\phi}{2}$. Ikkinchi tomondan, $\triangle OBA$ dan:

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{h}{l} = \frac{3,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{0,5 \text{ m}} = 7 \cdot 10^{-2}; \quad \text{bundan: } \phi = 12^\circ 36'.$$

$$\text{Binobarin: } \alpha = 90^\circ - \frac{12^\circ 36'}{2} = 83^\circ 42'.$$

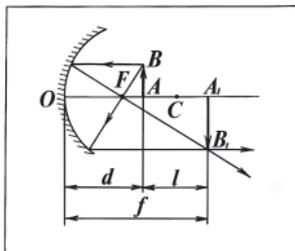
3- masala. Botiq sferik koʻzgu buyumning 3 marta kattalashgan tasvirini beradi. Buyum bilan tasvir orasidagi masofa 28 sm ga teng. Koʻzguning fokus masofasini toping.

Berilgan: $k=3$; $l=28 \text{ sm}=0,28 \text{ m}$.

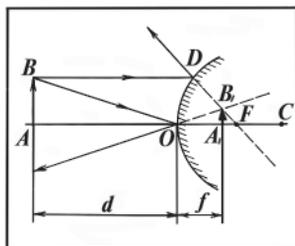
Topish kerak: F —?

Yechilishi. Botiq sferik koʻzguda buyumning ikki holda kattalashgan tasviri hosil boʻladi.

1. Buyum koʻzguning F fokusi bilan C egrilik markazi oraliqʻida turganda (61- rasm) tasvirni hosil qilish uchun bosh optik oʻqqa parallel va fokus orqali oʻtuvchi nurlardan foydalanamiz. Buyumning haqiqiy kattalashgan va teskari tasviri hosil



61- rasm.



63- rasm.

Topish kerak: f — ?

Yechilishi. Buyumning tasvirini hosil qilish uchun bosh optik o'qqa parallel BD nurdan hamda ko'zguning qutbiga tushuvchi BO nurdan foydalanamiz (63- rasm). Tasvir mavhum, kichiklashgan va to'g'ri bo'ladi. Qavariq ko'zgu mavhum fokusga ega, shuning uchun

ko'zgu formulasida $\frac{1}{F}$ had minus ishora bilan olinadi, ya'ni:

$$-\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}, \text{ bunda } F = \frac{R}{2}. \text{ } f \text{ ni topsak: } -\frac{2}{R} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f},$$

$$\text{bundan } f = -\frac{Rd}{2d + R}.$$

Hisoblash:

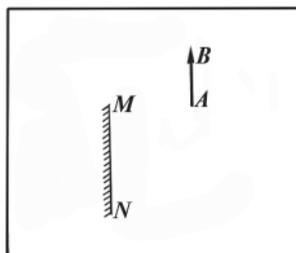
$$f = -\frac{0,4 \text{ m} \cdot 0,6 \text{ m}}{(2 \cdot 0,6 + 0,4) \text{ m}} = -0,15 \text{ m}.$$

Mustaqil yechish uchun masalalar

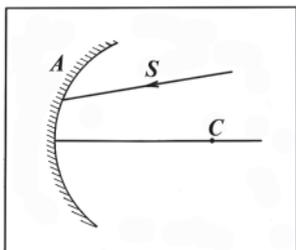
28. Yassi ko'zgu oldida stol lampasi turibdi. Agar ko'zgu lampadan 10 sm ga uzoqlashtirilsa, lampa bilan uning tasviri orasidagi masofa qancha o'zgaradi?

29. Gorizontal yorug'lik nuri vertikal joylashgan yassi ko'zguna tushadi. Ko'zgu o'z o'qi atrofida 15° burchakka burilsa, qaytgan nur qancha burchakka buriladi? Chizmasini chizing.

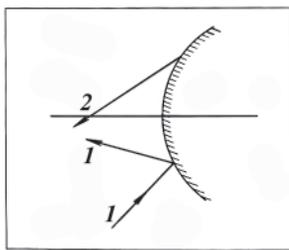
30. AB buyumning MN yassi ko'zgdagi tasvirini yasang (64-rasm). Tasvirni butunlay ko'rish uchun kuzatuvchining ko'zi qayerda joylashishi kerak?



64- rasm.



65- rasm.



66- rasm.

31. Nur gorizontal yo‘nalishda qaytishi uchun yassi ko‘zguni vertikal tushayotgan nurga nisbatan qanday joylashtirish kerak?

32. Yassi ko‘zguning fokus masofasi qanday?

33. Egrilik markazi C nuqtada bo‘lgan botiq sferik ko‘zguga nur tushadi (65- rasm). Nurning keyingi yo‘lini chizing.

34. Botiq sferik ko‘zguda buyumning o‘zidan ikki marta katta tasvirini hosil qilish uchun uni ko‘zgudan qanday masofada joylashtirish kerak? Ko‘zguning fokus masofasi 20 sm ga teng.

35. Botiq sferik ko‘zguning fokus masofasi 30 sm ga teng. Uning egrilik radiusi va optik kuchi qanday bo‘ladi?

36. 66- rasmda 1 nurning yo‘li ko‘rsatilgan. Qavariq sferik ko‘zgudan qaytishdan avval 2 nurning yo‘li qanday bo‘lgan?

37. Qavariq ko‘zgudan 1 m masofada turgan shu‘lalanuvchi nuqtaning tasviri optik o‘qning ko‘zgu qutbi bilan fokusi orasidagi qismini teng ikkiga bo‘ladi. Ko‘zguning egrilik radiusini toping.

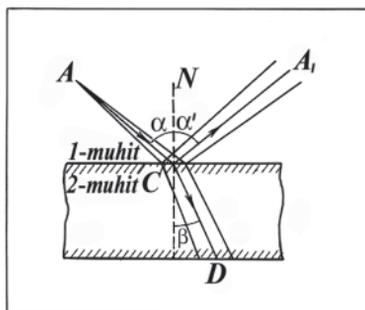
38. Qavariq sferik ko‘zguning egrilik radiusi 60 sm. Ko‘zgudan 10 sm uzoqlikda balandligi 2 sm bo‘lgan buyum qo‘yilgan. Tasvirning vaziyati va balandligini toping. Chizmasi berilsin.

39. Botiq sferik ko‘zguning fokus masofasi 1 m ga teng. Yorug‘likning nuqtaviy manbai bilan uning tasviri bir-birining ustiga tushishi uchun manbani ko‘zgudan qanday masofada joylashtirish kerak?

24- §. Yorug‘likning sinishi

Yorug‘lik nuri bir shaffof muhitdan ikkinchi shaffof muhitga o‘tish chegarasida o‘zining yo‘nalishini o‘zgartiradi. Bu hodisa **yorug‘likning sinishi** deb ataladi. Yorug‘likning sinishiga sabab turli muhitlarda yorug‘lik tezligining turlicha bo‘lishidir.

Ikki muhit chegarasida yorug‘likning sinishi quyidagi qonunlarga bo‘ysunadi: 1. *Tushuvchi AC va ikki muhit chegarasida nurning*



67-rasm

tushish nuqtasiga o'tkazilgan CN normal qaysi tekislikda yotsa, singan nur CD ham shu tekislikda yotadi (67- rasm).

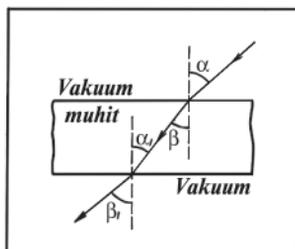
2. Tushish burchagi bilan sinish burchagi har qanday o'zgarganda ham tushish burchagi sinusining sinish burchagi sinusiga nisbati shu ikkala muhit uchun o'zgarmas kattalik bo'lib, ikkinchi muhitning birinchi muhitga nisbatan **nisbiy sindirish ko'rsatkichi** deyiladi:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21}, \quad (49)$$

bunda: α — tushish burchagi; β — sinish burchagi; n_{21} — ikkinchi muhitning birinchi muhitga nisbatan sindirish ko'rsatkichini bildiradi (bunda indeks «yigirma bir» emas «ikki, bir» deb o'qiladi).

Biror muhitning vakuumga nisbatan sindirish ko'rsatkichi shu muhitning **absolyut sindirish ko'rsatkichi** deyiladi. Odatda vakuumning absolyut sindirish ko'rsatkichi birga teng deb olinadi.

Vakuumba joylashgan yassi parallel plastinkaga tushayotgan va undan o'tayotgan yorug'lik nurini ko'raylik (68- rasm). (Parallel tekisliklar bilan chegaralangan shaffof plastinka optikada yassi-parallel plastinka deb ataladi).



68-rasm

Yorug'likning sinish qonuniga asosan ikkala sindiruvchi sirtlar uchun quyidagi munosabatlarni yoza olamiz:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n \quad \text{va} \quad \frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta_1} = \frac{1}{n},$$

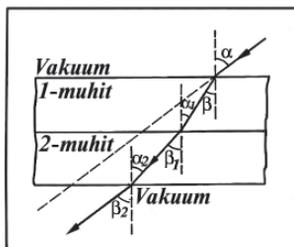
bunda: n — muhitning absolyut sindirish ko'rsatkichi. Bu tengliklarni bir-biriga ko'paytirib, quyidagini hosil qilamiz:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \cdot \frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta_1} = 1.$$

Biroq $\alpha_1 = \beta$, chunki ular ichki almashinuvchi burchaklardir, shuning uchun $\sin \alpha_1 = \sin \beta$, u holda $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta_1} = 1$, bundan $\sin \alpha = \sin \beta_1$ yoki $\alpha = \beta_1$.

Plastinka asoslari parallel bo'lganligi uchun ularga tushirilgan perpendikulyarlar o'zaro parallel bo'ladi, demak, plastinkalarga tushayotgan va undan chiqayotgan nurlar ham o'zaro parallel bo'ladi.

Endi nurning vakuumga joylashtirilgan bir-biriga tegib turgan ikki yassi — parallel plastinka orqali o'tishini qarab chiqaylik (69-rasm). Bu holda ikki plastinka orqali o'tgan nur bir plastinka orqali o'tgan nur kabi tushuvchi nurga parallel bo'ladi, ya'ni $\alpha = \beta_2$. Uchala sindiruvchi sirtlar uchun (49) formulani yozamiz. Bunda birinchi sirt uchun 1- muhitning vakuumga nisbatan nisbiy sindirish ko'rsatkichini, ya'ni uning absolyut sindirish ko'rsatkichi n_1 ni olish kerak. Uchinchi sirt uchun esa vakuumning 2- muhitga nisbatan nisbiy sindirish ko'rsatkichini, ya'ni $\frac{1}{n_2}$ ni olish kerak (bunda n_2 — ikkinchi muhitning absolyut sindirish ko'rsatkichidir). Shunday qilib:



69- rasm.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_1; \quad \frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta_1} = n_{21}; \quad \frac{\sin \alpha_2}{\sin \beta_2} = \frac{1}{n_2}.$$

$\beta = \alpha_1$, $\beta_1 = \alpha_2$ va $\alpha = \beta_2$ bo'lishini e'tiborga olib, bu tengliklarni o'zaro ko'paytirsak, quyidagi munosabat hosil bo'ladi:

$$\frac{n_1 \cdot n_{21}}{n_2} = 1,$$

bundan:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (50)$$

Demak, ikki muhitning nisbiy sindirish ko'rsatkichi ularning absolyut sindirish ko'rsatkichlari nisbatiga teng ekan.

Absolyut sindirish ko'rsatkichi (yoki oddiygina sindirish ko'rsatkichi) muhitning muhim optik xarakteristikasidir: u yorug'likning vakuumda tarqalish tezligi c muhitda tarqalish tezligi v dan necha marta katta ekanligini ko'rsatadi:

$$n = \frac{c}{v}.$$

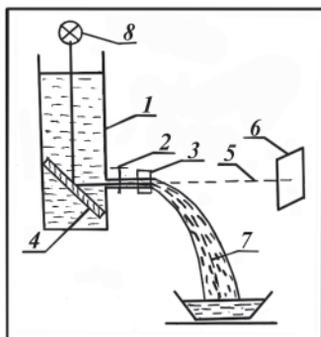
Bu munosabatdan foydalanib, yorug'likning sinish qonunini quyidagicha yozish mumkin:

$$n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c/v_2}{c/v_1} = \frac{v_1}{v_2}. \quad (51)$$

Demak, ikki muhit sindirish ko'rsatkichlarining nisbati yorug'likning shu muhitlarda tarqalish tezliklarining nisbatiga teskari proporsional ekan.

25- §. Yorug'likning to'la ichki qaytishi

1870- yilda ingliz fizigi J.Tindal yuqori tomondan yoritilgan suvli idish teshigidan chiqayotgan suv oqimida yorug'lik nuri to'g'ri chiziq bo'ylab ketmasdan, balki oqim ichidan ketganligini kuzatdi. Bu hodisa kuzatilgan Tindal asbobining tuzilishi 70-rasmda tasvirlangan. (1) idishga (2) jo'mrak va (3) gayka o'rnatilgan. Idish tubida (4) yassi ko'zgu joylashtirgan bo'lib, u yuqoridagi (8) yorug'lik manbayidan o'ziga tushayotgan parallel nurlarni (6) ekran yo'nalishida qaytaradi. Tajribaning



70- rasm.

avvalida (3) gaykani burab kirgiziladi, (2) jo‘mrak ochiladi va idish suvga to‘ldiriladi.

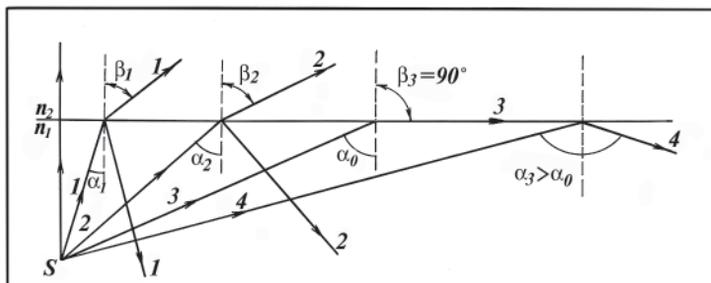
Idish atrofida hosil qilingan tutunda (6) ekranga tushayotgan yorug‘likning (5) to‘g‘ri chiziqli dastasi aniq ko‘rinadi. So‘ngra (2) jo‘mrak yopiladi, (3) gayka burab olinadi, (2) jo‘mrakni ochib, (7) suv oqimi hosil qilinadi. Lekin endi yorug‘lik dastasi (7) oqimdan chiqmaydi.

Bu hodisani yorug‘likning to‘la ichki qaytishi bilan tushuntirish mumkin. Shu to‘la ichki qaytish hodisasini ko‘rib chiqaylik.

Sindirish ko‘rsatkichi kichik bo‘lgan muhitni optik zichligi kichikroq, sindirish ko‘rsatkichi katta bo‘lganini esa optik zichligi kattaroq muhit deyiladi. (51) formulaga asoslanib quyidagi munosabatni yozamiz:

$$n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta. \quad (52)$$

Agar yorug‘lik nuri optik zichligi kattaroq muhitdan optik zichligi kichikroq muhitga o‘tsa ($n_1 > n_2$ bo‘lsa), u holda (52) munosabatdan ko‘rinadiki, tushish burchagi α sinish burchagi β dan kichik bo‘lar ekan. Tushish burchagi kattalashgan sari sinish burchagi ham kattalashadi (71- rasm) va bunda biror α_0 tushish burchagida sinish burchagi 90° ga teng bo‘ladi, ya‘ni singan nur muhitlarning ajralish chegarasi bo‘ylab sirpanadi; α_0 burchakka yorug‘lik tushishining **limit burchagi** deyiladi. Tushish burchagi yanada ortganida (masalan, $\alpha_3 > \alpha_0$ bo‘lganda) nur ikkinchi muhitga o‘tmay, ikkala muhitning ajralish chegarasidan birinchi muhitga to‘la qaytadi. Bunday hodisaga yorug‘likning **to‘la ichki qaytishi** deyiladi. Shuning uchun α_0 burchak **to‘la ichki qaytishning chegaraviy** yoki **limit burchagi** deb ham ataladi. Shunday qilib, **to‘la ichki qaytish nurning optik zichligi kattaroq**



71- rasm.

muhitdan optik zichligi kichikroq muhitga o'tishida va shu bilan birga, tushish burchagi limit burchagidan katta bo'lganda sodir bo'ladi.

Tushishning limit burchagi yorug'likning sinish qonunidan quyidagicha aniqlanadi:

$$\frac{\sin \alpha_0}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1}, \quad \text{bundan} \quad \sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}. \quad (53)$$

Agar ikkinchi muhit vakuum bo'lsa (bunda $n_2=1$), u holda:

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n}, \quad (54)$$

bunda: n — muhitning absolyut sindirish ko'rsatkichi. Yuqorida ko'rib o'tilgan munosabatlarga asosan, to'la ichki qaytishning chegaraviy burchagi ma'lum bo'lsa, ikki muhitning nisbiy sindirish ko'rsatkichini aniqlash mumkin, yoki agar bir muhitning absolyut sindirish ko'rsatkichi ma'lum bo'lsa, boshqa muhitning absolyut sindirish ko'rsatkichini aniqlash mumkin. Bundan tashqari to'la ichki qaytirish hodisadan optik asboblarda yorug'likni ko'p isrof qilmasdan qaytarish uchun foydalaniladi.

Hozirgi vaqtda to'la ichki qaytish hodisasi texnikada, xususan, **tolalar optikasida** keng qo'llanilmoqda. Tolalar optikasining fizik mohiyati quyidagidan iborat. Silindr shaklidagi shisha tolaning sirti sindirish ko'rsatkichi shu tolanikidan kichik bo'lgan shaffof modda bilan qoplanadi. Bunday tolaning uchiga tushgan yorug'lik nuri butun tola bo'ylab uning yon sirtlaridan ko'p marta to'la qaytib o'tadi va tolaning qanday bukilganligiga qaramay, uning ikkinchi uchidan chiqadi. Bunday tolalarning bir nechtasini yig'ib hosil qilingan elastik kabel yorug'lik nurining istalgancha egrilanishiga imkon beruvchi **yorug'lik uzatkich (svetovod)** bo'lib xizmat qiladi. Agar kabelning oldiga yoritilgan buyum-obyekt joylashtirilsa, tolalarning har biri

bo‘ylab tasvirning biror elementi uzatiladi va kabelning ikkinchi uchida bu obyektning aniq tasviri hosil bo‘ladi. Bunda kabel o‘zi xohlaganicha egilgan, hatto tugun qilib bog‘langan bo‘lishi ham mumkin.

Yorug‘lik uzatkichlar yumshoq periskop (zond)lar tayyorlash uchun foydalaniladi. Bunday zondlar yordamida ko‘z bilan bevosita kuzatish mumkin bo‘lmagan obyektlarni ko‘rish mumkin. Masalan, texnikada avtomobil dvigateli silindrining ichki sirtini, tibbiyotda odamning ichki a‘zolarini ko‘rish mumkin.

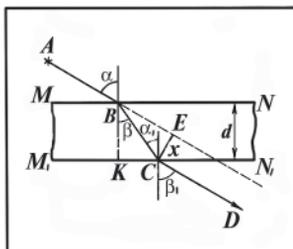
Hozirgi vaqtda uzun yorug‘lik uzatkichlardan yorug‘lik nurlari yordamida aloqa, televizion ko‘rsatishlarni uzatish yo‘lga qo‘yilgan.

Tabiatda ko‘zning ko‘rish nervining uchlariga tasvirlarni uzatadigan to‘r pardasi yorug‘lik uzatkich hisoblanadi. Ko‘z gavhari o‘ziga tushayotgan yorug‘likni juda ko‘p cho‘ziq tayoqchalar va kolbachalar (yorug‘lik sezuvchi elementlar)dan tashkil topgan to‘r pardaga yo‘naltiradi. Bu elementlar moddasining sindirish ko‘rsatkichi ular atrofidagi muhitnikidan yuqoriroq bo‘ladi va, demak, yorug‘lik bu elementlarda to‘la ichki qaytish qonuni bo‘yicha tarqaladi.

26- §. Yorug‘likning yassi-parallel plastinkadan o‘tishi

Ko‘pincha yorug‘lik nuri har xil muhitlarning yondashish chegaralarini bir marta emas, balki bir necha marta kesib o‘tadi. Masalan, yorug‘lik biror shaffof moddadan yasalgan yassi-parallel plastinka orqali o‘tganda ana shunday bo‘ladi.

Nurlarning plastinkadagi yo‘li 72- rasmda tasvirlangan. Plastinkaga tushayotgan yorug‘lik shu‘lasining AB nuri ikki marta singandan keyin AB ga parallel bo‘lgan CD yo‘nalishda plastinkadan tashqariga chiqadi. MN va M_1N_1 tekisliklar o‘zaro parallel bo‘lganligi uchun $\angle\beta = \angle\alpha_1$ bo‘ladi. Yorug‘likning sinish qonunidan esa $\angle\beta_1 = \angle\alpha$ ekanligi kelib chiqqan edi. Demak, yorug‘lik nuri yassi-parallel — plastinkadan



72- rasm.

o'tayotganda o'z yo'nalishini o'zgartirmaydi, faqat biror x masofaga siljiydi, xolos. 72- rasmdagi CBE uchburchakdan $x = CB \sin(\alpha - \beta)$

va KBC uchburchakdan $CB = \frac{d}{\cos \beta}$, bunda: d — plastinkaning qalinligi.

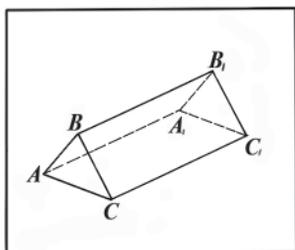
Binobarin:

$$x = d \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta} = d(\sin \alpha - \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta) \quad (55)$$

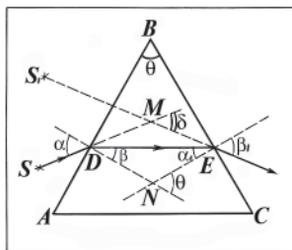
bo'ladi. Bu munosabatdan va shakldan ko'rinadiki, plastinka qancha qalin, sindirish ko'rsatkichi va yorug'lik nurining tushish burchagi qancha katta bo'lsa, nur shuncha ko'p siljiydi. Agar buyumni tekis parallel shisha orqasiga qo'yib qarasaq, buyum o'zining haqiqiy vaziyatiga nisbatan siljiganday bo'lib ko'rinadi.

27- §. Yorug'likning uchburchakli prizmadan o'tishi

Ko'pchilik optik asboblarda shishadan yoki boshqa shaffof moddadan tayyorlangan uchburchakli prizma ko'p ishlatiladi (73-rasm). Prizmaning kesimi ABC uchburchakdan iborat. Bunda AB va BC tomonlar (ya'ni, ABB_1A_1 va BB_1C_1C sirtlar) prizmaning **sindiruvchi** yoqlari, BB_1 esa **sindiruvchi qirrasida deb** ataladi. Prizmaning sindiruvchi yoqlari orasidagi θ burchak (74- rasm) prizmaning **sindirish burchagi** deyiladi. Tushayotgan nur ikki marta singandan (prizmaning AB va BC yoqlarida) keyin avvalgi yo'nalishidan ma'lum burchakka og'adi, bu δ burchakka **nurning og'ish burchagi** deyiladi. Tushish burchagi α kichik bo'lganda, sindirish burchagi θ kichik bo'lgan prizma (yupqa prizma) uchun bu munosabatni topish oson. $DMEND$ to'rtburchakdagi $\angle DME = 180^\circ - \delta$, $\angle DNE = 180^\circ - \theta$ ekanligi (to'rtburchak ichki burchaklarining yig'indisi 360° ga tengligi)dan:



73- rasm.



74- rasm.

$$(180^\circ - \delta) + (180^\circ - \theta) + \alpha + \beta_1 = 360^\circ$$

deb yozish mumkin. Bundan:

$$\delta = \alpha + \beta_1 - \theta \quad (56)$$

bo'ladi. Uchburchakning tashqi burchagi haqidagi teoremaga asosan $\triangle DNE$ dan quyidagi tenglikni yozamiz:

$$\theta = \beta + \alpha_1. \quad (57)$$

Yorug'likning sinish qonuniga asosan:

$$\sin \alpha = n \sin \beta \quad \text{va} \quad n \sin \alpha_1 = \sin \beta_1,$$

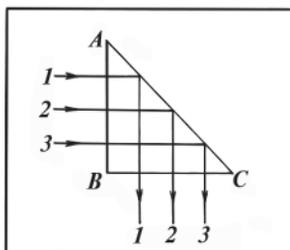
(bu yerda havoning sindirish ko'rsatkichini 1 ga teng deb oldik). α va θ burchaklar kichik bo'lganda α_1 , β va β_1 burchaklar ham kichik bo'ladi. Shuning uchun oxirgi tengliklarda burchaklarning sinusini burchaklarning o'zi bilan almashtirish mumkin:

$$\alpha = n\beta \quad \text{va} \quad n\alpha_1 = \beta_1 \quad (58)$$

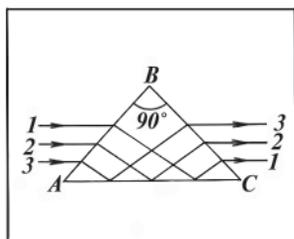
(58) formuladan α va β_1 larning ifodalarini (56) formulaga qo'yamiz va (57) formulani nazarga olib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\delta = n\beta + n\alpha_1 - \theta = n(\beta + \alpha_1) - \theta = n\theta - \theta = (n - 1)\theta. \quad (59)$$

Shunday qilib, (59) formuladan ko'rinadiki, og'ish burchagi δ prizmaning sindirish burchagi θ va sindirish ko'rsatkichi n ga bog'liq ekan. Sindirish ko'rsatkichining qiymati yorug'likning rangiga bog'liq, ya'ni turli rangli yorug'lik uchun turlicha bo'ladi. Shuning uchun prizma bir xil burchak ostida tushgan turli rangli nurlar undan o'tganda turli burchakka og'adi. Agar biror buyumni uchburchakli prizma orqasiga qo'yib, unga qaralsa, buyum prizmaning θ sindirish burchagi uchiga tomon siljiganga o'xshab ko'rinadi. Buyumning tasviri mavhum bo'ladi.



75- rasm.



76- rasm.

Optik asboblarda (masalan, periskop, binokl) da asosi to'g'ri burchakli, teng yonli uchburchak shisha prizmalar ishlatiladi. Ular yordamida yorug'lik nurini 90° , 180° burish yoki biror optik asborda hosil qilingan tasvirni ag'darish mumkin. 75- rasmda to'la ichki qaytish hodisasi asosida yorug'lik nurining prizmada 90° ga burilishi tasvirlangan. Bunday maqsadda ishlatiladigan prizma **buruvchi prizma** deb ataladi. 76- rasmda pastki nurlar prizma ichida AC yoqdan qaytib, prizmadan chiqishda ustki nurlar bo'lib, ustki nurlar esa pastki nurlar bo'lib qolishi ko'rsatilgan. Bunday prizma **ag'daruvchi prizma** deb ataladi.

Takrorlash uchun savollar

1. Moddaning optik zichligini qanday kattalik xarakterlaydi?
2. Yorug'likning sinish qonunlarini ta'riflang.
3. Nisbiy va absolyut sindirish ko'rsatkichlarining fizik ma'nosi qanday?
4. Nima uchun nur havodan shishaga o'tganda sinish burchagi tushish burchagidan kichik bo'ladi?
5. To'la ichki qaytish hodisasi deb qanday hodisaga aytiladi? Uni birinchi bo'lib kim kuzatgan?
6. To'la ichki qaytishning chegaraviy burchagi qanday formuladan aniqlanishi mumkin? Formulani keltirib chiqaring.
7. Nurning yassi parallel shaffof plastinka orqali o'tish yo'lini chizib ko'rsating.
8. Yassi-parallel plastinkadan o'tganda nurning siljish masofasi nimalarga bog'liq?
9. Uchburchakli prizmani chizib, sindiruvchi yoqlari, sindiruvchi qirradi, sindirish burchagini ko'rsating.
10. Nurning teng yonli, to'g'ri burchakli uch yoqli prizmadagi yo'lini chizib ko'rsating.
11. Nurning prizmada og'ish burchagi deb qanday burchakka aytiladi va u qanday kattaliklarga bog'liq?
12. Prizmalar qanday asboblarda va qanday maqsadlarda ishlatiladi?

Masala yechish namunalari

1- masala. Sindirish ko'rsatkichi 1,5 ga teng bo'lgan shisha plastinkaga yorug'lik nuri tushadi. Qaytgan va singan nur orasidagi burchak 90° . Yorug'likning plastinkaga tushish burchagini toping.

Berilgan: $n=1,5$; $\gamma=90^\circ$.

Topish kerak: n —?

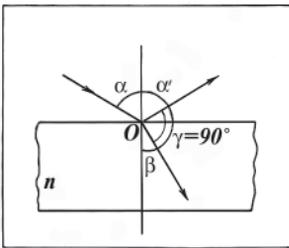
Yechilishi. 77- rasmdan ko'rinadiki, $\alpha+\beta+\gamma=180^\circ$, binobarin, $\alpha+\beta=90^\circ$, bundan: $\beta=90^\circ-\alpha$ bo'ladi.

Yorug'likning sinish qonuniga asosan:

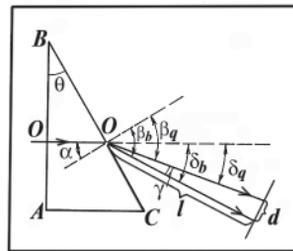
$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}, \text{ u holda } \sin \alpha = n \sin \beta = n \sin(90^\circ - \alpha) = n \cos \alpha.$$

Demak, $n = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha$. Bu ifodadan α ni topamiz:

$$\operatorname{tg} \alpha = 1,5; \alpha = \arctg 1,5 = 56^\circ 18'.$$



77- rasm.



78- rasm.

2- masala. Shishadan yasalgan to'g'ri burchakli uch yoqli prizmaning AB yog'idagi biror O nuqtaga perpendikulyar holda qizil va binafsha yorug'lik nurlari tushmoqda. Nurlar prizmadan chiqqanda qanday burchakda tarqaladi (78- rasm)? Nurlar orasidagi masofa 10 sm bo'lishi uchun ekranni qayerga o'rnatish kerak? Prizmaning sindirish burchagi $\theta=10^\circ$. Qizil rangli yorug'lik uchun $n_q=1,64$, binafsha rangli yorug'lik uchun esa $n_b=1,69$.

Berilgan: $\alpha_0=0^\circ$; $d=10 \text{ sm}=0,1 \text{ m}$; $n_q=1,64$; $n_b=1,69$, $\theta=10^\circ$.

Topish kerak: γ —? l —?

Yechilishi. **1- usul.** Tushish burchagi $\alpha_0=0$ bo'lgani uchun O nuqtada nurlar sinmaydi. BC yoqqa nurlarning tushish burchagi $\alpha=\theta=10^\circ$ (o'zaro perpendikulyar tomonlar orasidagi burchakka o'xshash). Sindirish

ko'rsatkichi har xil rangli yorug'lik uchun turlicha qiymatga ega bo'lgani sababli qizil rangli nur prizmadan β_q burchak ostida, binafsha rangli nur esa β_b burchak ostida chiqadi, binobarin, $\gamma = \beta_b - \beta_q$ bo'ladi.

Yorug'likning sinish qonuniga asosan:

$$n_q = \frac{\sin \beta_q}{\sin \alpha}, \text{ bundan } \beta_q \text{ ni topamiz:}$$

$$\sin \beta_q = n_q \sin \alpha = \sin 10^\circ \cdot 1,64 = 0,1736 \cdot 1,64 = 0,2847, \\ \beta_q = 16^\circ 32'.$$

$$n_b = \frac{\sin \beta_b}{\sin \alpha}, \text{ bundan } \beta_b \text{ ni topamiz:}$$

$$\sin \beta_b = \sin \alpha \cdot n_b = 0,1736 \cdot 1,69 = 0,2934. \\ \beta_b = 17^\circ 4'.$$

Nurlar orasidagi burchak $\gamma = 17^\circ 4' - 16^\circ 32' = 32'$. γ burchak juda kichik bo'lgani uchun ekrangacha bo'lgan masofa:

$$l = \frac{d}{\sin \gamma} = \frac{0,1m}{\sin 32'} = \frac{0,1m}{0,0093} \approx 11 \text{ m.}$$

2- usul. Nurning og'ish burchagi δ bilan prizmaning sindirish burchagi θ orasidagi bog'lanishni ifodalovchi $\delta = (n-1)\theta$ taqribiy formuladan foydalanib, burchak γ ning taxminiy qiymatini aniqlaymiz:

$$\delta_q = (n_q - 1) \theta = (1,64 - 1) \cdot 10^\circ = 6,4^\circ;$$

$$\delta_b = (n_b - 1) \theta = (1,69 - 1) \cdot 10^\circ = 6,9^\circ;$$

$$\gamma = \delta_q - \delta_b = 0,5^\circ = 30'.$$

Demak, ikkala usulda masalaning yechimi bir-biriga mos keladi.

3- masala. Olmos va shishaning absolyut sindirish ko'rsatkichi mos ravishda 2,42 va 1,5 ga teng. Shu moddalardan yasalgan plastinkalardan yorug'likning o'tish vaqti bir xil bo'lishi uchun ularning qalinliklarining nisbati qanday bo'lishi kerak?

$$\text{Berilgan: } n_o = 2,42; n_{sh} = 1,5; t_o = t_{sh} = t.$$

$$\text{Topish kerak: } l_{sh}/l_o \text{ —?}$$

Yechilishi. Olmos va shishaning absolyut sindirish ko'rsatkichlari ularda yorug'likning tarqalish tezliklari bilan quyidagi munosabatda bog'langan:

$$n_o = \frac{c}{v_o} \quad \text{va} \quad n_{sh} = \frac{c}{v_{sh}},$$

bunda: c — yorug‘likning vakuumda tarqalish tezligi; v_0 — yorug‘likning olmosda tarqalish tezligi; v_{sh} — yorug‘likning shishada tarqalish tezligi. Bu munosabatlardan quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$\frac{n_0}{n_{sh}} = \frac{v_{sh}}{v_0}.$$

Bir jinsli muhitda yorug‘lik o‘zgarmas tezlik bilan tarqaladi, shuning uchun:

$$v_0 = \frac{l_0}{t} \quad \text{va} \quad v_{sh} = \frac{l_{sh}}{t}$$

deb yozishimiz mumkin, bunda: t — yorug‘likning moddadan o‘tish vaqti; l_0 — olmosning qalinligi; l_{sh} — shishaning qalinligi. Keyingi

ikki ifodani hadma-had bo‘lib, quyidagini olamiz: $\frac{v_{sh}}{v_0} = \frac{l_{sh}}{l_0}$, u

holda $\frac{l_{sh}}{l_0} = \frac{n_0}{n_{sh}}$ ekanligi kelib chiqadi.

Hisoblash:

$$\frac{l_{sh}}{l_0} = \frac{2,42}{1,5} \approx 1,61.$$

4- masala. Yorug‘lik nuri yassi-parallel shisha plastinkaga 30° burchak ostida tushadi (72- rasmga qarang). Shishaning sindirish ko‘rsatkichi 1,5. Agar nurlar orasidagi masofa 1,94 sm bo‘lsa, plastinkaning qalinligi qancha?

Berilgan: $\alpha = 30^\circ$; $n = 1,5$; $x = 1,94 \text{ sm} = 1,94 \cdot 10^{-2} \text{ m}$.

Topish kerak: d —?

Yechilishi. Yorug‘lik yassi-parallel plastinkadan o‘tganda uning qanchaga siljigani (55) formula bilan ifodalanadi. Shu ifodadan

plastinkaning qalinligini topsak: $d = \frac{x \cos \beta}{\sin(\alpha - \beta)}$ ekanligi kelib chiqadi.

Endi yorug‘likning sinish qonunidan foydalanib, nurning sinish burchagi β ni topamiz:

$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n} = \frac{\sin 30^\circ}{1,5} = \frac{0,5}{1,5} \approx 0,3333; \quad \beta = 19^\circ 28',$$

d ni hisoblaymiz:

$$d = \frac{1,94 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \cos 19^\circ 28'}{\sin(30^\circ - 19^\circ 28')} = \frac{1,94 \cdot 10^{-2} \cdot 0,9426}{0,2005} \text{ m} \approx 0,1 \text{ m}.$$

Mustaqil yechish uchun masalalar

40. Yorug'lik nuri vakuumdan shisha plastinkaga 50° burchak ostida tushadi. Shishaning absolyut nur sindirish ko'rsatkichi 1,6 ga teng. Yorug'likning sinish burchagi va shishada tarqalish tezligini toping.

41. Suv, shisha va olmosning havo bilan, shuningdek, shisha — suv chegarasi uchun to'la ichki qaytishning chegaraviy burchagini toping.

42. Suvning sindirish ko'rsatkichi 1,33 ga, skipidarniki esa 1,48 ga teng. Skipidarning suvga nisbatan sindirish ko'rsatkichini aniqlang.

43. Agar yorug'likning suv yuziga tushish burchagi 35° bo'lsa, yorug'lik idishning gorizontal tubiga qanday burchak ostida tushadi?

44. Spirt uchun to'la ichki qaytishning chegaraviy burchagi 47° . Spirtning sindirish ko'rsatkichini toping.

45. Nur yorug'likning suv osti manbayidan suv yuziga 35° burchak ostida tushmoqda. Nur qanday burchak ostida havoga chiqadi?

46. Yassi-parallel shisha plastinkaga nurlar 60° burchak ostida tushadi. Agar nur plastinkadan chiqishda 1 sm ga siljigan bo'lsa, plastinkaning qalinligi qancha? Shishaning sindirish ko'rsatkichi 1,5 ga teng.

47. Nur shisha prizmaning yon qirrasiga 0° burchak ostida tushmoqda. Prizmaning sindirish burchagi 3° . Nurning prizmadan og'ish burchagini toping.

48. Ariq tubida kichik tosh yotibdi. Bola tayoq bilan toshni surmoqchi. Bola toshni mo'ljalga olib tayoqni 40° burchak ostida ushlab turibdi. Agar ariqning chuqurligi 50 sm bo'lsa, tayoq ariq tubiga toshdan qancha masofada taqaladi?

49. Hovuzning tubiga balandligi 1 m bo'lgan qoziq qoqildi. Agar Quyosh nuri suv sirtiga 60° burchak ostida tushayotgan bo'lsa va qoziq batamom suvning ostida bo'lsa, qoziqning hovuz tubidagi soyasining uzunligini toping.

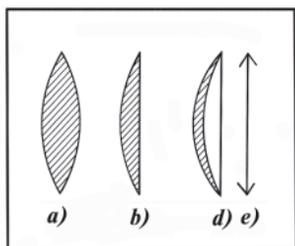
50. Akvalangist suvda oq yorug'lik yordamida 20 m naridagi sherigiga signal beradi. Bu masofada qizil nur binafsha nurdan qancha masofa va vaqtga o'zib ketadi? Qizil nur uchun suvning sindirish ko'rsatkichi $n_q = 1,329$, binafsha nur uchun esa $n_b = 1,344$.

51. Qalinligi 1 sm bo'lgan va orqa sirtiga kumush yuritilgan yassi-parallel plastinkaning oldingi sirtidan 4 sm uzoqlikda turgan buyum tasvirining vaziyatini aniqlang. Plastinkaning sindirish ko'rsatkichi 1,5 ga teng.

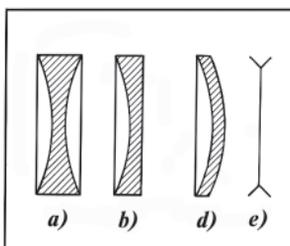
28- §. Linzalar. Yupqa linza formulasi

Ikkala tomoni sferik sirtlar bilan chegaralangan shaffof jismlar **linzalar** deb ataladi. Odatda sferik sirtlar yoki bitta sferik sirt va bitta yassi sirt bilan chegaralangan linzalar keng ishlatiladi. 79- va 80- rasmlarda har xil linzalarning ko‘ndalang kesimlari ko‘rsatilgan. 79- rasmda tasvirlangan linzalar **qavariq linzalar** deb ataladi: a — ikki tomonlama qavariq; b — yassi qavariq; d — botiq qavariq linzalar; e — rasmda bunday linzalarning belgisi ko‘rsatilgan.

80- rasmda **botiq linzalar** tasvirlangan: a — ikki tomonlama botiq; b — yassi botiq; d — qavariq botiq linzalar; ularning chizmalardagi belgisi e — rasmda ko‘rsatilgan.

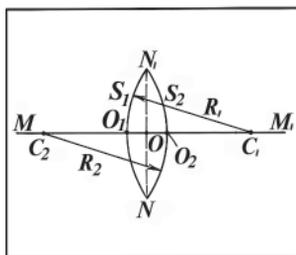


79- rasm.

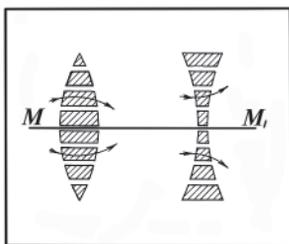


80- rasm.

Sferik sirtlarning C_1 va C_2 markazlari orqali o‘tgan MM_1 to‘g‘ri chiziq **linzaning bosh optik o‘qi** deyiladi (81- rasm). Biz faqat O_1O_2 qalinliklari linzani hosil qilgan sferik sirtlarning R_1 va R_2 egrilik radiuslariga nisbatan nazarga olmasa bo‘ladigan darajada kichik bo‘lgan **yupqa linzalarni** ko‘rib chiqamiz. Linza juda yupqa bo‘lganligi uchun ikkita S_1 va S_2 sfera segment uchlari, ya’ni linza sirtlarining O_1 va O_2 uchlari O nuqtada birlashgandek tuyuladi. Bu O nuqta **linzaning optik markazi** deb ataladi.



81- rasm.



82- rasm.

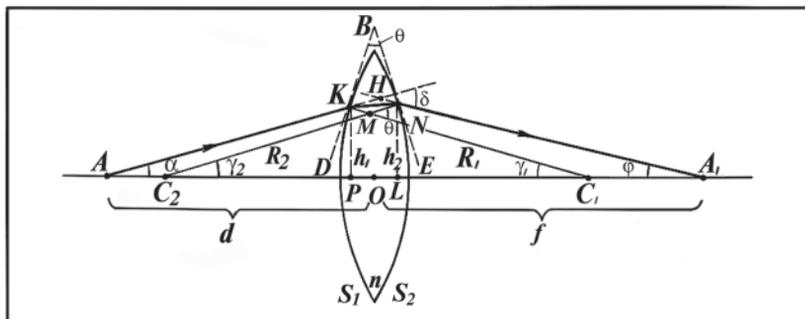
Linzaning optik markazi orqali burchak ostida o‘tuvchi har qanday to‘g‘ri chiziqlar **linzaning qo‘shimcha optik o‘qlari** deyiladi.

Linzani ko‘plab prizmalarning yig‘indisi deb tasavvur qilish mumkin (82- rasm). Bunda nurlarni qavariq linza optik o‘qqa tomon, botiq linza esa optik o‘qdan og‘dirishi o‘z-o‘zidan ko‘rinib turibdi.

Qavariq linzalar o‘ziga tushayotgan parallel nurlar dastasini yig‘ib beradi. Shuning uchun bunday linzalar **yig‘uvchi linzalar** deb ataladi.

Botiq linzalar esa o‘ziga tushayotgan yorug‘likni har tomonga tarqatib yuboradi. Shuning uchun ularni **tarqatuvchi** yoki **sochuvchi linzalar** deb ataladi.

Havoda joylashgan va shishadan yasalgan ikki tomonlama qavariq linzadan yorug‘lik nurining o‘tishini ko‘raylik. Linzaning bosh optik o‘qining ustida nur chiqaruvchi biror A nuqta, masalan, yorug‘likning nuqtaviy manbayi joylashgan bo‘lsin (83- rasm). Undan bosh optik o‘qqa nisbatan kichik α burchak ostida chiquvchi (paraksial) nurlardan foydalanamiz. Shulardan biri AK nurni olaylik. Bu nur havodan linzaning S_1 sirtida yotgan K nuqtaga tushadi, havo-shisha chegarasida sinib linzaga o‘tadi, so‘ng S_2 sirtning N nuqtasiga tushadi va shisha-havo chegarasida



83- rasm.

sinib yana havoga chiqadi, soʻngra esa tarqalishda davom etib, bosh optik oʻq bilan uning ustida yotgan A_1 nuqtada kesishadi. Shu A_1 nuqta A nuqta (manba)ning tasviri boʻladi.

Endi yupqa linza formulasini keltirib chiqaraylik. Bu maqsadda linza sirtlarida olingan K va N nuqtalarga (yaʼni, AK nurning linzaga tushishi va undan chiqish joylarida) DB va BE urinma tekisliklar oʻtkazamiz va bu nuqtalarga linzaning R_1 va R_2 egrilik radiuslarini oʻtkazamiz. Bunda $AKNA_1$ nurni, sindirish burchagi θ boʻlgan yupqa prizmada **singan nur** deb qarash mumkin. $\alpha, \varphi, \gamma_1, \gamma_2$ burchaklarning kichikligi va linza yupqa boʻlgani sababli quyidagi taxminiy tengliklarni yozish mumkin:

$$\begin{aligned}
 KP &= h_1; \quad NL = h_2; \quad h_1 \approx h_2 = h; \\
 AP &\approx AO = d; \quad A_1L \approx A_1O = f; \\
 C_1P &\approx C_1O = R_1; \quad C_2L \approx C_2O = R_2; \\
 \Delta AKP \text{ dan } \alpha &\approx \operatorname{tg}\alpha = \frac{KP}{AP} \approx \frac{h}{d}; \\
 \Delta A_1NL \text{ dan } \varphi &\approx \operatorname{tg}\varphi = \frac{NL}{A_1L} \approx \frac{h}{f} \\
 \Delta C_2ML \text{ dan } \gamma_2 &\approx \operatorname{tg}\gamma_2 = \frac{NL}{C_2L} \approx \frac{h}{R_2}; \\
 \Delta C_1KP \text{ dan } \gamma_1 &\approx \operatorname{tg}\gamma_1 = \frac{KP}{C_1P} \approx \frac{h}{R_1},
 \end{aligned} \tag{60}$$

bunda: h_1 — nurning linzaga tushish nuqtasi (K) ning optik oʻqdan balandligi; h_2 — nurning linzadan chiqish nuqtasi (N) ning optik oʻqdan balandligi, d va f mos ravishda yorugʻlik manbayi (A) va uning tasviri (A_1) dan linzaning optik markazigacha boʻlgan masofalar. Uchburchakning tashqi burchagi oʻziga qoʻshni boʻlmagan ikki ichki burchaklarning yigʻindisiga teng ekanligiga asoslanib, AHA_1 va C_1MC_2 uchburchaklardan:

$$\delta = \alpha + \varphi \quad \text{va} \quad \theta = \gamma_1 + \gamma_2 \tag{61}$$

deb yozish mumkin. Biroq prizma uchun $\delta = (n - 1)\theta$ formula oʻrinli edi, bunda: n — linzaning nisbiy sindirish koʻrsatkichi. Shuning uchun (60) va (61) formulalarga asoslanib, quyidagi ifodalarga ega boʻlamiz:

$$\alpha + \varphi = (n - 1)(\gamma_1 + \gamma_2) \quad \text{yoki} \quad \frac{h}{d} + \frac{h}{f} = (n - 1) \left(\frac{h}{R_1} + \frac{h}{R_2} \right).$$

Keyingi ifodaning ikki tomonini h ga qisqartirsak, quyidagi munosabat hosil bo‘ladi:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right). \quad (62)$$

Bu (62) munosabat **yupqa linza formulasi** deb ataladi. Formulada h balandlik qatnashmaganligidan f masofa K nuqtaning S_1 sferik sirtning qayerida joylashganligiga bog‘liq emas, degan xulosa kelib chiqadi, ya’ni A nuqtadan chiqqan barcha nurlar linzaning turli qismlarida singandan so‘ng bitta A_1 nuqtada kesishadi. Shu A_1 nuqta A nuqtaning linzadagi tasviri bo‘ladi.

Demak, *linzaning bosh optik o‘qi ustida yotgan nuqtaning tasviri ham shu o‘qning ustida yotadi.* Bu holdan linzada tasvir yasashda foydalaniladi.

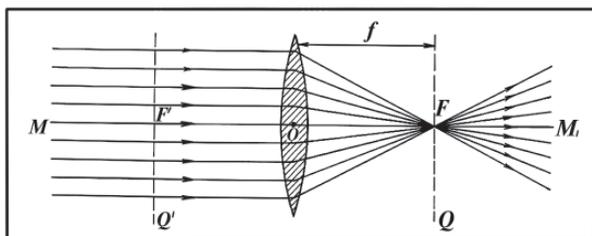
29- §. Linzaning fokusi va optik kuchi

Faraz qilaylik, A nuqta linzadan chapda cheksiz uzoqlikda ($d=\infty$) bo‘lsin. U holda linzaga kelayotgan nurlar unga bosh optik o‘qqa parallel nurlar dastasi ko‘rinishida tushadi (84- rasm). (62) formulaga muvofiq:

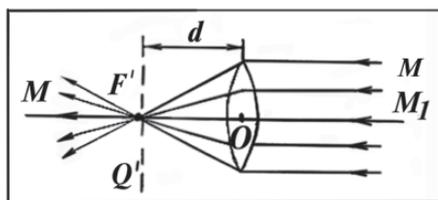
$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (63)$$

bo‘ladi va barcha nurlar linzadan o‘tgandan so‘ng bosh optik o‘q ustida $f=OF$ masofada turgan F nuqtada kesishadi. F nuqtani **linzaning orqa bosh fokusi**, $F=f=OF$ masofani esa **linzaning fokus masofasi** deb ataladi. (Linzaning fokusi ham, fokus masofasi ham bitta harf — F bilan belgilanadi).

Shunday qilib, linzaning fokus masofasi quyidagi formuladan aniqlanadi:



84- rasm.



85- rasm.

$$F = \frac{1}{(n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)}. \quad (64)$$

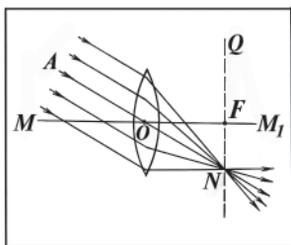
(64) dan ko‘rinadiki, linzaning fokus masofasi linza moddasining sindirish ko‘rsatkichi va sferik sirtlarning egrilik radiuslariga bog‘liq ekan. Bu holdan sindirish ko‘rsatkichi turlicha bo‘lgan shaffof moddalardan egriligi turlicha sferik sirtli linzalarni yasash yo‘li bilan kerakli linzalarni olish imkoni bo‘ladi.

Agar yuqorida ko‘rganimizdek, linzaga chap tomondan emas, balki o‘ng tomondan parallel nurlar dastasini tushirsak (85-rasm), ya‘ni $f = \infty$ bo‘lganda, bu nurlar linzadan o‘tib bosh optik o‘q ustida yotgan F' nuqtada kesishadi. Bu F' nuqta linzaning **oldingi bosh fokusi**, $F' = d = OF'$ masofa esa fokus masofasi bo‘ladi. Linza formulasi (62) dan foydalanib, $OF' = OF$ ekanligini ko‘rsatish mumkin. Haqiqatan ham, $f = \infty$ da $d = F'$ fokus masofa:

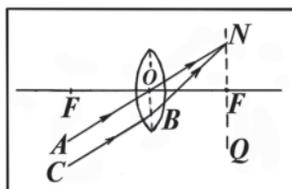
$$\frac{1}{F'} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right), \quad \text{bundan:} \quad F' = \frac{1}{(n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)} \quad (65)$$

bo‘ladi. Shunday qilib, linzaning ikkita bosh fokusi bo‘lib, ular linzaning ikki tomonida unga nisbatan simmetrik joylashgan ekan. Linzaning F va F' fokuslaridan bosh optik o‘qqa perpendikulyar ravishda o‘tkazilgan Q va Q' tekisliklar **linzaning fokal tekisliklari** deb ataladi (84- va 85- rasmlarga qarang).

Agar linzaga qo‘shimcha optik o‘qqa parallel nurlar tushirilsa (86- rasm), bu nurlar linzadan o‘tgandan so‘ng markaziy AN nurning Q fokal tekislik bilan kesishgan N nuqtada kesishadi. Demak, linzaga ixtiyoriy yo‘nalishda tushayotgan CB nurning linzadan



86- rasm.



87- rasm.

o'tgandan so'ng yo'nalishini aniqlash uchun shu nurga parallel qilib AO markaziy nur (qo'shimcha optik o'q) o'tkazish kerak (87-rasm). Bu nur linzadan sinmasdan o'tadi va Q fokal tekislik bilan N nuqtada kesishadi. Markaziy nurga parallel bo'lgan barcha nurlar linzadan o'tgandan so'ng shu N nuqtada kesishadi. Binobarin, BN nur CB nurning linzadan o'tgandan keyingi yo'nalishini ifodalaydi.

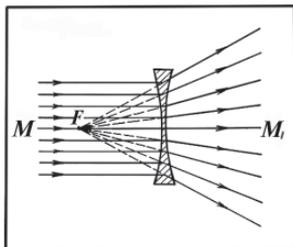
Linzalar fokus masofasidan tashqari **optik kuchi** deb ataladigan kattalik bilan ham xarakterlanadi. Linzaning D optik kuchi uning F fokus masofasiga teskari bo'lgan kattalikdan iborat, ya'ni:

$$D = \frac{1}{F} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right). \quad (66)$$

Linzaning optik kuchi birligi uchun SI da **dioptriya** qabul qilingan. **Dioptriya fokus masofasi 1 m bo'lgan linzaning optik kuchidir.**

Sochuvchi linzaning fokusi mavhum bo'ladi, chunki sochuvchi linzadan o'tuvchi nurlarning davomlari optik o'qdagi bir nuqtada kesishadi (88- rasm).

(62) formuladan foydalanganda hadlar oldiga ishoralar qo'yishda sferik ko'zguga qo'llaniladigan prinsipga amal qilinadi: agar linzaning



88- rasm.

fokusi haqiqiy bo'lsa (yig'uvchi linza uchun), $\frac{1}{F}$ had oldiga musbat ishorasi, mavhum bo'lsa (sochuvchi linza uchun), $\frac{1}{F}$ had oldiga manfiy ishorasi qo'yiladi. Agar tasvir haqiqiy bo'lsa, $\frac{1}{f}$ had oldiga musbat ishorasi, mavhum bo'lsa, $\frac{1}{f}$ had oldiga manfiy ishorasi qo'yiladi.

Agar fokus masofasini yoki tasvirgacha bo'lgan masofani hisoblash natijasida manfiy kattalik chiqsa, demak fokus yoki tasvir mavhum bo'ladi.

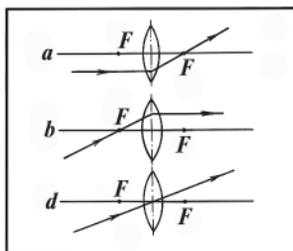
30- §. Linzalarda tasvir yasash. Linzaning kattalashtirishi

Linzada buyumning tasvirini yasashda (ko'zgularda tasvir yasashdagi singari) buyumning bir necha nuqtalarining tasvirini topish va so'ngra ulardan buyumning tasvirini hosil qilish kerak. Nuqtaning tasvirini yasashda quyidagi nurlardan ixtiyoriy ikkitasini tanlash va ularning linzada sinib o'tgandan so'ng kesishish nuqtasini topish kerak:

1) bosh optik o'qqa parallel nur linzada singandan keyin fokusdan o'tadi (89- a rasm);

2) linzaning optik markazidan o'tuvchi nur linzadan chiqqanda o'zining dastlabki yo'nalishini o'zgartirmaydi ya'ni, bu nur sinmaydi (89- d rasm);

3) linzaning fokusi orqali o'tuvchi nur linzadan singandan keyin optik o'qqa parallel ravishda ketadi (89- b rasm).



89- rasm.

Tasvirlarni yasash namunalari 90- a, b, d, e rasmlarda berilgan. Rasmlardan ko‘rinadiki:

1) agar AB buyum qavariq linzaning fokusi va ikkilanma fokus orasida joylashgan bo‘lsa, u holda A_1B_1 tasvir haqiqiy, kattalashgan va teskari bo‘ladi (90- a rasm); buyum ikkilanma fokus masofasidan tashqarida turganda ham yuqoridagi kabi tasvir hosil bo‘lishini ko‘rsatish qiyin emas;

2) AB buyum fokuc va qavariq linza orasida joylashgan bo‘lsa, A_1B_1 tasvir mavhum, kattalashgan va to‘g‘ri bo‘ladi (90- b rasm);

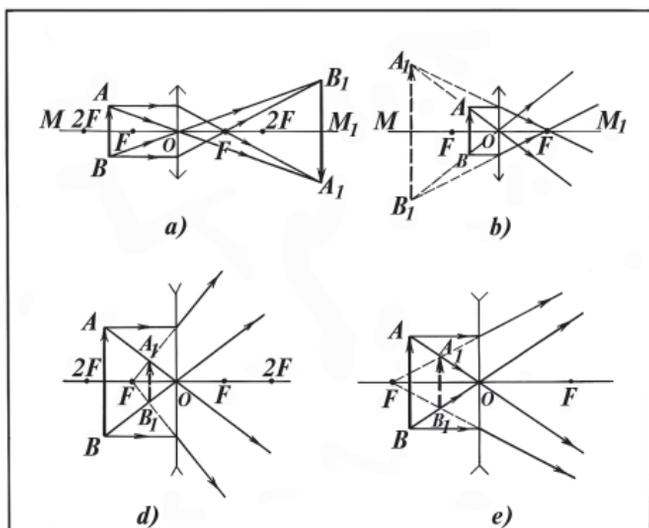
3) AB buyum botiq linzaga nisbatan har qanday joylashganda ham hamma vaqt mavhum, kichiklashgan va to‘g‘ri tasvir hosil bo‘ladi (90- d, e rasmlar).

Buyum tasviri o‘lchamining buyumning o‘z o‘lchamiga nisbati linzaning **chiziqli kattalashtirishi** deyiladi. Ta’rifga ko‘ra:

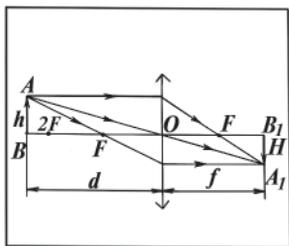
$$k = \frac{H}{h} = \frac{A_1B_1}{AB}, \quad (67)$$

bunda: h – buyumning chiziqli o‘lchami; H – buyum tasvirining chiziqli o‘lchami. ABO va A_1B_1O uchburchaklarning o‘xshashligidan (91- rasm):

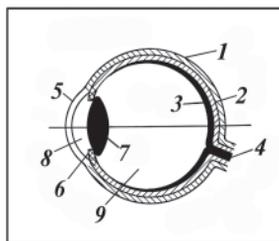
$$\frac{A_1B_1}{AB} = \frac{B_1O}{BO} = \frac{f}{d}$$



90- rasm.



91- rasm.



92- rasm.

kelib chiqadi. Bundan esa quyidagi ifoda hosil bo'ldi:

$$k = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}. \quad (68)$$

$k > 1$ da kattalashgan tasvir, $k < 1$ da kichiklashgan tasvir hosil bo'ladi; $k > 0$ da tasvir haqiqiy, $k < 0$ da esa mavhum bo'ladi.

31- §. Ko'z — optik sistema

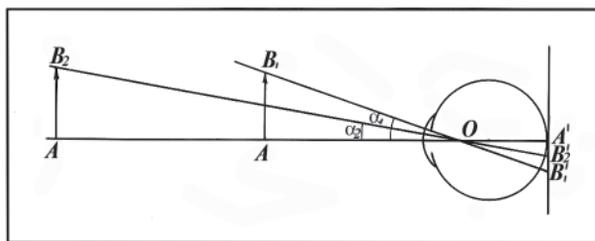
Ko'z optik sistema bo'lib, buyumning tasvirini ko'z soq-qasining yorug'likka sezgir bo'lgan to'rsimon pardasida hosil qiladi. Ko'z tashqi tomondan uchta parda bilan o'ralgan (92-rasm). Tashqi (1) parda **sklera** yoki **oqsil parda** deyiladi. Bu zich parda ko'zni tashqi ta'sirlardan saqlaydi. Oqsil pardaga (2) **sertomirli parda** va o'lchamlari 0,001 sm dan kichik bo'lgan juda kichik yorug'lik sezgir elementlardan tuzilgan (3) **to'rsimon parda** yoki **to'r parda** kelib tutashgan. Bu elementlar ko'zni bosh miya bilan bog'lovchi (4) **ko'rish nervi** tolalarining uchlari-dir.

Ko'zning oldingi qismida oqsil parda shaffof (5) **muguz** (shox) **pardaga**, tomirli parda esa (6) **kamalak pardaga** aylanadi, kamalak pardaning o'rtasida **ko'z qorachig'i** joylashgan. Ko'zning qorachig'i diafragma rolini o'ynaydi; uning diametri ko'zga tushayotgan yorug'lik miqdoriga qarab o'zgarib turadi. Qorachiqning ortida ikki yoqlama qavariq linza shaklidagi shaffof elastik jism (7) **xrystalcha (ko'z gavhari)** joylashgan. Shox parda bilan kamalak parda oralig'ida suvga o'xshash (8) **suyuqlik** bo'ladi. Butun ko'z bo'shlig'i ko'z gavharidan ko'zning orqa devorigacha (ko'z tubigacha) bo'lgan qismi quyuqroq shaffof (shishasimon) jism bilan to'lgan. Ko'z suyuqlig'ining sindirish ko'rsatkichi 1,33 ga, shox pardaniki 1,38 ga va ko'z gavhariniki o'rtacha 1,48 ga teng.

Ko'zga tushadigan nurlar shox parda sirtida eng ko'p sinadi. Gavhar ham nurni qo'shimcha ravishda ozroq sindiradi. Biz ko'z bilan ko'rayotgan buyumning tasviri to'rdada joylashadi; u haqiqiy, kichiklashgan va teskari tasvir bo'ladi. Biz miyamizning korrektlash ta'siri ostida buyumning joylashishi to'g'risida to'g'ri taassurot olamiz.

Buyumning ko'zdan uzoqligi o'zgarishiga qaramay, uning to'rdadagi tasviri aniqligicha qolaveradi (93- rasm). Buning sababi shuki, ko'z gavhari o'z egriligini va shu bilan birga, o'z optik kuchini o'zgartira oladi. Ko'zimizga ancha yaqin turgan buyumga qaraganimizda ko'z muskullari gavharning qavariqligini oshiradi va gavhar o'zidan o'tayotgan nurlarni kuchliroq sindiradi. Uzoqda turgan buyumlarga qaralganda esa gavhar yassiroq bo'lib qoladi va uning sindirish qobiliyati kuchsizlanadi. Demak, ko'z gavharining fokus masofasi o'zgarib turadi. Ko'z gavharining fokus masofasini kuzatilayotgan buyumgacha bo'lgan masofaga moslash qobiliyati **akkomodatsiya** deyiladi. Lekin ko'z akkomodatsiyasining ma'lum bir chegarasi bo'ladi: biz juda yaqin turgan buyumlarni aniq ko'ra olmaymiz, chunki ko'zning to'rdasida bu buyumlarning aniq tasviri hosil bo'lmaydi.

Masalan, O nuqta ko'zning optik markazi bo'lsin (93- rasmga qarang). To'rdada AB_1 buyumning $A'B_1'$ tasvirini yasaymiz, bunda **ko'rish burchagi** α_1 bo'ladi. Buyum uzoqlashtirilganda ham (AB_2 buyum), ko'z akkomodatsiyasi tufayli uning tasviri to'rdada qoladi, ammo bu tasvir kichraygan bo'ladi ($A'B_2' < A'B_1'$). Shuningdek, ko'rish burchagi (α_2) ham kichrayadi. Agar buyum ko'zdan juda uzoqlashtirilsa, ko'rish burchagi ham juda kichik bo'lib qoladi. Bu vaqtda A va B nuqtalar bir-biriga shunchalik yaqinlashib ko'rinadiki, natijada biz buyumning nuqtalarini ajrata olmay qolamiz. Tajribalarning ko'rsatishicha, ikki nuqta bir-biriga qo'shilib, bir nuqtaga aylanib ketmasligi uchun



93- rasm.

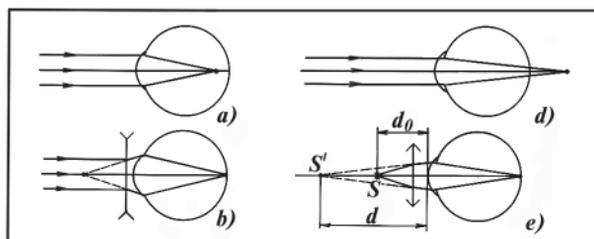
shu nuqtalarni ko‘rish burchagi bir minutdan kichik bo‘lmasligi kerak.

Ko‘rish burchagi qancha katta bo‘lsa, buyumning tasviri ham shuncha ravshan ko‘rinadi. Buyumni ko‘rish uchun eng qulay masofa **eng yaxshi ko‘rish masofasi** deb, ko‘zdan shu masofada turadigan nuqta esa **akkomodatsiyaning eng yaqin nuqtasi** deb ataladi. Normal ko‘z akkomodatsiyasining eng uzoq nuqtasi cheksiz uzoqlashgan nuqtadir. Bu nuqta ko‘zning zo‘riqmagan holatiga muvofiq keladi.

32- §. Ko‘zning kamchilliklari. Ko‘zoynak

Ko‘zning akkomodatsiya qobiliyati buyumlarning to‘r parda sirtiga proyeksiyalanishini ta‘minlaydi. Normal ko‘z hech qanday zo‘riqishsiz, har qanday masofadagi buyumlarni eng kichik masofaga akkomodatsiya qila oladi, eng kichik akkomodatsiya masofasi 10 sm dan 22 sm gacha o‘zgarib turadi. Kishining yoshi ortgan sari bu masofa 30 sm gacha ortishi mumkin. Biroq ba‘zi kishilarning ko‘zi zo‘riqmagan holatda uzoqdagi buyumning tasvirini to‘r pardada emas, balki uning oldida hosil qiladi (94- a rasm). Ko‘zning bu nuqsoni **yaqinni ko‘rarlik** deb ataladi, chunki kishi bunda uzoqdagi buyumlarni ravshan ko‘ra olmaydi. Bunday ko‘z akkomodatsiyasining eng uzoq nuqtasi cheksiz uzoqlikda bo‘lmaydi. Shunga yarasha eng yaxshi ko‘rish masofasi ham kichik bo‘ladi. Uzoqdagi buyumning har bir nuqtasidan kelayotgan nurlar (ya‘ni, deyarli parallel dastalar) to‘r pardada to‘planishi uchun ularni tarqaluvchi qilish kerak. Buning uchun sochuvchi linzalar o‘rnatilgan ko‘zoynak taqiladi (94- b rasm). Parallel nurlar bunday linza orqali o‘tar ekan, ko‘z akkomodatsiyasining eng uzoq nuqtasidan kelayotgandek ko‘rinadi.

Uzoqdagi buyumning tasviri ko‘zning to‘r parda orqasiga tushishi bilan bog‘liq bo‘lgan nuqson **uzoqdan ko‘rarlik** deb ataladi (94- d rasm). Bunda uzoqdagi narsalarni ko‘rishda ko‘z zo‘riqadi,



94- rasm.

yaqindagi narsani ko'rishda esa akkomodatsiya imkoniyati ko'riladigan narsagacha bo'lgan masofa $d_0=25$ sm dan ortgandayoq tugaydi. Buyumning tasvirini to'r pardaga keltirish uchun gavharga tushayotgan parallel nurlar dastasini yaqinlashuvchi (kesishuvchi) dastaga aylantirish kerak, buning uchun yig'uvchi linzalar o'rnatilgan ko'zoynak taqiladi (94- e rasm). $d_0=25$ sm masofada turgan S buyumdan kelayotgan nurlar linzadan o'tib, bir-biridan kamroq uzoqlashuvchi bo'lib qoladi va akkomodatsiya chegarasiga muvofiq keladigan d masofadagi S' nuqtadan chiqayotgandek ko'rinadi.

Shunday qilib, ko'zning nuqsonlarini yig'uvchi va sochuvchi linzalar o'rnatilgan ko'zoynaklardan foydalanib yo'qotish mumkin; bunda eng yaxshi ko'rish masofasi benuqson ko'znikidek bo'lib qoladi.

Takrorlash uchun savollar

1. Yig'uvchi va sochuvchi linza turlarini chizing hamda nomlarini ayting.
2. Linzaning optik markazi, bosh optik o'qi, qo'shimcha optik o'qi deganda nimani tushunasiz? Chizmada ko'rsating.
3. Yupqa linza formulasini keltirib chiqaring.
4. Linzaning bosh fokuslarini, fokal tekisliklarini tushuntiring. Fokus masofasi qanday formuladan aniqlanadi?
5. Linzaning optik kuchi deb nimaga aytiladi? U qanday birliklarda o'lchanadi?
6. Linzada buyumning tasvirini yasashda qaysi nurlardan foydalanish ma'qul?
7. Yig'uvchi linzada buyumning tasvirini yasang.
8. Sochuvchi linzada buyumning tasvirini yasang.
9. Linzani kattalashtirishi deb nimaga aytiladi? U qanday aniqlanadi? Formulasini keltirib chiqaring.
10. Ko'zning tuzilishini tushuntiring.
11. Ko'zda tasvir qanday hosil bo'ladi?
12. Ko'z akkomodatsiyasi nima?
13. Yaqindan ko'rarlikni chizmada tushuntiring.
14. Uzoqdan ko'rarlikni chizmada tushuntiring.
15. Ko'zning kamchiliklarini qanday bartaraf etish mumkin? Chizmada tushuntiring.

Masala yechish namunalari

1- masala. Egrilik radiuslari mos ravishda 0,2 m va 0,3 m bo'lgan ikki yoqlama botiq linza yordamida buyumning 10 marta kichik-

lashgan tasviri olinadi. Linza yasalgan moddaning sindirish ko'rsatkichi 1,5. Linzaning fokus masofasi, linzadan buyumgacha va linzadan tasvirgacha bo'lgan masofalarni toping. Chizmasini chizib, qanday tasvir hosil bo'lishini aniqlang.

Berilgan: $R_1=0,2$ m; $R_2=0,3$ m; $n=1,5$; $k=0,1$.

Topish kerak: $F - ?$ $d - ?$ $f - ?$

Yechilishi. Linzaning fokus masofasi formulasi

$$F = - \frac{1}{(n-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)}$$

dan foydalanib, F ni hisoblaymiz, bu yerda minus ishora botiq linza fokusining mavhumligini bildiradi.

$$F = - \frac{1}{(0,5-1) \left(\frac{1}{0,2} + \frac{1}{0,3} \right)} \text{ m} = 0,24 \text{ m.}$$

Ikki yoqlama botiq linzaning formulasi:

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{f} = - \frac{1}{F}.$$

Linzaning kattalashtirish formulasi $k = \frac{f}{d}$ dan $d = \frac{f}{k}$ ni topamiz va linza formulasiga keltirib qo'yamiz:

$$\frac{k}{f} - \frac{1}{f} = - \frac{1}{F}.$$

Bu tenglamani f ga nisbatan yechamiz: $f = -(k-1)F$.

Hisoblash:

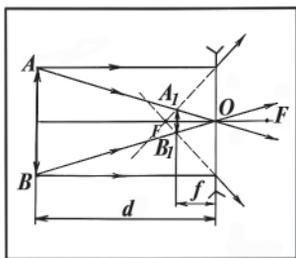
$$f = -(0,1-1) \cdot (0,24) \text{ m} = -(-0,99)(0,24) \text{ m} = 0,216 \text{ m};$$

$$d = \frac{0,216}{0,1} \text{ m} = 2,16 \text{ m.}$$

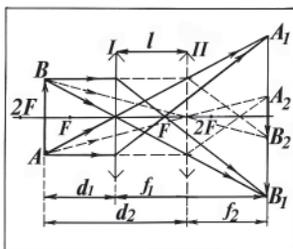
Tasvirni yasaymiz (95- rasm).

Tasvir yasashda optik o'qqa parallel bo'lgan va linzaning optik markazidan o'tuvchi nurlardan foydalanamiz. Tasvir mavhum, to'g'ri va kichiklashgan bo'ladi.

2- masala. Ekranida yig'uvchi linza yordamida elektr lampaning ikki marta kattalashgan tasviri hosil qilindi. So'ngra linzani ekranga 36 sm ga yaqinlashtirib lampaning ikki marta kichiklashgan tasviri olindi. Linzaning fokus masofasini toping.



95- rasm.



96- rasm.

Berilgan: $k_1 = 2$; $l = 36 \text{ sm} = 0,36 \text{ m}$; $k_2 = 0,5$.

Topish kerak: $F - ?$

Yechilishi. Masalani yechishdan avval tasvirlarni yasaymiz (96-rasm). Linza I holatda turganda AB buyumning kattalashgan, haqiqiy va teskari A_1B_1 tasviri hosil bo'ladi. II holatda turganda esa kichiklashgan A_2B_2 tasvir hosil bo'ladi. Linza formulasiga asosan linza I holatda turganda fokus masofasi:

$$F = \frac{f_1 \cdot d_1}{f_1 + d_1}. \quad (\text{a})$$

II holatda turganda esa:

$$F = \frac{f_2 \cdot d_2}{f_2 + d_2}, \quad (\text{b})$$

ga teng bo'ladi. Masalaning shartidan va linzaning kattalashtirishidan foydalanib, quyidagi munosabatlarni yozamiz:

$$k_1 = \frac{f_1}{d_1}; \quad k_2 = \frac{f_2}{d_2}; \quad d_2 = d_1 + l. \quad (\text{d})$$

(a), (b) va (d) munosabatlarni birgalikda yechib, buyum qo'yilgan masofani topamiz:

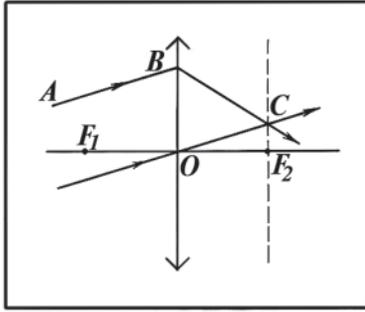
$$\frac{f_1 d_1}{f_1 + d_1} = \frac{f_2 d_2}{f_2 + d_2}; \quad \frac{k_1 d_1 d_1}{(k_1 + 1) d_1} = \frac{k_2 (d_1 + l)(d_1 + l)}{(k_2 + 1)((d_1 + l))},$$

bundan:

$$\frac{k_1 d_1}{k_1 + 1} = \frac{k_2 (d_1 + l)}{k_2 + 1}.$$

Bu tenglamani d_1 ga nisbatan yechamiz, u holda:

$$d_1 = \frac{(k_1 + 1) k_2 l}{k_1 - k_2}$$



97- rasm.

ekanligi kelib chiqadi. d_1 ni hisoblaymiz:

$$d_1 = \frac{(2 + 1) \cdot 0,5 \cdot 0,36}{2 - 0,5} \text{ m} = 0,36 \text{ m.}$$

f_1 ni topamiz: $f_1 = k_1 d_1 = 2 \cdot 0,36 \text{ m} = 0,72 \text{ m.}$

Linzaning fokus masofasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$F = \frac{0,72 \text{ m} \cdot 0,36 \text{ m}}{(0,72 + 0,36) \text{ m}} = 0,24 \text{ m.}$$

3- masala. Yig'uvchi yupqa linza hamda uning F_1 va F_2 fokuslarining vaziyatlari 97- rasmda ko'rsatilgan. Yasash usulidan foydalanib, ixtiyoriy AB nurning linzadan o'tgandan keyingi yo'lini toping.

Yechilishi. AB nurning linzadan o'tgandan keyingi yo'lini topish uchun, avvalo, fokal tekislikni o'tkazamiz. Ma'lumki, linzaning qo'shimcha o'qiga parallel bo'lgan nurlar fokal tekislikda yotuvchi biror nuqtada to'planadi. Shu nuqtani topish maqsadida AB nurga parallel bo'lgan OC qo'shimcha optik o'qni o'tkazamiz. Bu o'q fokal tekislik bilan C nuqtada kesishadi. AB nurning linzadan o'tgandan keyingi yo'li shu C nuqtadan o'tishi kerak. Demak, BC nur AB nurning linzadan o'tgandan keyingi yo'nalishini ifodalaydi.

4- masala. Kishi yaqindan ko'rar ko'z bilan optik kuchi $D = -4$ dioptriya bo'lgan ko'zoynakda o'qimoqda. Ko'zoynaksiz eng yaxshi ko'rish masofasini aniqlang.

Berilgan: $D = -4D$; $d_0 = 25 \text{ sm} = 0,25 \text{ m.}$

Topish kerak: $f - ?$

Yechilishi. Yaqindan ko'radigan kishining ko'zoynagi sochuvchi linzalardan bo'lib, uning fokus masofasi quyidagicha ifodalanadi:

$$F = \frac{1}{D}.$$

Sochuvchi linzaning formulasidan bu fokus masofasi:

$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_0} + \frac{1}{f}$ bo'ladi, bunda d_0 normal ko'zning eng yaxshi ko'rish masofasi. Bu ifodadan f ni topamiz:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d_0}; f = \frac{F \cdot d_0}{d_0 - F} = \frac{\frac{1}{D} \cdot d_0}{D \cdot d_0 - 1} \cdot D = \frac{d_0}{d_0 D - 1}.$$

Hisoblash:

$$f = \frac{0,25 \text{ m}}{0,25 \text{ m}(-4)D - 1} = -0,125 \text{ m}.$$

Ko'zoynakdan tasvirgacha bo'lgan masofa ko'zning eng yaxshi ko'rish masofasidir. Minus ishora tasvirning mavhum ekanligini bildiradi.

Mustaqil yechish uchun masalalar

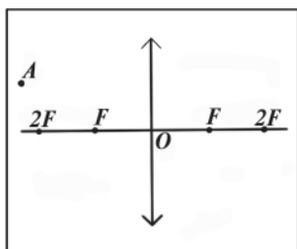
52. Optik o'qda yotgan nuqtaning qavariq va botiq linzalardagi tasvirini yasang.

53. Buyum yig'uvchi linzaning *a)* ikkilanma fokus masofasidan narida; *b)* fokusi bilan ikkilanma fokusi orasida; *d)* linza bilan fokus orasida joylashgan. Buyum tasvirini yasang.

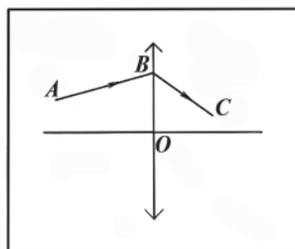
54. Linzaning optik kuchi 2 dioptriyaga teng bo'lsa, uning fokus masofasi qancha bo'ladi?

55. *A* nuqtaning tasvirini yasang (98- rasm).

56. 99- rasmda qavariq linzadan o'tuvchi *ABC* nurning yo'li tasvirlangan. Yasash yo'li bilan linza fokusini toping.



98- rasm.



99- rasm.

57. Qavariq linzadan 5 m uzoqlikda buyum turibdi. Agar linzaning fokus masofasi 10 sm bo'lsa, buyumning tasviri qayerda hosil bo'ladi? Chizmasini chizing.

58. Sindirish ko'rsatkichi 1,56 bo'lgan shishadan optik kuchi 8 dioptriya bo'lgan linza tayyorlash kerak. Agar linzaning har ikkala sirtining egriligi bir xil bo'lsa, bu sirtlarning egrilik radiuslari nima-ga teng bo'lishi kerak?

59. Agar shishadan tayyorlangan qavariq linzaning fokus maso-fasi bu linza sirtlarining egrilik radiusiga teng bo'lsa, bu shishaning sindirish ko'rsatkichi nimaga teng?

60. Qavariq linzadan 40 sm uzoqlikdagi buyumning tasviri lin-zadan 15 sm narida hosil bo'lgan. Agar buyumning kattaligi 60 sm bo'lsa, linzaning fokus masofasi qancha bo'ladi? Buyum tasviri-ning kattaligi qanday bo'ladi?

61. Buyum fokus oralig'i 10 sm bo'lgan ikki tomoni botiq lin-zadan 12 sm uzoqlikda turibdi. Buyumning tasviri linzadan qanday uzoqlikda joylashadi? Chizmasini chizing.

62. Linza oldiga 12,5 sm masofada o'rnatilgan shkaladagi mil-limetrli bo'linmaning ekrandagi tasvirining uzunligi 2,4 sm. Lin-zaning fokus masofasi va optik kuchini toping.

63. Yorug'lik chiqaruvchi nuqta botiq linzaning fokusida turib-di. Shu nuqtaning tasviri linzadan qanday masofada hosil bo'ladi? Nurlarning yo'lini chizing.

64. Balandligi 10 sm bo'lgan jism optik kuchi 3 D bo'lgan lin-zadan 50 sm narida joylashgan bo'lsa, tasvir qanday va qayerda hosil bo'ladi? Masalani chizma chizish va hisoblashlar yo'li bilan yeching.

65. Linzaning havodagi fokus masofasi 20 sm bo'lsa, linzaning suvga botirilgandagi fokus masofasini toping. Linza yasalgan shi-shaning sindirish ko'rsatkichi 1,6, suvniki 1,33.

66. Lupa bilan qurollangan ko'zning to'r pardasida buyumning tasvirini yasang.

67. Nima uchun ko'zni lupaga yaqinroq tutish maqsadga mu-vofiq? Javobingizni tasvir yasash yo'li bilan asoslang.

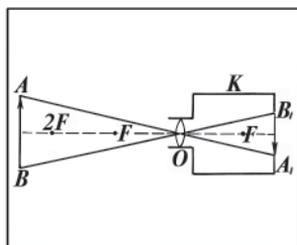
68. Optik kuchi 4 dioptriya bo'lgan ko'zoynak shishasining fokus masofasini toping.

69. Ko'zoynakning optik kuchi +1,5 D. Bu ko'zoynakda qanday linzalardan foydalanilgan? Linzalarningi fokus masofa-si qancha? Bu ko'zoynak ko'zning qanday kamchiliklarini to'g'-rilaydi?

70. Uzoqdan ko‘rar odam ko‘zining eng yaxshi ko‘rish masofasi 1 m. Shu odam ko‘zoynagining optik kuchini aniqlang.

33- §. Optik asboblari. Proyeksiyon apparati. Fotoapparat

Maxsus mexanik moslamalar vositasida ma‘lum holatda o‘rnatilgan linzalari, prizmalari, ko‘zgular va shu kabilardan tashkil topgan optik sistemalar *optik asboblari* deb ataladi. Turli maqsadlarga mo‘ljallangan xilma-xil optik asboblari bor. Optik asboblardan biz, asosan, tasvir hosil qilishga mo‘ljallanganlari bilan tanishib chiqamiz. Ularning hammasi umumiy bosh optik o‘qqa ega bo‘lgan optik sistema (linza) lardan iborat. Bunday optik asboblarni ikki guruhga ajratish mumkin. Ulardan biri ekranda yoki fotoplastinkada buyumning haqiqiy tasvirini hosil qilish uchun xizmat qiladi. Fotoapparat va proyeksiyon apparati shular jumlasiga kiradi. Ikkinchi guruhi esa ko‘zni qurollantiruvchi (ko‘zga yordam berishga mo‘ljallangan) asboblari bo‘lib, ular yordamida ko‘zda buyumning mavhum tasviri hosil qilinadi. Ikkinchi guruhga lupa, mikroskop, teleskoplar kiradi.

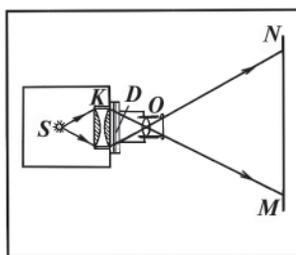


100- rasm.

Fotoapparat. Fotoapparatning asosiy qismi O obyektiv va yorug‘lik o‘tmaydigan K kameradan iborat bo‘lib (100- rasm), kameraning orqa devorida fotoplastinka yoki fotoplyonka joylashtirilgan bo‘ladi.

Eng oddiy obyektiv bitta yig‘uvchi linzadir. Obyektiv kameraning orqa devorida AB buyumning haqiqiy, kichiklashgan va teskari A_1B_1 tasvirini hosil qiladi. Ko‘pchilik hollarda suratga olinadigan buyum linzaning ikkilangan fokus masofasidan katta masofada turadi, shuning uchun tasvir kichraygan holda bo‘ladi.

Suratga olinadigan buyum fotoapparatdan turlicha oraliqda turishi mumkin. Shunga yarasha obyektiv bilan plyonka oralig‘ini ham o‘zgartirish lozim bo‘ladi. Buning uchun kamera cho‘ziladi



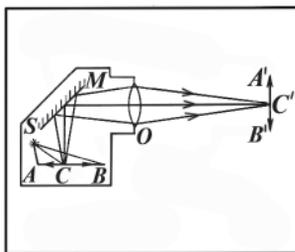
101- rasm.

yoki qisqartiriladi (bu maqsadda kameraning devorlari garmon shaklida qilinadi) yoki obyektiv vintli rezba vositasida tegishli tomonga siljtiladi.

Fotoapparatlarda yuqorida ko'rsatilgan qismlardan tashqari suratga olish vaqtini belgilovchi zatvor, obyektivning ishlovchi qismini o'zgartirib beruvchi diafragma, obyektivdan suratga olinayotgan buyumgacha bo'lgan oraliq masofani aniqlovchi uzoqlik o'lchagich (dalnomer)lar ham bor. Buyumning fotosurati aniq bo'lishi uchun obyektiv linzalar sistemasidan tayyorlanadi.

Hozirgi vaqtda raqamli fotoapparatlar ko'p ishlatiladi. Ular ishlatishga ancha qulay, gabariti ham ixcham. Raqamli foroapparatlarning ishlashi elektronikaga asoslangan.

Proyeksion apparat. Proyeksion apparatning vazifasi ekranda buyumning kattalashgan haqiqiy tasvirini hosil qilishdir. Bunday buyum shaffof asosga olingan rasm yoki fotosurat, diapozitiv yoki shaffof bo'lmagan obyektlar, masalan, qog'ozlardagi chizmalar, kitobdagi rasmlar bo'lishi mumkin. Shaffof obyektlarni proyeksiyalash uchun mo'ljallangan proyeksion asboblari **diaskoplar** (grekcha «dia» — shaffof), shaffof bo'lmagan obyektlarni proyeksiyalash uchun mo'ljallangan asboblari **episkoplar** (grekcha «epi» — shaffofmas) deb ataladi. 101- rasmda diapozitivlarni ekranga proyeksiyalash uchun mo'ljallangan proyeksion apparat — diaskopning tuzilishi va unda nurning yo'li ko'rsatilgan. Proyeksion apparatning asosiy optik qismi O obyektiv bo'lib, bu obyektiv bitta yig'uvchi linza xizmatini o'taydigan linzalar sistemasidan iborat. Obyektivning vazifasi MN ekranda D diapozitivning kattalashgan tasvirini hosil qilishdir. Obyektivni siljitish yo'li bilan buyumnig ekrandagi tasvirining aniq bo'lishiga erishish mumkin, bunga **fokusga to'g'rilash** deyiladi. Yorug'lik S manba (lampa)dan D diapozitivga yo'naltiriladi. O'lchamlari, odatda, obyektiv o'lchamlaridan katta bo'ladigan diapozitivdan kelayotgan hamma yorug'likni obyektivga yuborish



102- rasm.

uchun diapozitiv oldiga K kondensator qo'yiladi. **Kondensator** katta o'lchamga ega bo'lgan qisqa fokusli linzalar sistemasidan iboratdir. Kondensator shunday o'rnatiladiki, undan kelayotgan yorug'lik obyektiv markazida yig'iladi. Diapozitivning o'zi obyektivning fokal tekisligi yaqiniga joylashtiriladi, shuning uchun proyeksion

apparatning chiziqli kattalashtirishi $k = \frac{f}{F}$ bo'ladi, bunda: f — obyektivdan tasvirgacha bo'lgan masofa; F — obyektivning fokus masofasi.

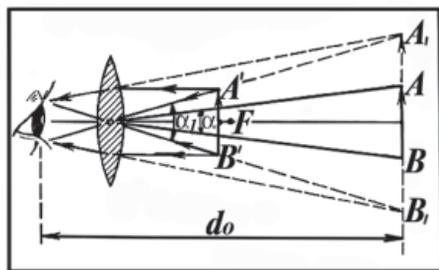
Proyeksion apparatda yorug'lik manbai sifatida elektr yoy lampalari yoki katta quvvatli maxsus cho'g'lanma proyeksion lampalar ishlatiladi.

Episkopda nurlar yo'lining sxemasi 102- rasmda keltirilgan. Bunday asboblarda ekranga tasviri tushiriluvchi buyum (rasm yoki chizma) yon tomonidan lampa va ko'zgular yordami bilan kuchli yoritilib, obyektiv yordamida ekranga tushiriladi: yorug'lik S manbadan AB buyumga yo'naltiriladi, u buyumdan qaytib, M yassi ko'zguga tushib, O obyektiv orqali ekranda buyumning $A'B'$ tasvirini hosil qiladi. 102- rasmda AB buyumning C nuqtasi uchun nurlarning yo'li ko'rsatilgan.

Hozirgi vaqtda shaffof va shaffofmas obyekt (buyum)larning tasvirini tushirish uchun ishlatiladigan mukammallashgan proyeksion apparatlar keng tarqalgan. Bunday asboblarni **epidioskop** deb ataladi.

34- §. Lupa. Mikroskop

Lupa. Lupa — qisqa fokusli ikki yoqlama qavariq linzadir. Kichik buyumni sinchiklab ko'rish uchun uni linza bilan uning fokusi orasiga shunday joylashtirish kerakki, buyumning tasviri ko'zning eng yaxshi ko'rish masofasida hosil bo'lsin (normal ko'z uchun bu masofa 25 sm ga teng). Lupaning vazifasi eng



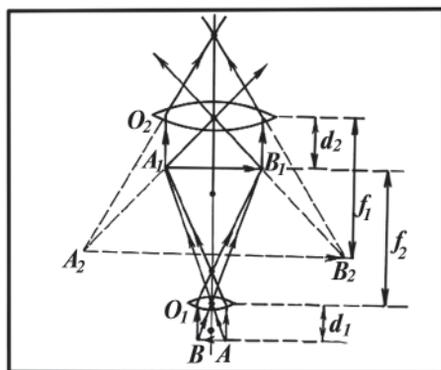
103- rasm.

yaxshi ko‘rish masofasida buyumni katta ko‘rish burchagi ostida ko‘rsatib berishdir. Buyumning chekka nuqtalaridan keladigan nurlarning ko‘zga tushish burchagi **ko‘rish burchagi** deyiladi (103- rasm). Eng aniq ko‘rish masofasida ($d_0 = 25$ sm) turgan AB buyum α burchak ostida ko‘rinadi. Agar bu burchak juda kichik bo‘lsa, buyum detallarini farq qilish qiyin bo‘ladi. Ko‘rish burchagini kattalashtirish uchun buyumni ko‘zga yaqin bo‘lgan $A'B'$ holatga keltirish lozim. Bu holatda buyum α burchakdan katta bo‘lgan α_1 ko‘rish burchagi ostida kuzatiladi. Lekin bu holatda ham buyum detallarini farq qila olmaslik mumkin, chunki buyum ko‘zga juda yaqin turibdi. Buyumning shu lupada hosil bo‘ladigan tasviri A_1B_1 vaziyatda bo‘ladigan qilib lupani ko‘z bilan AB buyum orasiga qo‘ysak, buyum o‘sha kattalashgan α_1 ko‘rish burchagi ostida eng yaxshi ko‘rish masofasida ko‘rinadi.

Amalda fokus masofasi $F = 1 \div 10$ sm bo‘lgan lupalar ishlatiladi. Lupaning kattalashtirishi, 103- rasmdan ko‘rinishicha, taqriban $k = \frac{d_0}{F}$ dir. $d_0 = 25$ sm bo‘lgani uchun, odatda, ishlatiladigan lupalarning kattalashtirishi 2,5 dan 25 gacha bo‘ladi.

Mikroskop. Mikroskop yaqin joylashgan juda kichik obyektlarni ko‘rishga mo‘ljallangan. Uning optik sistemasi O_1 obyektiv va O_2 okulyardan iborat bo‘lib, ularning optik o‘qlari bir to‘g‘ri chiziqda yotadi (104- rasm). AB buyum obyektivning oldi tomoniga, fokus masofasidan biroz kattaroq masofaga qo‘yiladi. Shunda obyektiv haqiqiy, kattalashgan va teskari A_1B_1 tasvirini beradi. Hosil bo‘lgan bu tasvirga O_2 okulyar orqali qaraladi. Okulyar ham xuddi lupa singari mavhum, kattalashgan va AB buyumga nisbatan teskari A_2B_2 tasvirni hosil qiladi.

Mikroskopning chiziqli kattalashtirishi buyumning ikkinchi A_2B_2 tasviri H_2 o‘lchamining shu AB buyumning haqiqiy h o‘lchamiga bo‘lgan nisbati bilan aniqlanadi, ya’ni:



104- rasm.

$$k = \frac{H_2}{h}.$$

Bu kattalikni quyidagicha yozish mumkin:

$$k = \frac{H_2}{h} = \frac{H_1}{h} \cdot \frac{H_2}{H_1}.$$

H_1 buyumning A_1B_1 tasvirining chiziqli o'lchami. Yuqoridagi munosabatlardan ko'rinadiki, mikroskopning chiziqli kattalashtirishi obyektivning H_1/h kattalashtirishi bilan okulyarning H_2/H_1 kattalashtirishi ko'paytmasiga teng ekan. Ammo:

$$\frac{H_1}{h} = \frac{f_1}{d_1} \text{ va } \frac{H_2}{H_1} = \frac{f_2}{d_2}.$$

f_1 masofa taxminan mikroskop tubusining δ uzunligiga teng (okulyarning old fokusi bilan obyektiv orasidagi δ masofani **mikroskop tubusining uzunligi** deyiladi), d_1 esa taxminan obyektivning F_1 fokus masofasiga teng deb olish mumkin. Shuning uchun obyektivning kattalashtirishi quyidagicha aniqlanadi:

$$\frac{H_1}{h} = \frac{f_1}{d_1} = \frac{\delta}{F_1}.$$

Okulyarning kattalashtirishi esa oddiy lupaniki singari, d_0/F_2 ga teng. Bunda: d_0 — eng yaxshi ko'rish masofasi. Shunday qilib, mikroskopning kattalashtirishi quyidagicha bo'ladi:

$$k = \frac{\delta}{F_1} \cdot \frac{d_0}{F_2}. \quad (69)$$

Amalda yorug'lik difraksiyasi sababli mikroskopning kattalash-tirishi 2500–3000 dan ortmaydi.

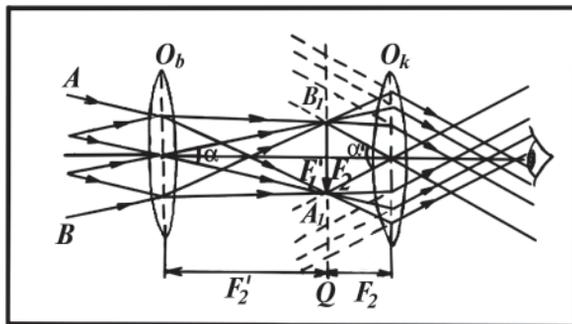
35- §. Ko'rish trubalari. Teleskoplar

Olisdagi narsalarni ko'rish uchun ko'rish trubalari ishlatiladi. Ularning turli tipdagi durbinlardan tortib astronomik teleskoplar-gacha bo'lgan xilma-xil variantlari mavjud. Osmon jismlarini kuza-tish uchun ishlatiladigan ko'rish trubalarini **teleskoplar** deb, ikki ko'z bilan ko'rishga imkon beradigan ko'rish trubalarini **durbinlar** deb ataladi.

Ko'rish trubalari-**refraktorlar** va ko'rish trubalari-**reflektorlar** bir-biridan farqlanadi. Ko'rish trubalari-refraktorlarda linzalar sis-temasida nurlarning sinishi natijasida ko'rish burchagining katta-lashishiga erishiladi. Ularda obyektiv ham, okulyar ham linzalar sistemasidan iborat bo'ladi. Ko'rish trubalari-reflektorlarda obyek-tiv linza bo'lmay, balki katta diametrli parabolik botiq ko'zgdan iborat bo'ladi. Kepler va Galileyning ko'rish trubalari refraktorlarga kiradi. Shu ko'rish trubalarining tuzilishi va unda tasvir hosil bo'lishi bilan tanishib chiqaylik.

1. **Kepler trubasi.** Kepler trubasi umumiy bosh optik o'qqa ega uzun fokusli O_b obyektivdan va lupa kabi ishlaydigan qisqa fokusli O_k okulyardan tuzilgan (105- rasm). Obyektivning orqa fokusi F_1' okulyarning oldingi fokusi F_2 bilan ustma-ust tushadi. Buyum juda uzoqda bo'lgani uchun uning yuqori A chekkasidan kelayotgan pa-

rallel nurlar optik o'qqa nisbatan $\frac{\alpha}{2}$ burchak ostida obyektivga tush-adi. Bu nurlar ularga parallel qo'shimcha optik o'q obyektivning orqa



105- rasm.

Q fokal tekisligi bilan kesishgan A_1 nuqtada to'planadi. Buyumning B chekkasidan kelayotgan parallel nurlar ham obyektivga optik o'qqa

nisbatan $\frac{\alpha}{2}$ burchak ostida tushib, obyektivdan o'tgandan so'ng Q fokal tekislikda B_1 nuqtada to'planadi.

Shunday qilib, okulyarning oldingi fokal tekisligida cheksiz uzoqlikdagi buyumning A_1B_1 haqiqiy va teskari tasviri hosil bo'ladi. Okulyar uchun A_1B_1 tasvir buyum vazifasini bajaradi va u cheksiz uzoqlikda kattalashgan mavhum tasvirni hosil qiladi.

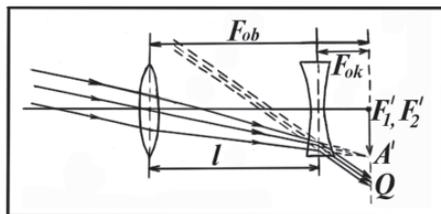
105-rasmdan ko'rinishicha, kuzatuvchi buyum tasvirini α' burchak ostida ko'radi va $\alpha' > \alpha$. Kepler trubasining burchak kattalashtirishi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$k = \frac{F_1^1}{F_2} = \frac{F_{ob}}{F_{ok}}, \quad (70)$$

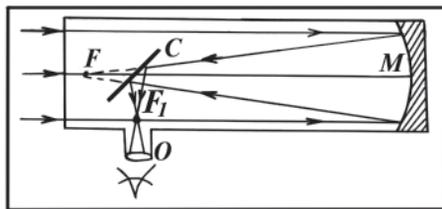
bunda: F_{ob} — obyektivning fokus masofasi; F_{ok} — okulyarning fokus masofasi. Demak, Kepler ko'rish trubasining keraklicha burchak kattalashtirishiga erishish uchun imkoni boricha uzun fokusli obyektivdan va qisqa fokusli okulyardan foydalanish lozim bo'ladi.

2. **Galiley trubasi.** Galiley ko'rish trubasida okulyar o'rnida sochuvchi linza ishlatiladi. Bunda obyektiv va okulyarning orqa fokuslari F_1' va F_2' deyarli ustma-ust tushadi (106- rasm).

Olisda joylashgan buyumning yuqori A chekkasi va o'rta qismidan kelayotgan parallel nurlar ularning yo'lida sochuvchi linza bo'lmaganda obyektivning orqa Q fokal tekislikda $F_1'A'$ tasvirni bergan bo'lar edi. Lekin ular sochuvchi linzada sinib, yana parallel nurlarga aylanadi. Trubaning okulyaridan qaralganda ko'z olisda buyumning kattalashgan mavhum tasvirini ko'radi (106- rasmda ko'z tasvirlanmagan).



106- rasm.



107- rasm.

107- rasmda ko'zguli teleskopning tuzilish sxemasi ko'rsatilgan. Olisdagi buyum — yoritkichdan kelayotgan parallel nurlar dastasi M botiq ko'zguga tushib, undan qaytadi va ko'zguning fokal tekisligida yoritkichning haqiqiy, teskari va kichiklashgan tasviri hosil bo'ladi. Bu tasvirga qarash qulay bo'lsin uchun M ko'zguning fokal tekisligiga yaqinroq qilib nurni 90° ga burib beruvch C yassi ko'zgu o'rnatiladi. Yoritkichning botiq ko'zgdagi tasvirini xuddi lupa kabi ishlaydigan O okulyar orqali kuzatiladi. Teleskopning trubasi ko'zguga chetki yorug'likning tushishidan himoya qiladi.

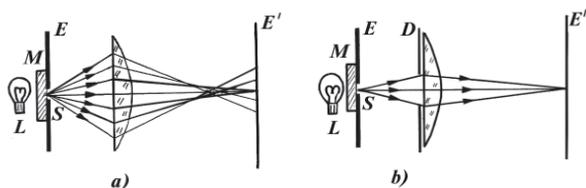
Teleskoplar astronomik kuzatishlarda juda muhim rol o'ynaydi.

36- §. Optik asboblarning nuqsonlari

Shu vaqtgacha jismlarning tasvirini hosil qilishda paraksial (bosh optik o'qqa kichik burchak ostida tushadigan) nurlar va ularning ingichka dastasidan foydalanamiz, deb taxmin qilib keldik. Lekin optik asboblarda bu ikkala taxmin ham amalda bajarilmaydi. Katta yoritilganlikni olish uchun yorug'lik nurining keng dastasidan, ya'ni katta diametrli linzalardan foydalanish lozim. Shu bilan birga ko'pincha optik o'qdan yetarlicha uzoqda (masalan, fotoapparatlarda) bo'lgan buyumlarning tasviri bilan ish ko'rishga to'g'ri keladi.

Yuqoridagi cheklanishlardan voz kechsak, optik tasvir yaxshi chiqmaydi: tasvir ravshan bo'lmay, noaniq bo'ladi, undagi mayda detallar xiraroq chiqadi, ularni bir-biridan ajratish qiyin bo'ladi. Ba'zan tasvir buyumga o'xshamay qoladi.

Tasvirlarning sifatiga optik shishalar sindirish ko'rsatkichining yorug'likning rangi (to'lqin uzunligi)ga bog'liqligi ham ta'sir etadi. Bunday bog'lanish oq nurdan foydalanilganda tasvirning chetlarini rangdor bo'lishiga olib keladi.



108- rasm.

Optik asboblarning bunday nuqsonlari **aberratsiya** deb ataladi. Amalda aberratsiyani to‘la yo‘qotib bo‘lmaydi, lekin uni tasvirning sifatiga sezilarli ta‘sir ko‘rsatmaydigan darajada kamaytirish mumkin.

Optik asboblarning ba‘zi nuqsonlarini ko‘rib chiqaylik.

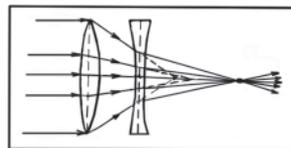
1. Sferik aberratsiya. Katta diametrli va qisqa fokusli yassi qavariq linza yordamida oddiy tajriba o‘tkazib, bu nuqsonning qanday yuzaga kelishini ko‘rish mumkin.

Yig‘uvchi linzaning bosh optik o‘qiga L yorug‘lik manbai — «yorituvchi nuqta» joylashtiramiz (108- a rasm). Buning uchun katta E ekran olib, uning o‘rtasida taxminan 1 mm diametrli S teshik ochamiz va oldiga M xira shishani mahkamlab qo‘yamiz, so‘ng uncha katta bo‘lmagan, lekin yorqin cho‘g‘lanma lampani xira shisha yaqiniga joylashtirsak, yoritilgan teshik «yorituvchi nuqta» vazifasini o‘taydi.

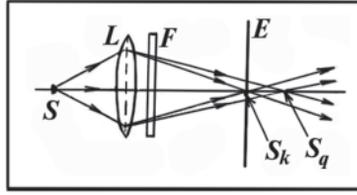
108- rasmdan ko‘rinishicha, yorug‘lik nurining keng dastasidan foydalanilganda linzaning chetlari nurlarni o‘rta qismidagiga nisbatan kuchliroq sindiradi. Natijada katta diametrli linza E' ekranda yorituvchi nuqtaning nuqta ko‘rinishidagi tasvirini emas, balki nuqsonli — yoyilib ketgan dog‘ ko‘rinishidagi tasvirini beradi. Agar linza markaziy qismining qarshisiga o‘rtasida kichikroq teshik o‘yilgan D karton qog‘ozni joylashtirsak, yorug‘lik dastasi cheklanadi, uning torroq qismi linzaga tushadi (108- b rasm) va E' ekranda yorituvchi nuqtaning o‘ziga o‘xshash, ancha ravshan tasviri hosil bo‘ladi.

Optik asboblarda yorug‘likning keng dastasidan foydalanganda yuzaga keladigan nuqson **sferik aberratsiya** deb ataladi. Sindirish ko‘rsatkichlari har xil bo‘lgan yig‘uvchi va sochuvchi linzalardan turli kombinatsiyalar tuzib, sferik aberratsiyaning qariyb butunlay yo‘qolishiga erishish mumkin (109- rasm).

2. Xromatik aberratsiya. Muhitning sindirish ko‘rsatkichi yorug‘likning to‘lqin uzunligiga bog‘liq. Bu hodisani **dispersiya** deb



109- rasm.

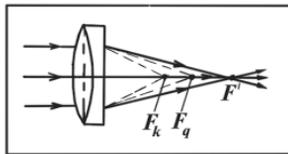


110- rasm.

ataladi. Dispersiya tufayli paraksial nurlardan foydalanilganda ham linza har xil rangli nurlarni har xil nuqtalarda yig‘adi va tasvir bo‘yalgan bo‘lib chiqadi. Bunga quyidagi tajribada ishonch hosil qilish mumkin.

L linzadan o‘tayotgan yorug‘lik nurlari yo‘liga F qizil va ko‘k rangli shishalarni (qizil rangli shisha faqat qizil rangli yorug‘likni, ko‘k rangli shisha esa faqat ko‘k rangli yorug‘likni o‘tkazadi) navbatma-navbat qo‘yamiz (110- rasm). E ekranni gorizontal yo‘nalishda u yoqdan bu yoqqa siljitib, S manbaning tasvirini turli rangli nurlar turli nuqtalarda berganini ko‘ramiz: S_q qizil tasvir linzadan S_k ko‘k tasvirga nisbatan uzoqroqda joylashgan. Agar ekranni ravshan tasvir, masalan, ko‘k tasvir hosil bo‘lgan joyda qoldirsak, qizil nur ekranda noaniq dog‘ beradi yoki aksincha. Shu sababli oq yorug‘likdan foydalanilganda nuqtaning linzadagi tasviri rangli va bir-biri bilan chaplashgan, linzaga yaqin uchi S_b binafsha, uzoq uchi S_q qizil doirachalar tizimidan iborat bo‘ladi. Dispersiya tufayli yuzaga keladigan bunday nuqson **xromatik aberratsiya** deyiladi.

Turli shishalarning sindirish ko‘rsatkichi turlicha. Fokus masofalari bir xil bo‘lgan holda sindirish ko‘rsatkichi katta bo‘lgan linza uchun sindirish ko‘rsatkichi kichik bo‘lgan linzaga nisbatan S_b va S_q nuqtalar orasidagi masofa katta bo‘ladi. Bu holdan xromatik aberratsiyani bartaraf etishda foydalaniladi. Buning uchun sindirish ko‘rsatkichi kichik ikki tomonlama qavariq (yig‘uvchi) linzaga sindirish ko‘rsatkichi katta botiq-yassi (sochuvchi) linza yopishtirilgan sistema ishlatiladi (111- rasm). Sochuvchi linza yig‘uvchi linzaning



111- rasm.

fokus masofasini uzaytiradi, shu bilan birga kuchliroq sinadigan ko'k nurdan foydalangandagi F'_k fokus masofa kamroq sinadigan qizil nurdan foydalangandagi F'_q fokus masofadan ko'proq uzaytildi. Oddiy holda hisoblashlar shunday qilinadiki, natijada qizil nurlarning F'_q fokusi va ko'k nurlarning F'_k fokusi bilan bitta nuqtada ustma-ust tushsin. Turli rangdagi tasvirlar bitta nuqtada qo'shibilib amalda oq nuqtani hosil qiladi, ya'ni xromatik aberratsiya bartaraf etiladi.

Takrorlash uchun savollar

1. *Optik asboblarning qanday turlarini bilasiz va ular qanday maqsadlarda ishlatiladi?*
2. *Ko'rish burchagi deb nimaga aytiladi?*
3. *Lupaning kattalashtirishini qanday aniqlash mumkin?*
4. *Proyeksion apparatda nurning yo'li qanday bo'ladi?*
5. *Fotoapparatda buyumning tasviri qanday hosil qilinadi?*
6. *Mikroskopda nurning yo'lini chizing.*
7. *Mikroskopning kattalashtirishini qanday aniqlash mumkin?*
8. *Ko'rish trubalari qanday maqsadlarda ishlatiladi? Uning qanday turlarini bilasiz?*
9. *Refraktor nima? Reflektor-chi?*
10. *Kepler trubasida nurning yo'lini chizing.*
11. *Galiley trubasida nurning yo'lini chizing.*
12. *Teleskop-reflektorning tuzilishini va ishlash prinsipini tushuntiring.*
13. *Aberratsiya nima? U qanday oqibatlariga olib keladi?*
14. *Sferik aberratsiyani tushuntiring. U qanday bartaraf etiladi? Chizmada ko'rsating.*
15. *Xromatik aberratsiya qanday yuzaga keladi? Uni qanday bartaraf etish mumkin? Chizmada ko'rsating.*

Masala yechish namunalari

1- masala. Proyeksion apparat obyektining fokus masofasi 20 sm ga, obyektivdan ekrangacha bo'lgan masofa esa 20 m ga teng. Diapozitivda rasmning balandligi 4 sm ga teng bo'lsa, ekrandagi tasvirning balandligi nimaga teng bo'ladi?

Berilgan: $F=20$ sm = 0,2 m; $f=20$ m; $h=4$ sm = 0,04 m.

Topish kerak: H — ?

Yechilishi. Diapozitivdan obyektivning optik markazigacha bo'lgan masofani linza formulasidan topamiz:

$$d = \frac{F \cdot f}{f - F}.$$

Tasvirning balandligini linzaning kattalashtirishidan topamiz:

$$\frac{H}{h} = \frac{f}{d}; H = \frac{h \cdot f}{d} = \frac{h \cdot f}{\frac{F \cdot f}{f - F}} = \frac{f - F}{F} \cdot h.$$

Hisoblash:

$$H = \frac{0,04 \text{ m} \cdot (20 \text{ m} - 0,2 \text{ m})}{0,2 \text{ m}} = 3,96 \text{ m} \approx 4 \text{ m}.$$

2- masala. Fotoapparat optik kuchi 5 dioptriya bo‘lgan obyektiv (linzalar sistemasi)ga ega. Shunday fotoapparat yordamida balandligi 160 sm bo‘lgan odamning rasmi olinmoqchi. Tasvirning kattaligi 8 sm bo‘lishi uchun odam fotoapparatdan qanday uzoqlikda turishi kerak?

Berilgan: $D = 5 \text{ D}$; $h = 160 \text{ sm} = 1,6 \text{ m}$; $H = 8 \text{ sm} = 0,08 \text{ m}$.

Topish kerak: $d - ?$

Yechilishi: Fotoapparatning obyektivi bitta yig‘uvchi linzaning vazifasini bajaradigan linzalar sistemasidan iborat. Yig‘uvchi linza formulasidan foydalanib, f ni topamiz:

$$f = \frac{F \cdot d}{d - F}. \quad (\text{a})$$

Ikkinchi tomondan, fotoapparatning kattalashtirishi:

$$\frac{f}{d} = \frac{H}{h} \text{ dan } f = \frac{H \cdot d}{h}. \quad (\text{b})$$

(a) va (b) ifodalarni birgalikda yechib hamda $F = \frac{1}{D}$ ekanligini nazarga olib, d ni topamiz:

$$\frac{F \cdot d}{d - F} = \frac{H \cdot d}{h}; \quad d = \frac{h + H}{H} F = \frac{h + H}{HD}.$$

$$\text{Hisoblash: } d = \frac{0,08 \text{ m} + 1,6 \text{ m}}{5 \frac{1}{\text{m}} \cdot 0,08 \text{ m}} = 4,2 \text{ m}.$$

3- masala. Mikroskop obyektivining fokus oralig‘i 4 mm, okulyarining fokus oralig‘i esa 2,5 sm. Agar buyum obyektivining bosh fokusidan 0,2 mm nariga joylashtirilgan bo‘lsa, mikroskop necha marta katta qilib ko‘rsatadi?

Berilgan: $F_1 = 4 \text{ mm} = 0,004 \text{ m}$; $F_2 = 2,5 \text{ sm} = 0,025 \text{ m}$.
 $l = 0,2 \text{ mm} = 0,0002 \text{ m}$.

Topish kerak: k — ?

Yechilishi. Mikroskopning kattalashtirishi:

$$k = \frac{\delta \cdot d_0}{F_1 \cdot F_2},$$

bunda: d_0 — eng yaxshi ko‘rish masofasi; δ — obyektiv bilan okulyarning fokuslari orasidagi masofa. Buyumning obyektivda haqiqiy, kattalashgan va teskari tasviri okulyarning fokusiga yaqin joyda hosil bo‘ladi, shuning uchun $\delta = f_1 - F_1$ deb olish mumkin, bunda f_1 — tasvirning obyektivdan uzoqligi. Buyum obyektivdan $d_1 = F_1 + l$ masofada joylashgan. Yig‘uvchi linza formulasidan foydalanib, f_1 ni topamiz:

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{F_1} - \frac{1}{d_1} = \frac{d_1 - F_1}{F_1 \cdot d_1} = \frac{F_1 + l - F_1}{(F_1 + l)F_1} = \frac{l}{(F_1 + l)F_1}; f_1 = \frac{F_1 + l}{l} F_1.$$

f_1 ning bu ifodasidan foydalanib, δ ni topamiz:

$$\delta = \frac{F_1 + l}{l} F_1 - F_1 = \frac{F_1^2}{l}.$$

U holda mikroskopning to‘la kattalashtirishi quyidagicha bo‘ladi:

$$k = \frac{F_1^2 d_0}{l \cdot F_1 \cdot F_2} = \frac{F_1 d_0}{l F_2}.$$

Hisoblash:

$$k = \frac{0,004 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ m}}{0,0002 \text{ m} \cdot 0,025 \text{ m}} = 200.$$

4- masala. Kattalashtirishi 8 ga teng okulyarli va fokus masofasi 2 m ga teng obyektivli teleskop-refraktorning kattalashtirishini aniqlang.

Berilgan: $k_{ok} = 8$; $F_{ob} = 2 \text{ m}$; $d_0 = 25 \text{ sm} = 0,25 \text{ m}$.

Topish kerak: k_t — ?

Yechilishi. Teleskopning kattalashtirishi obyektiv fokus masofasining okulyar fokus masofasi nisbatiga teng:

$$k_t = \frac{F_{ob}}{F_{ok}}.$$

Okulyarning ishlashi lupaning ishlashi kabi bo‘lgani uchun uning fokus masofasini quyidagi lupaning kattalashtirish formulasidan topish mumkin:

$$k_{ok} = \frac{d_0}{F_{ok}},$$

bunda: d_0 — eng yaxshi ko‘rish masofasi. Bu formuladan:

$$F_{ok} = \frac{d_0}{k_{ok}}$$

bo‘ladi. U holda teleskopning kattalashtirishini quyidagi ifodadan aniqlash mumkin:

$$k_t = \frac{F_{ob}}{d_0} \cdot k_{ok}.$$

Hisoblash:

$$k_t = \frac{2 \text{ m}}{0,25 \text{ m}} \cdot 8 = 64.$$

5- masala. Spektrning chekka qizil nuri uchun shishaning sindirish ko‘rsatkichi 1,510 ga teng, chekka binafsha nuri uchun 1,531 ga teng. Egrilik radiuslari 15 sm bo‘lgan ikki yoqlama qavariq linzaning qizil va binafsha nurlari uchun fokuslar orasidagi masofani aniqlang.

Berilgan: $n_1 = 1,510$; $n_2 = 1,531$; $R_1 = R_2 = R = 15 \text{ sm} = 0,15 \text{ m}$.

Topish kerak: Δl — ?

Yechilishi. Linzaning fokus masofasi formulasini masalaning shartiga mos ko‘rinishini yozamiz:

$$F = \frac{1}{(n-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)} = \frac{R}{2(n-1)}.$$

Linzaning qizil nur uchun fokus masofasi:

$$F_1 = \frac{R}{2(n_1-1)},$$

binafsha nur uchun esa:

$$F_2 = \frac{1}{2(n_2-1)}$$

ko‘rinishda ifodalanadi. U holda linzaning qizil va binafsha nurlari uchun fokuslar orasidagi masofa quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\Delta l = F_1 - F_2 = \frac{R}{2} \left(\frac{1}{n_1 - 1} - \frac{1}{n_2 - 1} \right) = \frac{R(n_2 - n_1)}{2(n_1 - 1) \cdot (n_2 - 1)}.$$

Hisoblash:

$$\Delta l = \frac{0,15 \text{ m} (1,531 - 1,510)}{2(1,510 - 1)(1,531 - 1)} = 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}.$$

Mustaqil yechish uchun masalalar

71. Normal ko‘z bilan qaralganda buyum 10 marta kattalashishi uchun lupani chegaralovchi sirtlarning egrilik radiuslari $[R_1]=[R_2]$ qanchaga teng bo‘lishi kerak? Lupa yasalgan shishaning sindirish ko‘rsatkichi 1,5 ga teng.

72. Agar proyeksion apparat obyektividan ekrangacha bo‘lgan masofa 12 m ga, obyektivning fokus masofasi 8 sm ga teng bo‘lsa, bu apparat yordamida qanday chiziqli kattalashtirishga erishish mumkin?

73. 12 km balandlikda uchib ketayotgan samolyotdan 1:16000 masshtab bilan joyning fotosurati olingan. Obyektivning fokus masofasini toping.

74. Mikroskop obyektivining fokus masofasi 2 mm, okulyarining fokus masofasi esa 40 mm. Obyektiv fokusi bilan okulyar fokusi orasidagi masofa 18 sm. Mikroskopning kattalashtirishini toping.

75. Mikroskopda obyektivning fokus oralig‘i 1,25 mm, okulyarniki esa 10 mm, tubusning uzunligi 160 mm. Mikroskop kattalashtirishini toping.

76. Teleskop okulyarining fokus masofasi 10 sm. Okulyar bilan obyektiv orasidagi masofa 2,1 m. Teleskopning burchak kattalashtirishini aniqlang.

77. Kattalashtirishi 12 ga va uzunligi 22 sm ga teng Galiley trubasini yasash uchun qanday linzalarni olish kerak?

37- §. Yorug‘likning to‘lqin tabiati

Yorug‘likning tabiati haqidagi birinchi fikrlar qadim zamonlardan ma’lum.

Keyingi ikki yarim asr davomida yorug‘likning tabiati haqidagi tasavvurlar juda katta o‘zgarishlarga duch keladi. XVII asrning oxirida yorug‘likning tabiati haqida ikkita prinsipial qarama-qarshi nazariya maydonga keldi: bulardan *birinchisi*, 1675- yilda ingliz olimi Isaak Nyuton yaratgan *korpuskulyar nazariya* va *ikkinchisi*, 1690- yilda yaratilgan gollandiyalik olim Gyuygensning *to‘lqin nazariyasidir*. Korpuskulyar nazariyaga muvofiq, yorug‘lik tez harakatlanuvchi juda kichik moddiy zarralar — korpuskulalar oqimidan iborat bo‘lib, ularni nur sochayotgan jism chiqaradi va ular ko‘zga tushib, ko‘rish sezgisini uyg‘otadi. Bu nazariyaga muvofiq, yorug‘likning qaytishi korpuskulalarning qaytaruvchi sirtidan xuddi elastik sharchalarning qattiq sirtidan qaytish qonunlari singari qonunlarga ko‘ra itarilishi deb tushuntiriladi. Ranglarning farq qilishi korpuskulalarning kattaligiga bog‘liq bo‘lib, eng yirik korpuskulalar qizil rang, eng maydalari binafsha rang sezgisi uyg‘otadi, deb tushuntiriladi.

To‘lqin nazariyaga muvofiq esa yorug‘lik yorug‘lik manbayidan chiquvchi va butun Koinotni uzluksiz to‘ldirgan qo‘zg‘almas elastik muhit — «dunyo efiri»da katta tezlik bilan tarqaluvchi to‘lqindan iboratdir. Ko‘p olimlar, jumladan, M.V.Lomonosov ham yorug‘lik tabiatiga shu nuqtayi nazardan qarashar edi.

Bu nazariyada yorug‘likning qaytish hodisasi barcha to‘lqinlar uchun o‘rinli bo‘lgan qonunga muvofiq tushuntiriladi. Ranglarning farq qilishi, xuddi tovush tonlari farqi tovush to‘lqinlari uzunligiga bog‘liq bo‘lgani singari, yorug‘lik to‘lqini uzunliklarining farqiga bog‘lik deb tushuntiriladi.

To‘lqin nazariyaning zaif tomoni undagi «dunyo efiri» bo‘lib, uning real mavjud ekanligi g‘oyat shubha tug‘dirar edi.

To‘lqin nazariyaga asosan yorug‘likning tarqalishi, havodagi tovush tebranishlariga o‘xshash, efirning mexanik elastik tebranishlari tarqalishi deb tasavvur qilinadi. Biroq yorug‘likning tabiati va tarqalishiga oid bunday qarash efir haqidagi mexanik tasavvurlar doira-

sida hal qilinishi mumkin bo'lmagan qator qiyinchiliklarga duch keldi.

Astronom Ryomer Yupiter yo'ldoshlarining tutilishini kuzatib, yorug'likning tezligini hisoblab chiqdi, bu tezlik taxminan 300 000 km/s ga yaqindir. Holbuki, tovushning havodagi tezligi bundan deyarli 1 mln marta kichik. «Dunyo efiri»ning elastik tebranishlari haqidagi mexanik tasavvurlarga ko'ra 300 000 km/s tezlik olish uchun efirning elastikligi eng yaxshi nav po'latning elastikligidan bir necha yuz marta katta bo'lishi kerak. Shu bilan bir vaqtda osmon jismlarining juda ulkan va doimiy tezliklar bilan (qarshiliksiz) harakatlanishi ma'lum edi, bunday bo'lishi uchun esa «dunyo efiri»ning zichligi haddan tashqari kichik ekan deb taxmin qilish kerak.

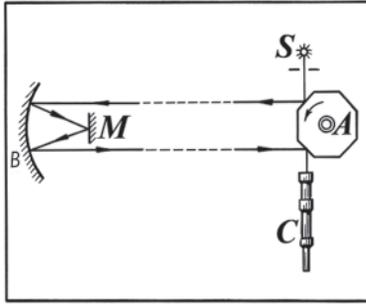
Bu ziddiyatni «dunyo efiri» haqidagi mexanik tasavvurlarga asoslanib hal qilish mumkin emas edi. 1881- yilda amerikalik olim Maykelson «dunyo efiri» mavjud emasligini tajribada isbot qildi.

1873- yilda ingliz fizigi J.Maksvell vakuumda 300 000 km/s tezlik bilan tarqaluvchi elektromagnit to'liqlar tabiatda mavjud ekanligini nazariy ravishda isbot qildi. Bundan yorug'likning elektromagnit to'liq ekanligi kelib chiqadi. Shunday qilib, XIX asrning oxirida yorug'likning tabiati haqida to'liq nazariyasi rivojlanib, **yorug'likning elektromagnit nazariyasiga** aylanadi. Bu nazariyani G.Gers eksperimentda tasdiqladi. J.Maksvell yorug'likning elektromagnit nazariyasini yaratib, yorug'likning yorug'lik tushayotgan jismlarga bosim berishini ko'rsatib berdi. Bu bosimning kattaligini rus olimi P.N.Lebedev tajribada aniqladi va uning tajribalari yorug'likning elektromagnit nazariyasini tasdiqladi.

Biz bundan keyingi paragraflarda yorug'likning to'liq xossalari namoyon bo'ladigan optik hodisalar: yorug'likning interferensiyasi, difraksiyasi, dispersiyasi, qutblanishi kabilar bilan tanishib chiqamiz. Bu hodisalarning fizik mohiyatini yorug'likning elektromagnit nazariyasi asosida tavsiflashga harakat qilamiz.

38- §. Yorug'lik tezligi. Maykelson tajribasi

Elektromagnit to'liqlarning tarqalish tezligi juda katta bo'lganligi tufayli uni bevosita kuzatish orqali baholash mumkin emas. Masalan, kechasi projektorni yoqib, undan chiqayotgan yorug'lik nurini uzoqda turgan biror buyumga yo'naltirsak, yorug'lik bir onda tarqalganga o'xshab tuyuladi. Shu sababli yorug'likning tarqalishi uchun



112- rasm.

vaqt talab qilinmaydi, ya'ni uning tarqalish tezligi juda katta degan fikr saqlanib kelgan edi. Lekin fanning rivojlanishi natijasida yorug'lik tezligining chekli ekanligi ayon bo'ldi va, nihoyat, yorug'lik tezligi aniqlandi.

Yorug'lik tezligini birinchi marta 1676- yilda daniyalik astronom Ryomer Yupiter sayyorasi yo'ldoshlarining tutilishi ustida o'tkazgan astronomik kuzatishlari asosida aniqladi.

Keyinchalik o'lchash texnikasining takomillashishi natijasida bir qancha olimlar yorug'lik tezligini turli fizik usullar bilan o'lchadilar.

Yorug'lik tezligini o'lchashning fizik usullaridan biri amerikalik olim Maykelsonning 1926–1929- yillarda ishlab chiqqan usulidir.

Maykelson tajriba o'tkazish uchun Kaliforniyadagi ikkita tog' cho'qqisidan foydalandi, bu cho'qqilar oralig'i 35,426 km bo'lib, juda aniq o'lchangan. Cho'qqilardan biriga S yorug'lik manbai o'rnatilgan (112- rasm), bu manbadan kelayotgan yorug'lik kichik tirqishdan o'tib sakkiz yoqli A ko'zgu prizmagga tushadi. Prizmadan qaytgan yorug'lik ikkinchi cho'qqiga o'rnatilgan B botiq ko'zguga tushib, undan M yassi ko'zguga, so'ngra yana B ko'zguning boshqa nuqtasiga tushadi, shundan keyin A prizma-ning ikkinchi yog'iga tushib, undan qaytgan yorug'lik C ko'rish trubasi orqali kuzatuvchining ko'ziga tushadi. Yorug'likning o'tgan yo'lini va uning harakat vaqtini bilgan holda yorug'lik tezligini osongina hisoblash mumkin.

Bu tajribada asosiy qiyinchiliklardan biri vaqtni aniq o'lchash bo'ldi. U quyidagicha amalga oshiriladi. A prizma dvigatel yordamida shunday aylanma harakatga keltiriladiki, ko'rish trubasi orqali S manba doimo ko'rinib turadi. Bunday shart bajarilishi uchun yorug'lik bir cho'qqidan ikkinchi cho'qqiga borib, undan qaytib kelishiga

ketgan vaqt ichida prizma $1/8$ marta aylangan bo'lishi kerak. Tajribalardan birida prizmaning aylanish chastotasi $528,76$ ayl/s bo'lgan.

Bir marta aylanish vaqti $\frac{1}{528,76}$ s, $1/8$ marta aylanish vaqti esa 8

marta kam, ya'ni $\frac{1}{528,76 \cdot 8}$ s bo'lgan. Bu vaqt ichida prizmaning bir tomoni qo'shni tomoni o'rnini egallashga, yorug'lik esa $35,426$ km yo'lni ikki marta bosib o'tishga ulguradi.

Bu tajribadan yorug'likning havodagi tezligi $299711 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ ga teng ekanligi aniqlanib, vakuumdagi tezlik esa $299796 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ ga teng ekanligi hisoblangan. Yorug'lik tezligining eng aniq qiymati geliy-neon lazeri nurlanishining ($\lambda=3,39$ mkm) to'lqin uzunligi va chastotasini mustaqil ravishda o'lchash asosida aniqlangan. Hozirgi vaqtda yorug'likning vakuumdagi tezligini taxminan $300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ ga teng deb olinadi.

Har xil muhitlardagi yorug'lik tezliklarini o'lchash har qanday shaffof muhitda yorug'likning, umuman, elektromagnit to'lqinlarning tezligini uning vakuumdagi tezligidan kichik bo'lishini tasdiqlaydi.

Muhitning undan o'tayotgan yorug'lik tezligini uning bo'shliqdagi tezligiga nisbatan kamaytirishini xarakterlaydigan kattalik shu muhitning **optik zichligi** deyiladi. Muhitdagi yorug'lik tezligi uning bo'shliqdagi tezligiga nisbatan qancha kichik bo'lsa, muhitning optik zichligi vakuum zichligidan shuncha katta hisoblanadi. Optik zichlikni moddaning zichligi bilan almashtirib yuborish yaramaydi. Moddalarning zichligi har xil bo'lsa ham ularning optik zichligi bir xil bo'lishi mumkin. Masalan, suv va metil spirti, kvarts va tosh tuzining optik zichliklari bir xil, ammo zichliklari har xildir.

Vakuumning optik zichligi birga teng deb qabul qilingan. Havoning optik zichligi ham amalda vakuumning optik zichligiga teng deb olinadi, chunki yorug'likning havodagi tezligi vakuumdagi tezligining taxminan $0,9997$ qismiga tengdir. Shuni qayd qilish kerakki, elektromagnit to'lqinlarning tebranish chastotasi muhitning optik zichligiga bog'liq emas, ya'ni yorug'lik (umuman, elektromagnit to'lqinlar) bir muhitdan ikkinchi muhitga o'tganda uning (ularning) tebranishlar

chastotasi o'zgarmaydi. To'lqin uzunligi esa yorug'likning tarqalish tezligiga to'g'ri proporsional ravishda o'zgaradi. Shuning uchun ham faqat bitta aniq muhit uchungina elektromagnit to'lqinlarni ularning to'lqin uzunliklari orqali xarakterlash mumkin.

Bundan keyin elektromagnit to'lqinlarni to'lqin uzunliklari bo'yicha xarakterlaganda hamma vaqt bu to'lqinlarning vakuumdagi to'lqin uzunliklari nazarda tutiladi.

39- §. Yorug'lik interferensiyasi

Interferensiya hodisasi tabiati har qanday bo'lgan to'lqin jarayonlarga xosdir. Binobarin, bu hodisa yorug'lik to'lqinlarida ham kuzatiladi.

Mexanik to'lqinlardagi kabi yorug'lik to'lqinlari o'zaro kogerent bo'lgandagina, ya'ni tebranishlar chastotasi teng va fazalar farqi vaqt o'tishi bilan o'zgarmas qolgandagina, ularning qo'shilishidan interferensiya kuzatiladi. Buning uchun to'lqin manbalari kogerent bo'lishi kerak.

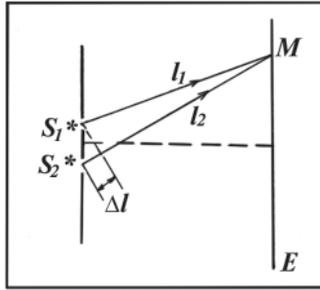
Maksvell nazariyasiga asosan va tajribalarning ko'rsatishicha, yorug'likning moddaga kimyoviy, fiziologik va boshqa ta'sirlariga elektr tebranishlari sabab bo'ladi. Shuning uchun yorug'lik to'lqinini ifodalovchi formulalarni va nurni tasvirlovchi rasmlarni soddalashtirish maqsadida kelgusida faqat elektr tebranishlari haqida fikr yuritimiz va yorug'lik vektori deganda \vec{E} vektorni tushunamiz. Magnit tebranishlari elektr tebranishlariga nisbatan qanday oriyentirlanganligini bilamiz. Shu sababli \vec{E} vektori ustida olib borilgan mulohazalarning barchasi magnit tebranishlari uchun ham o'rinli bo'ladi.

Faraz qilaylik, S_1 va S_2 yorug'lik manbalari o'zaro kogerent bo'lsin. Bu holda har bir manbadan tarqalayotgan to'lqin tenglamalari uchun:

$$E_1 = E_{01} \cos \varphi_1 = E_{01} \cos \omega \left(t - \frac{l_1}{v} \right), \quad (71)$$

$$E_2 = E_{02} \cos \varphi_2 = E_{02} \cos \omega \left(t - \frac{l_2}{v} \right) \quad (72)$$

ifodalar o'rinli bo'ladi, bunda: l_1 va l_2 — yorug'lik to'lqinlarining t vaqtda o'tgan optik yo'llari (113- rasm); v — berilgan muhitda yorug'likning tarqalish tezligi.



113- rasm.

Yorug'lik to'liqlari yo'liga E ekranni joylashtiramiz. Muhitning ekran sirtida yotgan biror M nuqtasida yorug'lik to'liqlari ustma-ust tushib interferensiyalanadi. Superpozitsiya prinsipiga ko'ra bu nuqtada yig'indi elektr maydon kuchlanganlik vektori $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$ bo'ladi (114- rasm). Kosinuslar teoremasiga binoan yig'indi tebranishlar amplitudasi:

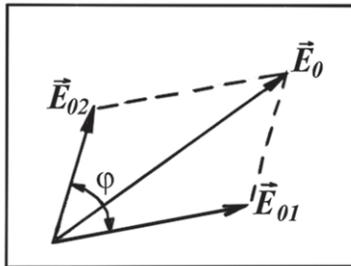
$$E_0^2 = E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2E_{01}E_{02} \cos \varphi \quad (73)$$

ifodadan aniqlanadi, bunda:

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \omega \left(t - \frac{l_1}{v} \right) - \omega \left(t - \frac{l_2}{v} \right) = \omega \left(\frac{l_2 - l_1}{v} \right) = \text{const} \quad (74)$$

fazalar farqi, $\Delta l = l_2 - l_1$ to'liqlarning optik yo'llari ayirmasi (113-rasmga qarang). Demak, to'liqlarning fazalar farqi quyidagicha bo'ladi:

$$\varphi = \omega \frac{(l_2 - l_1)}{v} = \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{\Delta l}{v} = 2\pi \frac{\Delta l}{\lambda}. \quad (75)$$



114- rasm.

Yorug'lik oqimi zichligining vaqt bo'yicha o'rtacha qiymati, ya'ni to'lqinning tarqalish yo'nalishiga perpendikulyar maydonchanning yuza birligi orqali o'tadigan yorug'lik oqimining vaqt bo'yicha o'rtacha qiymati fazoning berilgan nuqtasidagi yorug'lik intensivligi deb yuritiladi. Yorug'lik intensivligi I harfi bilan belgilanadi. Intensivlik yorug'lik to'lqin amplitudasining kvadratiga proporsional bo'ladi:

$$I \sim E^2. \quad (76)$$

Bu holni va (75) ni e'tiborga olsak, (73) ifodani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$I = I_1 + I_2 + 2I_1I_2 \cos 2\pi \frac{\Delta l}{\lambda}. \quad (77)$$

Bunda: I — natijaviy yorug'lik intensivligi, I_1 va I_2 lar mos ravishda birinchi va ikkinchi manbalardan kelayotgan yorug'lik intensivliklari.

(77) dan ko'rinib turibdiki, fazoning qaysi nuqtalari uchun $\cos 2\pi \frac{\Delta l}{\lambda} > 0$ bo'lsa, o'sha joylarda $I > (I_1 + I_2)$ bo'ladi; qaysi nuqtalarda

$\cos 2\pi \frac{\Delta l}{\lambda} < 0$ bo'lsa, o'sha joylarda $I < (I_1 + I_2)$ bo'ladi.

Shunday qilib, kogerent yorug'lik to'lqinlari ustma-ust tushganda yorug'lik oqimining fazoda qayta taqsimlanishi ro'y beradi, natijada fazoning ba'zi joylarida intensivlikning maksimumlari, boshqa joylarida minimumlari vujudga keladi, yorug'likning interferensiyasi kuzatiladi.

(77) formulani tahlil qilaylik.

1. Agar $\cos 2\pi \frac{\Delta l}{\lambda} = 1$ bo'lsa, u vaqtda:

$$I = I_1 + I_2 + 2I_1I_2, \quad (78)$$

$I_1 = I_2$ bo'lgan xususiy holda esa $I = 4I_1$ bo'ladi, ya'ni M nuqtada intensivlik maksimal qiymatga erishadi. Bu hol:

$$2\pi \frac{\Delta l}{\lambda} = 2k\pi, \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots)$$

bo'lgan vaqtda amalga oshadi. Bu ifodadan to'lqinlarning optik yo'llarining farqi:

$$\Delta l = k\lambda = 2k \frac{\lambda}{2}, (k = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (79)$$

ekanligi kelib chiqadi. (79) ifoda interferensiyaning **maksimumlik sharti** deb ataladi va quyidagicha ta'riflanadi: *agar to'liqlar ustma-ust tushgan nuqtada optik yo'llar farqi to'liq uzunliklarining butun son marta yoki yarim to'liq uzunliklarining juft son marta olinganiga teng bo'lsa, intensivlik maksimal bo'ladi.*

2. Agar $\cos 2\pi \frac{\Delta l}{\lambda} = -1$ bo'lsa, u vaqtda:

$$I = I_1 + I_2 - 2I_1 I_2.$$

$I_1 = I_2$ bo'lgan xususiy holda $I = 0$ bo'ladi. Bu hol:

$$2\pi = \frac{\Delta l}{\lambda} = (2k + 1)\pi, \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (80)$$

bo'lgan vaqtda amalga oshadi. Binobarin, yorug'lik to'liqlarining optik yo'llarining farqi:

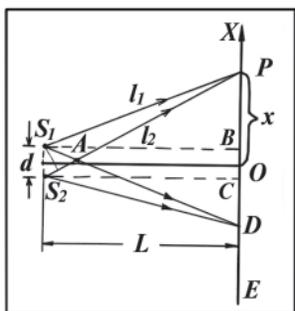
$$\Delta l = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, (k = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (81)$$

ekanligi kelib chiqadi. (81) ifoda interferensiyaning **minimumlik shartini** aniqlaydi. Demak, *agar to'liqlar ustma-ust tushgan nuqtada optik yo'llarning farqi yarim to'liq uzunliklarining toq son marta olinganiga teng bo'lsa, intensivlik minimal qiymatga erishadi.*

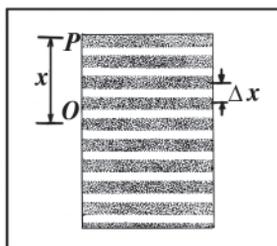
Ekranning M nuqtadan tashqari barcha nuqtalari uchun ham (79) maksimumlik va (81) minimumlik shartlari o'rinli bo'ldi (chunki M nuqta ixtiyoriy tanlangan).

40- §. Interferension yo'llar

Yuqoridagi paragrafda yorug'likning kogerent manbalari sifatida nuqtaviy yorug'lik manbalaridan foydalandik. Endi kogerent manbalar sifatida o'zaro parallel joylashgan S_1 va S_2 tor yorug' tirqishlardan foydalanaylik (115- rasm). Tirqishlar chizma tekisligiga perpendikulyar joylashgan. Manbalar yotgan tekislikka parallel qilib E ekranni (uni ham chizma tekisligiga perpendikulyar) joylashtiraylik. Manbalar orasidagi masofa d , manbalar o'rtasidan ekrangacha bo'lgan masofa L bo'lsin. Ekran bo'yicha X o'qini yo'naltiraylik. S_1 va S_2 manbalardan kelayotgan nurlar ekranning biror P nuqtasida ustma-ust tushadi va interferensiyalanadi. Shu P nuqtagacha bo'lgan



115- rasm.



116- rasm.

OP masofani x bilan belgilaylik. Ekraning boshqa barcha nuqtalariga ham kogerent manbalardan yorug‘lik tushadi va o‘zaro interferensiyalanadi. Ekranida qanday manzara hosil bo‘lishini ko‘rib chiqaylik.

Agar nurlarning Δl optik yo‘l ayirmasi maksimumlik shartini qanoatlantirsa, ekraning shu nuqtasi maksimal yoritilgan bo‘ladi; minimumlik shartini qanoatlantirsa, shu nuqta minimal yoritilgan (qorong‘i) bo‘ladi. S_1 va S_2 lar monoxromatik yorug‘lik manbalari bo‘lsa, maksimumlik sharti qanoatlantirilgan nuqtalar to‘plami rangli (qizil, yashil, sariq va hokazolar) yorug‘ yo‘llarni hosil qiladi, minimumlik sharti qanoatlantirilgan nuqtalar to‘plami qorong‘i yo‘llarni hosil qiladi. Natijada ekranida yorug‘ tirqish (manba)larga nisbatan parallel bo‘lgan va bir-biri bilan navbatlashib keladigan yorug‘ va qorong‘i yo‘llardan iborat **interferension manzara** kuzatiladi (116- rasm). Interferension yo‘llar O ekran markaziga nisbatan simmetrik joylashgan. Manbalardan tarqalayotgan kogerent to‘lqinlarning ustma-ust tushgan APD fazo sohasi **interferension maydon** deyiladi (115- rasmga qarang).

S_1 va S_2 kogerent manbalardan baravar uzoqlikdagi O nuqtadan interferension yo‘llargacha bo‘lgan x masofani aniqlaylik.

To‘g‘ri burchakli S_1PB va S_2PC uchburchaklardan:

$$l_1^2 = L^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2; \quad l_2^2 = L^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2;$$

bundan: $l_2^2 - l_1^2 = 2xd$ yoki $(l_2 - l_1)(l_2 + l_1) = 2xd$.

Biroq: $l_2 - l_1 = \Delta l$, $l_2 + l_1 \approx 2L$ bo‘lgani uchun: $\Delta l \cdot 2L = 2xd$ va, demak:

$$x = \frac{\Delta l \cdot L}{d}. \quad (82)$$

(79) va (81) formulalarni nazarga olib, yorug‘ yo‘llar O nuqtadan:

$$x = k \frac{\lambda L}{d}, \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (83)$$

masofalarda, qorong‘i yo‘llar esa:

$$x = (2k + 1) \frac{\lambda L}{2d}, \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (84)$$

masofalarda hosil bo‘lishini aniqlaymiz. $k=0$ ga tegishli maksimum O nuqtadan o‘tadi va **markaziy maksimum** deb yuritiladi (116-rasmga qarang).

Qo‘shni maksimumlar yoki minimumlar orasidagi masofa quyidagi ifodaga teng bo‘ladi:

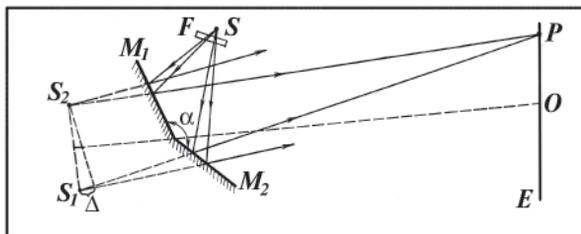
$$\Delta x = x_{k+1} - x_k = (k + 1) \frac{\lambda L}{d} - k \frac{\lambda L}{d} = \frac{\lambda L}{d}. \quad (85)$$

(85) dan ko‘rinadiki, Δx masofa d ga teskari proporsional, shu sababli aniq interferensiyalar manzarani kuzatish (ya‘ni, interferensiyalar yo‘llarni bir-biridan aniq ajratib ko‘rish) uchun bir-biridan mumkin qadar kichik masofada joylashgan yorug‘lik manbalaridan foydalanish lozim ($d \ll L$).

Agar S_1 va S_2 manbalar murakkab yorug‘lik (oq yorug‘lik) manbalar bo‘lsa, u holda hamma yorug‘lik yo‘llar kamalak rangiga ega bo‘ladi. Buni (79) va (81) shartlar λ ga bog‘liqligi bilan tushuntirish mumkin. Haqiqatan ham interferensiyalar maksimumlar har bir to‘lqin uzunligi uchun bir-biriga nisbatan siljigan bo‘ladi.

41- §. Yorug‘lik interferensiyasini kuzatish usullari

Yorug‘lik sochayotgan har qanday ikki jism (masalan, ikki elektr lampochkasi) yorug‘likning kogerent manbalar bo‘la olmaydi, chunki yorug‘lik sochayotgan jismdan chiqayotgan (masalan, elektr lampasining tolasidan chiqayotgan) yorug‘lik jismning alohida zarralari (atomlari va molekulari) nurlayotgan ko‘plab elektromagnit to‘lqinlardan iboratdir. Bu zarralarning nurlanish sharoitlari juda tez va tartibsiz o‘zgarib turadi. Yorug‘lik sochayotgan ikki jism yorug‘likning kogerent manbalar bo‘lishi uchun birinchi jismning barcha zarralari chiqarayotgan to‘lqinlar ikkinchi jismning barcha zarralari chiqarayotgan to‘lqinlardan faza jihatidan hamma vaqt ayni bir kattalikka farq qilishi kerak. Amalda bunday holning bo‘lishi ehtimoldan juda yiroq. Shuning uchun kogerent manbalar sun‘iy yo‘l bilan hosil qilinadi: bir manbadan chiqayotgan yorug‘lik «ikkiga ajratiladi».

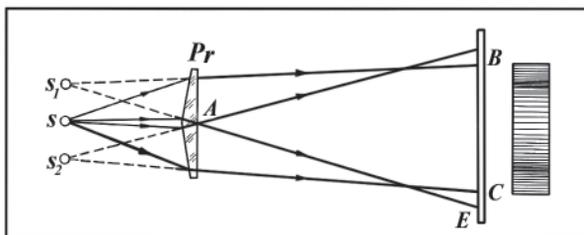


117- rasm.

Interferension manzarani hosil qilishning ba'zi usullari bilan tanishib chiqaylik.

1. Frenel ko'zgusi yordamida yorug'lik interferensiyasini kuza-tish. Frenel ko'zgulari bir-biriga 180° ga yaqin burchak ostida o'rnatilgan ikkita yassi ko'zgdan iborat sistemadir (117- rasm). Kuchli S yorug'lik manbayidan chiqayotgan oq yorug'likni F qizil shisha — yorug'lik filtri orqali o'tkazamiz (filtr sifatida ixtiyoriy boshqa rangli shisha olish mumkin) va monoxromatik yorug'likni (misolimizda qizil yorug'likni) M_1 va M_2 yassi ko'zgularga tushiramiz. S manbadan kelayotgan hamda M_1 va M_2 ko'zgulardan qaytayotgan to'lqinlar E ekranning P nuqtasida turgan kuzatuvchiga S_1 va S_2 manbalardan kelayotgandek tuyuladi. Rasmda S_1 va S_2 lar S manbaning M_1 va M_2 ko'zgulardagi mavhum tasvirlari ekanligi ko'rinib turibdi, ular kogerent manbalar vazifasini o'taydi. Maksimum yoki minimumlik shartlariga ko'ra agar nurlarning yo'l ayirmasiga to'lqinlarning butun soni yoki yarim to'lqinlarning juft soni joylashsa, u holda P nuqtada yorug'likning maksimumi (yorug' dog') hosil bo'ladi. Agar nurlar yo'lining ayirmasiga yarim to'lqinlarning toq soni joylashsa, u holda P nuqtada yorug'likning minimumi (qorong'ilik) hosil bo'ladi. Ekranning P nuqtadan tashqari barcha nuqtalari uchun ham maksimumlik va minimumlik shartlari xuddi shunday bo'ladi. Yorug'likning S_1 va S_2 ikki kogerent manbalaridan ekranga kelayotgan yorug'lik to'lqinlari interferensiyalashib, yorug' (bizning tajribada qizil) va qorong'i yo'llarning navbatlashib joylashishidan iborat interferension manzarani hosil qiladi (116-rasmga qarang).

Ko'zgularni navbat bilan sariq, yashil, ko'k va boshqa yorug'lik bilan yoritib, biz ekranda navbatma-navbat joylashadigan sariq va qora, so'ngra yashil va qora, nihoyat, ko'k va qora yo'llarni hosil qilamiz. Tajribaning ko'rsatishicha, qo'shilgan to'lqinlar maksimum-



118- rasm.

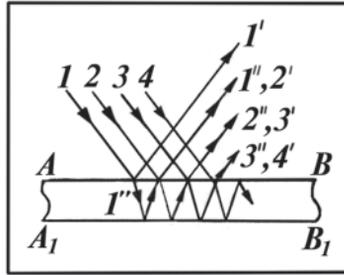
lari va minimumlarining o‘rinlari yorug‘likning rangiga qarab o‘zgarar ekan. Masalan, qizil yorug‘lik tushirilganda yorug‘ va qora yo‘llarning kengligi eng katta, binafsha yorug‘lik tushirilganda yorug‘ va qora yo‘llarning kengligi eng kichik bo‘ladi. Bu esa turli rangdagi yorug‘lik to‘lqinlarining uzunligi turlicha bo‘lishini ko‘rsatadi.

Shuni qayd qilish kerakki, qora yo‘llarning hosil bo‘lishi energiyaning saqlanish qonuniga zid kelmaydi, chunki bunda yorug‘lik energiyasi yo‘q bo‘lmaydi, balki ekran bo‘ylab taqsimlanishi o‘zgaradi. Agar qora yo‘llarda yoritilganlik ikki kogerent yorug‘lik manbayidan tekis yoritilgandagidan kamroq bo‘lsa, buning evaziga yorug‘ yo‘llarda yoritilganlik tekis yoritilgandagidan ko‘proq bo‘ladi, chunki ekranga tushayotgan yorug‘lik oqimi o‘zgarishsiz qoladi.

2. Frenel biprizmasi yordamida yorug‘lik interferensiyasini kuzatish. Frenel biprizmasi Pr sindirish burchaklari juda kichik bo‘lgan va o‘zlarining asoslari bilan qo‘shilgan ikki prizmadan iboratdir (118- rasm). Biprizmaning har bir yarmi yorug‘likni o‘zining asosiga qarab sindirgani uchun S manbadan kelayotgan nurlar dastasi ikkiga ajraladi va ABC sohada ustma-ust tushib bir-biri bilan interferensiyalanadi. Agar shu nurlar yo‘liga E ekran joylashtirilsa, uning BC qismida interferension manzara kuzatiladi. Ekraning boshqa qismlari esa bir tekis yoritiladi.

42-§. Yupqa pardalarda yorug‘lik interferensiyasi

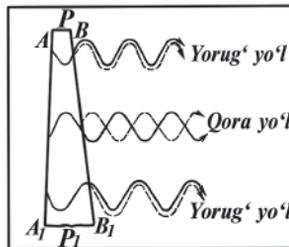
Yorug‘lik interferensiyasini, masalan, yupqa pardalarda ham kuzatish mumkin. Masalan, suv sirtiga to‘kilgan kerosin yoki neftning yupqa pardasidagi kamalak ranglarining tovlanishiga, havoga uchirilgan sovun pufagi ranglarning barcha turlari bilan jilolanishiga yorug‘likning interferensiyasi sababdir.



119- rasm.

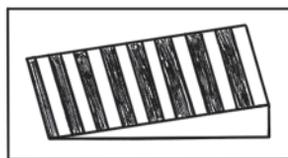
Ingliz olimi T.Yung yupqa pardalarning har xil rangda tovlanishi biri pardaning tashqi AB yuzidan, ikkinchisi esa ichki A_1B_1 yuzidan qaytuvchi to‘lqinlarning qo‘shilishi natijasida ro‘y beradi, deb tushuntiradi (119-rasm). Bunda to‘lqinlar bir-birini interferensiyalaydi va pardaning qalinligi hamda to‘lqinning uzunligi qanday bo‘lishiga qarab yorug‘likni kuchaytiradi yoki zaiflashtiradi.

Shaffof ponada yorug‘lik interferensiyasini ko‘rib chiqaylik. Agar simdan yasalgan ramkani sovunli suvga botirib olsak, ramkaga yupqa sovun pardasi qoplanib qoladi. Pardani vertikal tutsak, sovun eritmasining og‘irligi ta‘sirida parda yuqorida yupqaroq, pastda esa qalinroq bo‘lgan ponasimon shaklni oladi. Bunday pardaga yo‘naltirilgan yorug‘lik nurlari amalda ikkiga ajraladi: ulardan biri yorug‘lik oqimining bir qismi pardaning oldingi BB_1 sirtidan, ikkinchisi esa yorug‘lik oqimining qolgan qismi pardaning orqa AA_1 sirtidan qaytishidan hosil bo‘ladi (120- rasmdagi PP_1 soha sovun pardasi bir qismining ko‘ndalang kesimidir). Pardani monoxromatik (masalan, qizil) yorug‘likning parallel dastasi bilan yoritamiz (rasmda pardaga tushirilayotgan yorug‘lik ko‘rsatilmagan). Nurlar pardaning AA_1 va BB_1 qatlamlaridan qaytishida qatlamning qalinligiga va yorug‘lik to‘lqinining uzunligiga bog‘liq bo‘lgan yo‘l ayirmasini hosil qiladi. Nurlar ko‘zga



120- rasm.

tushgach, koʻz gavhari ularni bir nuqtaga keltiradi, buning natijasida interferensiya manzarasi kuzatiladi. Parda yuqoridan pastga tobora qalinlashib borgani uchun toʻlqinlar yoʻlining farqi ham navbatma-navbat maʼlum joylarda yarim toʻlqinlarning juft soniga, maʼlum joylarda yarim toʻlqinlarning

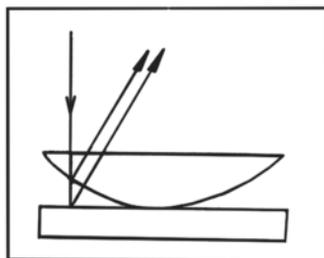


121- rasm.

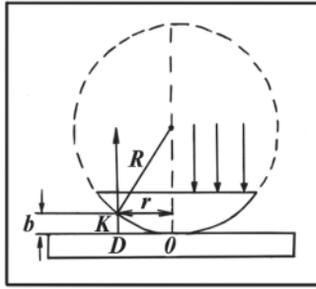
toq soniga teng boʻlib, biz pardaning sirtida pona qirrasiga parallel joylashgan qizil va qora yoʻllarni kuzatamiz (121- rasm). Sovun pardasidan suyuqlik asta-sekin oqib tushadi, vaqt oʻtishi bilan parda yoʻllarining joylashish oʻrni ham oʻzgaradi. Rangli va qora yoʻllar parda qalinligi kamaygan sari kengayib boradi. Agar parda turli yorugʻlik toʻlqinlaridan tashkil topgan murakkab oq yorugʻlik bilan yoritilsa, qizil rangli yoʻl oʻrnida turli rangli yoʻllar hosil boʻladi, biroq ularda spektral ranglarning baʼzilarigina seziladi. Bunga sabab shuki, pardaning oldingi va orqa sirtidan qaytayotgan toʻlqinlarning ajralishida uzunligi va fazalari turlicha boʻlgan toʻlqinlar qoʻshiladi. Bunda baʼzi ranglar kuchayib, baʼzilar susayadi, baʼzilar esa yoʻqolib ketadi.

43- §. Nyuton halqalari

Nyuton halqalari ponasimon pardada kuzatiladigan yorugʻlik interferensiyasiga yaqqol misol boʻla oladi. Nyuton halqalarini kuzatish uchun quyidagi optik sistemadan foydalaniladi. R egrilik radiusi yetarlicha katta ($R = 1-10$ m) boʻlgan n_1 sindirish koʻrsatkichli yassi-qavariq linzani n_2 sindirish koʻrsatkichli ($n_2 > n_1$) shisha plastinkaga qavariq sirti bilan joylashtiramiz (122- rasm). Agar biror yorugʻlik manbayidan parallel nurlar linzaning yassi sirtiga perpendikulyar tushirilsa, linza va shisha plastinka orasidagi havo qatlamidan qaytgan va oʻtgan nurlar oʻzaro kogerent boʻlib, bir-biri



122- rasm



123- rasm.

bilan interferensiyalanadi. Yorug'lik tik tushgani tufayli qaytgan yorug'likda linza bilan plastinkaning bir-biriga tegib turgan joyida qora dog' va bu dog' atrofida konsentrik yorug' va xira halqalar kuza-tiladi. Bu halqalarni **Nyuton halqalari** deb ataladi.

Nyuton halqalari yorug'lik linza-shisha plastinka sistemasidan o'tganda ham kuzatiladi, lekin bunda yorug' va xira halqalarning joylashish tartibi o'rin almashadi. Bunga asosiy sabab yorug'lik optik zichligi katta muhitdan (bizning holda shishadan) qaytganda fazasi π ga o'zgaradi, ya'ni qo'shimcha $\frac{\lambda}{2}$ ga teng yo'l ayirmasi hosil bo'ladi.

Shunday qilib, b qalinlikdagi havo qatlamiga yorug'lik tik tushganda nur ikki nurga ajraladi, ulardan biri linzaning sferik sirtidan (shisha-havo chegarasidan, masalan, K nuqtadan) qaytgan nur bo'lsa, ikkinchisi b qatlamdan o'tib shisha plastinka sirtidan (havo-shisha chegarasidan, masalan, D nuqtadan) qaytgan nur bo'ladi (123-rasm). Demak, ikkinchi nur havoning b qatlamini ikki marta bosib o'tadi. Binobarin, hosil bo'lgan optik yo'llar ayirmasi quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta l = 2bn + \frac{\lambda}{2}. \quad (86)$$

Bunda: n — qurilma turgan muhit (havo)ning sindirish ko'r-satkichi. 123- rasmdan halqa radiusi r ni topaylik. Rasmdan ko'rinib turibdiki:

$$r^2 = R^2 - (R-b)^2 = 2Rb - b^2$$

bo'ladi. $b \ll R$ ekanligini nazarda tutsak, u holda:

$$r^2=2Rb, \text{ bundan: } 2b = \frac{r^2}{R} \quad (87)$$

bo'ladi. Agar kuzatilayotgan interferension halqalar soni k ta bo'lsa, (87) dan k – halqaning radiusi uchun:

$$r_k = \sqrt{2Rb} \quad (88)$$

deb yoza olamiz. (79) maksimumlik sharti hamda (86) va (87) ifodalarni birgalikda yechib, qaytgan yorug'likda yorug' halqalarning r_{yo} radiusini topsak, u quyidagiga teng bo'ladi:

$$r_{yo} = \sqrt{(2k-1) \frac{R\lambda}{2n}}, \quad (k = 1, 2, 3, \dots) \quad (89)$$

Xuddi shuningdek, xira halqalar radiusi:

$$r_q = \sqrt{2k \frac{R\lambda}{2n}} = \sqrt{k \frac{R\lambda}{n}}, \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (90)$$

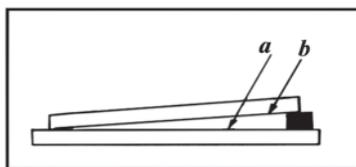
bo'ladi. O'tgan yorug'likda yorug' halqalarning radiusi (90) dan, xira halqalarning radiusi (89) dan aniqlanadi, chunki o'tgan yorug'likda yorug' va xira halqalarning joylashish tartibi qaytgan yorug'likdagiga nisbatan o'rin almashadi.

Linza sirtining egrilik radiusi R ma'lum bo'lsa, o'tgan yorug'likda xira halqalarning r_q radiusini eksperimental o'lchab, (90) formuladan yorug'likning λ to'lqin uzunligini hisoblab topish mumkin.

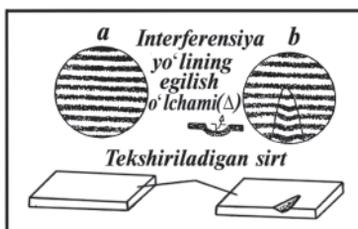
44- §. Interferensiyaning texnikada qo'llanilishi

Yorug'lik interferensiyasi amalda juda ko'p joylarda qo'llaniladi. Fizik tadqiqotlar va texnik tatbiqlar uchun qator interferension asboblari — *interferometrlar* ishlab chiqilgan. Ularning barchasi bitta prinsipga asoslangan bo'lib, faqat tuzilishi jihatidagina farq qiladi. Gap shundaki, interferension manzara interferensiyalanuvchi to'lqinlarning optik yo'llari ayirmasiga juda sezgir bo'ladi: yo'llar ayirmasining juda kichik o'zgarishlarida ham interferension yo'llar sezilarli siljib ketadi. Barcha interferometrlarning tuzilishi ana shunga asoslangan.

Interferometrlar yordamida yorug'lik to'lqinlarining uzunligini juda yuqori aniqlikda aniqlash, kichik uzunliklar va burchaklarni aniq o'lchash, shaffof muhitlarning sindirish ko'rsatkichlarini aniqlash, sirtlarning silliqlash va sayqallash sifatini baholash mumkin.



124- rasm.



125- rasm.

Interferometrlar bilan bir qatorda eng kuchli spektral asbob — **interferension spektroskop** (yoki **spektrograf**)lar yaratilganki, ular yordamida spektroskopiya (fizikaning spektrlarni o'rganuvchi sohasi)da katta muvaffaqiyatlarga erishildi.

Interferometrlarning ko'p sonidagi turlarini yaratishda amerikalik fizik A.A.Maykelson tomonidan yaratilgan mashhur Maykelson interferometri asos bo'lib xizmat qildi. Maykelson interferometri tuzilishi bilan 59- § da tanishamiz.

Sirtlarning ishlanish sifatini tekshirishni ko'raylik. Buning uchun tekshirilayotgan namunaning sirti bilan juda silliq etalon plastinka orasida pona shaklidagi yupqa havo qatlami hosil qilinadi (124-rasm). Sirtning notekisliklari tekshirilayotgan *a* sirdan va etalon plastinkaning pastki *b* yog'idan yorug'lik qaytishida hosil bo'ladigan interferensiyon yo'llarning sezilarli darajada o'zgarishiga sabab bo'ladi.

Tekshirilayotgan sirt silliq bo'lganda interferensiyon yo'llar to'g'ri chiziqli bo'ladi (125- *a* rasm). Agar sirtida birorta notekislik, masalan, chuqurliklar bo'lsa, bu chuqurliklardan qaytgan nurlar uchun yo'l ayirmasi o'zgaradi, buning natijasida notekisliklar sohasida interferensiyon yo'llar siljiydi — egrilanadi (125- *b* rasm).

Agar notekislik chuqurlik emas, balandlik-do'nglik ko'rinishida bo'lsa, u holda interferensiyon yo'llarning egilishi qarama-qarshi tomonga yo'nalgan bo'ladi. Tegishli o'lchashlarni o'tkazib, bu notekisliklar o'lchami haqida ma'lumotga ega bo'lish mumkin.

Yorug'lik interferensiyasi hodidasidan optika sanoatida **optika-ning ravshanlashuvida** keng foydalaniladi. Gap shundaki, hozirgi zamon optik asboblari, optik qurilmalar, juda ko'p optik shishalar — linzalar, prizmalar va boshqalardan tuzilgan. Yorug'lik bunday optik sistemalar orqali o'tganda juda ko'p sirtlardan, masalan, fotoobyektivlarda 10 dan ortiq, suv osti kemalarining periskoplarida esa 40 ga yaqin sirtlardan qaytadi. Yorug'lik sirtga perpendikulyar

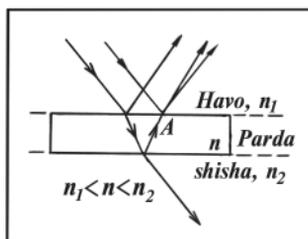
tushganda ham har bir sirtidan tushayotgan yorug'lik energiyasining 5–9 foizi qaytadi. Buning oqibatida hatto shunday bo'ladiki, asbob orqali asbobning o'ziga kelib tushadigan yorug'likning atigi 10–20 foizi o'tishi mumkin. Natijada ko'rilayotgan (yoki suratga olinayotgan) obyektlar tasvirlarining yorqinligi va kontrasti sezilarli zaiflashadi, tasvirda bliklar (oq dog'lar) hosil bo'ladi.

Optik shishalar sirtidan yorug'likning qaytishidan kelib chiqadigan bunday nuqsonlarni bartaraf qilish uchun sirtning qaytarish koeffitsiyentini kamaytirish kerak. Shundagina optik asbob hosil qiladigan tasvir aniqroq, ravshanroq chiqadi, «ravshanlashadi».

Optik asboblarni ravshanlashtirish yorug'likning yupqa pardadan qaytishidagi interferensiya asosida amalga oshiriladi. Buning uchun optik sistemalardagi linzaning har bir erkin sirtiga n sindirish ko'rsatkichi shishanikidan biroz kichikroq bo'lgan moddadan yupqa parda qoplanadi. Pardaning qalinligi shunday qilinadiki, uning ikkala sirtidan qaytgan to'lqinlar bir-birini so'ndirsin. Agar pardaning qalinligi h bo'lsa, pardaning ustki va pastki sirtlaridan qaytgan to'lqinlarning optik yo'llarining ayirmasi (ikkala nur ham optik zichligi kattaroq muhit sirtidan qaytayotganini hisobga olganda):

$$\Delta l = \left(2hn + \frac{\lambda}{2} \right) - \frac{\lambda}{2} = 2hn$$

ga teng bo'ladi (126- rasm). Δl ning qiymati yarim to'lqin uzunligiga teng bo'lgan holda (minimumlik shartiga ko'ra) ikkala to'lqin tebranishlari A nuqtada qarama-qarshi fazada bo'ladi va o'zaro interferensiyalanib bir-birini so'ndiradi. Pardaning yuqori sirtidagi barcha nuqtalar uchun ham bunday natija o'rinli bo'ladi. Demak, parda sirtidan yorug'lik qaytmaydi yoki juda kam qaytadi. Bino-barin, linza sirtidan yorug'lik qaytmasligi uchun:



126- rasm.

$$2hn = \frac{\lambda}{2}$$

bo'lishi kerak. Bundan pardaning qalinligi quyidagicha bo'ladi:

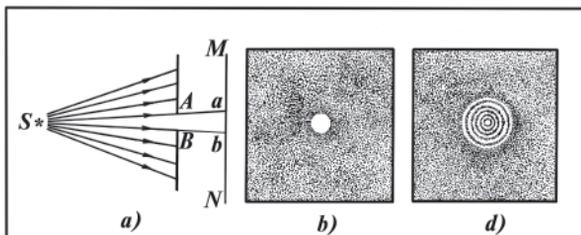
$$h = \frac{\lambda}{4n}. \quad (91)$$

Agar pardaning sindirish ko'rsatkichi n unga nur tushayotgan muhit (bizning holda havo)ning n_1 va shishaning n_2 sindirish ko'rsatkichlari ko'paytmasining kvadrat ildiziga teng, ya'ni $n = \sqrt{n_1 \cdot n_2}$ bo'lsa, juda yaxshi natijaga erishiladi, chunki bu shart bajarilganda parda sirtlaridan qaytayotgan ikkala to'lqinning intensivligi bir xil bo'ladi, ular bir-birini to'la so'ndiradi.

45- §. Yorug'lik difraksiyasi

Yorug'lik difraksiyasini kuzatish uchun maxsus sharoitlar yaratish kerak. Bunga difraksiya miqyosi to'siqning o'lchamlari bilan to'lqin uzunligi orasidagi munosabatga juda ham bog'liqligi sabab bo'ladi. To'lqin uzunligi to'siq o'lchami bilan o'lchovdosh kattaliklar bo'lganda (bunday hol ko'pincha tovush to'lqinlari uchun amalga oshadi) juda kuchli difraksiya kuzatiladi. Agar to'lqin uzunligi to'siqning o'lchamlaridan juda ham kichik bo'lsa (bu hol yorug'lik uchun o'rinli), difraksiya kuchsiz bo'lib, uni payqash qiyin bo'ladi.

Yorug'likning S manbayidan chiqayotgan monoxromatik nurlar dastasi to'siqning AB dumaloq teshigidan o'tkazilsa (127- *a* rasm), MN ekranda soya bilan cheklangan ab yorug' dog' hosil bo'ladi (127- *b* rasm). Yorug'likni to'g'ri chiziqli tarqaladi deb, yorug' dog'ning chegarasini geometrik yo'l bilan topish mumkin. AB teshik kichraytirilgan sari, dog' ham kichraya boradi, ya'ni yorug'lik nurlari dastasi torayadi. Lekin teshikning biror o'lchamidan boshlab,



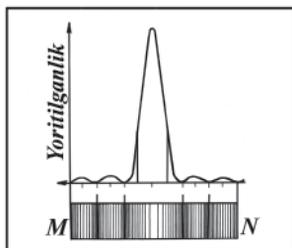
127- rasm.

uning yana kichraya borishi *ab* dog‘ni kichraytirmay, balki uni kattalashtiradi. Bunda dog‘ o‘z aniqligini yo‘qotadi, u kengaygan va notekis yoritilgan bo‘lib qoladi (127- *d* rasm). Dog‘da navbatma-navbat keladigan yorug‘ hamda qora halqa ko‘rinishidagi yo‘llar paydo bo‘ladi. Bu yo‘llar yorug‘likning to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqalishi qonuniga asoslangan geometrik yasashlardan kelib chiqishiga qaraganda ancha keng sohani egallaydi. Bu esa yorug‘lik nurlarining *AB* teshik chekkalarida egilishidan darak beradi. Yorug‘likning to‘siqlarni aylanib o‘tishi va soya sohasiga kirishi **yorug‘lik difraksiyasi** deyiladi, ekranda hosil bo‘ladigan manzara esa **difraksion manzara** deyiladi.

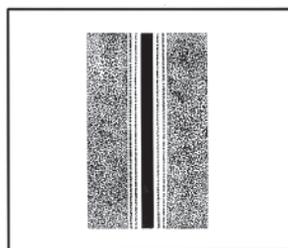
128- rasmda yorug‘likning tor tirqishdan o‘tishida kuzatiladigan difraksion manzara ko‘rsatilgan. Rasmning pastki qismida difraksiya natijasida hosil bo‘lgan yorug‘ va qora yo‘llarning joylashishi, yuqori qismida esa shu yo‘llarda yoritilganlikning taqsimlanishi keltirilgan.

Yorug‘likning tarqalish yo‘liga joylashtirilgan shaffof bo‘lmagan buyum (to‘siq) lar ham difraksiyani yuzaga keltiradi. Masalan, yorug‘lik nurlarining tor dastasi yo‘liga ingichka to‘siq (igna, soch tolasi) qo‘ysak, ekranda bir qator yorug‘ va qora yo‘llar hosil bo‘ladi (129- rasm). Oq yorug‘likdan foydalanilsa, *difraksion manzara kamalak* rangida bo‘ladi.

Yorug‘lik to‘lqinlarining uzunligi juda kichik bo‘ladi. Yorug‘likning ko‘zga ko‘rinadigan nurlarining to‘lqin uzunligi 0,8 mikrondan 0,4 mikrongacha bo‘ladi. Ko‘pchilik jismlarning o‘lchamlari yorug‘lik to‘lqinlari uzunligiga qaraganda juda kattadir, yorug‘lik to‘lqinlari bunday jismlarni aylanib o‘ta olmaydi. Bu hollarda yorug‘lik to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqaladi, deyish mumkin. Yorug‘lik to‘lqinlari yo‘lida o‘lchamlari yorug‘lik to‘lqinining uzunligi tartibida bo‘lgan jism yoki teshiklar turgan bo‘lsa, yorug‘lik to‘lqinlarining difraksiyasi sezilarli bo‘ladi.



128- rasm.



129- rasm.

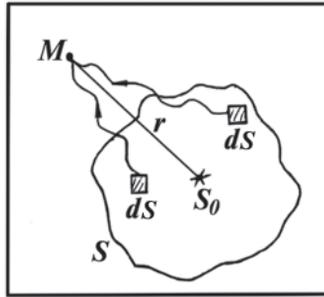
Difraksion manzaralar ko‘pincha tabiiy sharoitlarda yuzaga ke-
ladi. Masalan, tuman yoki terlagan deraza oynasi orqali
ko‘rinayotgan rangli halqalar yorug‘lik nurining juda kichik suv
tomchilaridagi difraksiyasidan iboratdir. Bunday manzarani yorug‘-
likning ingichka manbayiga (elektr lampasining tolasiga, spirt lam-
pasining ingichka alangasiga) ko‘z kipriklari orqali yoki qalin ta-
roq orqali qaraganda ham ko‘ramiz. Uzoqdagi shu‘lalanuvchi bi-
ror jismga dastro‘mol orqali qaraganda ham difraksion manzarani
ko‘ramiz. Shuni qayd qilish kerakki, difraksiyani kuzatish uchun
to‘siq o‘lchami yorug‘lik to‘lqinining uzunligi bilan taqqoslanadi-
gan darajada kichik bo‘lishi shart emas. To‘siq yorug‘lik manbayi
va kuzatuvchi (yoki ekran)dan yetarlicha uzoq masofada bo‘lsa
ham hatto katta to‘siqlar kuzatish mumkin bo‘lgan difraksion man-
zara hosil qiladilar. Bunday sharoitda difraksion manzarani ko‘rish
uchun nihoyatda quvvatli yorug‘lik manbalaridan foydalanish lozim
bo‘ladi.

46- §. Gyuygens – Frenel prinsipi

Yorug‘likning difraksiyasi o‘rta (XVII) asrda italiyalik olim
F.Grimaldi tomonidan kashf qilingan. Golland olimi X.Gyuygens
1690- yilda nashr etilgan «Yorug‘lik haqida traktat» asarida
yorug‘likning tarqalish mexanizmini tushuntirib, Gyuygens prin-
sipini ilgari surgan (2- kitob, 119- § ga qarang), lekin bu prinsip
difraksiya hodisasini faqat sifat jihatdangina tushuntiradi, miqdoriy
jihatdan tushuntira olmaydi. Bu prinsip ikkilamchi to‘lqinlarning
intensivligi, tebranish amplitudasi va fazasi, kogerentligi, nurlanish
yo‘nalishining xarakteri haqida hech qanday ma‘lumot bermaydi.
Gyuygens prinsipini to‘ldirib va uni takomillashtirib, fransuz fizigi
O.Frenel bu kamchiliklarni tuzatdi va shu tariqa ***Gyuygens – Frenel
prinsipi*** vujudga keldi.

Gyuygens – Frenel prinsipining asosida isbotsiz qabul qilingan
quyidagi muhim qoidalar yotadi:

1. Fazoning biror ixtiyoriy M nuqtasida S_0 yorug‘lik manbayi
uyg‘otayotgan tebranishlarning amplitudasini hisoblashda shu S_0
manbani unga ekvivalent bo‘lgan ikkilamchi manbalar sistemasi
bilan almashtirish mumkin. S_0 manbani o‘rab olgan, lekin kuza-
tilayotgan M nuqtani o‘z ichiga olmagan ixtiyoriy qo‘shimcha S
berk sirtning kichik dS bo‘lakchalari ikkilamchi manbalar vazifasini
o‘taydi (130- rasm).



130- rasm.

2. Ikkilamchi manbalar S_0 manba bilan va o'zaro kogerent, shuning uchun ular chiqarayotgan ikkilamchi to'lqinlar bir-biri bilan ustma-ust tushganda interferensiyalanadi. Agar S qo'shimcha sirt sifatida S_0 manbadan tarqalayotgan yorug'likning to'lqin sirti tanlab olinsa, hisoblashlar ancha osonlashadi, chunki bu holda barcha ikkilamchi manbalarning tebranishlari bir xil fazada sodir bo'ladi.

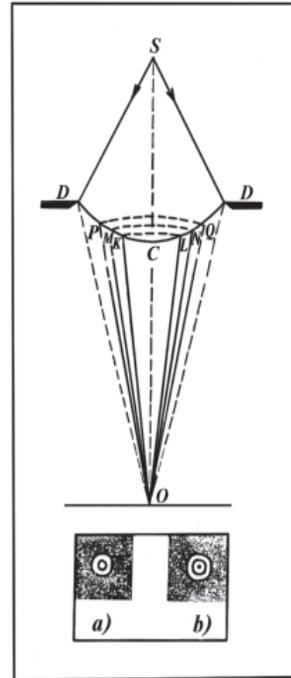
3. S_0 manbaning to'lqin sirti bilan ustma-ust tushuvchi S berk sirtning bir xil yuzali bo'lakchalarining ikkilamchi nurlanish quvvati bir xil bo'ladi.

4. Ikkilamchi manbalarning M nuqtada uyg'otadigan tebranishlar amplitudasi bo'lakchalarning dS yuzasiga to'g'ri proporsional, S_0 manbadan shu M nuqtagacha bo'lgan r masofaga teskari proporsional bo'ladi.

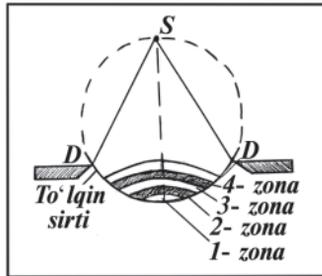
5. Agar S berk sirtning bir qismi noshaffof ekran bilan to'silgan bo'lsa, u holda ekran to'sib qolgan ikkilamchi manbalar yorug'lik chiqarmaydi, qolgan ikkilamchi manbalar esa xuddi ekran bo'lmaningandagidek yorug'lik chiqaradi.

Gyuygens – Frenel prinsipiga asoslanib yorug'lik difraksiyasi, shuningdek, yorug'likning to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalishini quyidagicha tushuntirish mumkin.

Faraz qilaylik, yorug'lik noshaffof ekraning DD dumaloq teshigiga tushayotgan bo'lsin (131- rasm). Fazoning biror O nuqtasida yoritilganlik qanday bo'lishini ko'raylik. Buning uchun O nuqtadan



131- rasm.



132- rasm.

sferik to' lqinning DCD sirti bilan kesishguncha OKL , OMN , OPQ va hokazo konusaviy sirtlarni o'tkazamiz. Konuslarning yasovchilarini shunday tanlaymizki, bunda $OL = OC + \frac{\lambda}{2}$;

$ON = OL + \frac{\lambda}{2}$; $OQ = ON + \frac{\lambda}{2}$ va hokazo bo'lsin. Konuslarning asosi DCD to' lqin sirtini shar kamarlari (halqasimon zonalar)ga ajratadi (132- rasm). Bunday shar kamarlarini **Frenel zonalari** deb ataladi. $OC \gg \lambda$ bo'lgani sababli, bu zonalarning yuzasi amalda bir xil bo'ladi.

Lekin ularning O nuqtadagi ta'siri har xil. Haqiqatan ham, birinchi zonaning biror nuqtasidan va ikkinchi zonaning unga mos nuqtasidan O nuqtagacha bo'lgan yo'llar ayirmasi $\frac{\lambda}{2}$ ga teng, binobarin, bu mos nuqtalardan nurlanayotgan to' lqinlar O nuqtaga qarama-qarshi fazada keladi va bir-birini so'ndiradi. Xuddi shuningdek, ikkinchi zonaning O nuqtadagi ta'siri uchinchi zonaning ta'sirini, uchinchi zonaning ta'sirini esa to'rtinchi zonaning ta'siri kompensatsiyalaydi va hokazo.

Agar teshikka faqat ikkita zona sig'sa, u vaqtda O nuqtada yorug'lik deyarli bo'lmaydi, chunki ikki qo'shni zonalar bir-birining ta'sirini o'zaro so'ndiradi. Yorug'likning asosiy qismi O nuqtaning atrofida taqsimlanadi. Demak, yorug' halqa bilan o'ralgan qora dog'ni ko'ramiz.

Yorug' halqadan so'ng yana xira yoritilgan halqa kuzatiladi va hokazo. Uchta zona sig'adigan teshik bo'lsa, u holda O nuqtada to'liq birinchi zona ta'siri tufayli yorug'lik bo'ladi, chunki ikkinchi va uchinchi zonalardan kelayotgan to' lqinlar bir-birining ta'sirini yo'qotadi. Bu holda yorug' markaziy nuqta qora halqa bilan o'ralgan bo'ladi, undan keyin yana yoritilganlik kuzatiladi va hokazo. Shunday qilib, noshaffof ekran ochiq qoldirgan DCD to' lqin sirtiga sig'gan

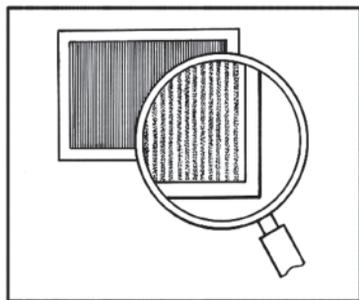
Frenel zonalarining soni toq bo'lsa, difraksion manzaraning markazida yorug' dog', uning atrofida navbatlashib kelgan xira va yorug' halqalar hosil bo'ladi (131- a rasimga qarang). Aksincha, zonalarining soni juft bo'lsa, u holda difraksion manzaraning markazida qora dog' va uning atrofida navbatlashib kelgan yorug' va xira halqalar paydo bo'ladi (131- b rasimga qarang).

Yuqorida yuritilgan mulohazalar kabi mulohazalar yuritib, barcha difraksion manzarani tushuntirish mumkin.

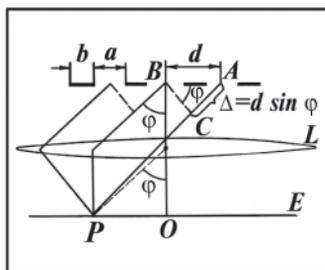
Gyuygens – Frenel prinsipi yorug'likning to'g'ri chiziq bo'yicha tarqalishini ham tushuntirib beradi. Agar yorug'likning to'lqin sirti to'la ochiq bo'lsa (hech qanday to'siqqa uchramasa), u holda unga joylashishi mumkin bo'lgan zonalarining soni cheksiz ko'p bo'ladi. Tegishli hisoblashlarning ko'rsatishicha, butun to'lqin sirtining ta'siri markaziy — birinchi zona ta'sirining yarmiga teng ekan. Markaziy zonaning o'lchamlari millimetrning ulushlari tartibida. Demak, yorug'lik S nuqtadan O nuqtaga go'yo juda ingichka to'g'ri chizikli kanal chegarasida tarqaladi, ya'ni deyarli to'g'ri chiziq bo'yicha tarqaladi.

47- §. Difraksion panjara. Difraksion spektr

Difraksiya hodisasini kuzatish uchun qo'llaniladigan qurollardan biri ***difraksion panjaradir***. Difraksion panjara shaffofmas to'siqlar bilan ajratilgan juda ko'p tor tirqishlardan iborat bo'lib, tirqishlar bir-biriga juda yaqin va parallel joylashgan bo'ladi. 133- rasmda difraksion panjaraning kattalashgan tasviri ko'rsatilgan. Qalin taroq, qush pati, kiprik va shunga o'xshash narsalarni difraksion panjara desa bo'ladi. Ko'pincha shisha plastinkaga maxsus mashina yordamida olmos keskich bilan zich joylashgan ingichka parallel



133- rasm.



134- rasm.

shtrix (chiziq)lar chizib tayyorlangan difraksion panjaralardan foydalaniladi. Shtrixlar soni 1 mm da bir necha yuzdan bir necha minggacha yetadi. Bunday panjarada shisha plastinkaning shtrix o'tkazilmagan toza (shaffof) joylari tirqish bo'ladi, shtrixlar o'tkazilgan joylari esa yorug'lik uchun shaffof bo'lmaydi.

Agar shaffof tirqishlar eni a bilan, shaffofmas oraliqlar eni b bilan belgilansa, $d = a + b$ kattalik **difraksion panjaraning davri** (yoki **doimiysi**) deb ataladi (134- rasm). Difraksion panjaraga to'lqin uzunligi λ bo'lgan yassi monoxromatik nur tushayotgan bo'lsin. Tirqishlarning har birida yorug'lik difraksiyalanadi, ya'ni tirqishlardagi ikkilamchi manbalar barcha yo'nalishlarda tarqaluvchi yorug'lik to'lqinlarini hosil qiladi.

Agar difraksion panjara orqasiga L yig'uvchi linza qo'yilsa, u holda linzaning fokal tekisligida joylashgan E ekranda difraksion manzara vujudga keladi, bu difraksiya manzarasi ikki jarayon, ya'ni yorug'likning har bir ayrim tirqishdan difraksiyasi va hamma tirqishda difraksiyalangan yorug'likning interferensiyasi natijasidir. Biroq bu manzaraning asosiy xususiyatlari ko'proq ikkinchi jarayon bilan aniqlanadi. Biz shuni tushuntirish uchun φ burchak ostida tarqaluvchi to'lqinlarning bir-birini kuchaytiradigan shartni topamiz. Qo'shni tirqishlarning mos nuqtalaridan chiqayotgan to'lqinlar orasidagi Δ yo'l ayirmasi AC kesmaning uzunligiga teng. Agar bu kesmada butun sondagi to'lqin uzunliklari yoki juft sondagi yarim to'lqin uzunliklari joylashsa, barcha tirqishlardan shu φ yo'nalishda tarqaluvchi to'lqinlar qo'shilib, bir-birini kuchaytiradi.

ABC uchburchakdan AC katetni topish mumkin. Binobarin:

$$\Delta = AC = AB \sin \varphi = d \sin \varphi.$$

Agar $\Delta = 2k \frac{\lambda}{2}$ shart bajarilsa, φ burchakka ogʻgan toʻlqinlar qoʻshilayotgan nuqtada difraksion maksimum kuzatiladi. U holda quyidagi formulani yozish mumkin:

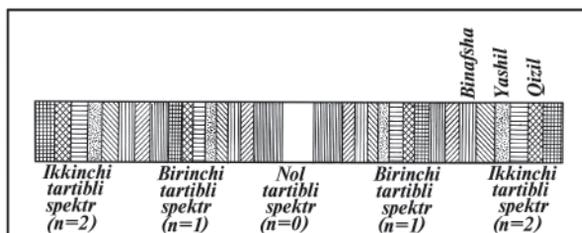
$$d \sin \varphi = 2k \frac{\lambda}{2} = k\lambda. \quad (92)$$

Bu formula difraksion panjaraning asosiy formulasi hisoblanadi. Uni maksimumlik sharti deb ham yuritiladi.

$$d \sin \varphi = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (93)$$

shart bajarilsa, φ burchak ostida tarqalayotgan toʻlqinlar qoʻshilib, difraksion minimumlarni hosil qiladi.

Shuni nazarda tutish kerakki, (92) shart qanoatlantirilganda tirqishlarning (rasm boʻyicha) qaralayotgan nuqtalaridan keluvchi toʻlqinlarga emas, balki tirqishlarning boshqa barcha nuqtalaridan keluvchi toʻlqinlar ham kuchayadi. Birinchi tirqishdagi har bir nur chiqaruvchi nuqtaga ikkinchi tirqishda d masofada turgan nur chiqaruvchi nuqta mos keladi. Shu sababli bu nuqtalardan chiqqan ikkilamchi toʻlqinlar yoʻlining ayirmasi $k\lambda$ ga teng boʻlib, bu toʻlqinlar bir-birini kuchaytiradi. Yigʻuvchi linza parallel keluvchi yorugʻlik toʻlqinlarini bir nuqtaga yigʻadi, ular ana shu nuqtada qoʻshiladi va bir-birini kuchaytiradi. (92) shartni qanoatlantiruvchi φ burchaklar (odatda φ **difraksiya burchagi** deb ataladi) ekrandagi maksimumlarning vaziyatini belgilaydi. (92) formulaga koʻra $k = 0$ ga muvofiq keladigan markaziy maksimumdan boshqa har bir maksimumning joylashish oʻrni yorugʻlik toʻlqinining uzunligiga bogʻliq boʻladi. Toʻlqin uzunligi λ qancha katta boʻlsa, $\sin \varphi$ ham shunchalik katta boʻladi, yaʼni bu toʻlqin maksimumi uchun φ difraksiya burchagi shuncha katta boʻladi. Agar difraksion panjara oq yorugʻlik bilan yoritilganda edi, har bir maksimum (markaziy maksimumdan tashqari) kamalak rangida boʻlishi va uning ichki



135- rasm.

chekyasi (markaziy maksimumga yaqin chekkasi) binafsha rang, tashqi chekkasi esa qizil rangda bo'lganligi ko'rinar edi, chunki binafsha rang eng qisqa to'lqin uzunligiga, qizil rang eng uzun to'lqin uzunlikka egadir. Maksimumning binafsha va qizil chekkalari orasida qolgan spektral ranglar yotadi (135- rasm). Shu munosabat bilan difraksiya maksimumlarini **difraksion spektrlar**, k sonini esa **spektr tartibi** deyiladi. Markaziy maksimum — nolinci tartibli spektr oqligicha qoladi, chunki (92) formulaga asosan $k = 0$ bo'lganda barcha to'lqin uzunliklar uchun difraksiya burchagi $\varphi = 0$ bo'ladi. Yuqori tartibli (katta k larga muvofiq keladigan) spektrlar bir-birini qisman bekitadi. Difraksion panjaradan foydalanib, yorug'lik to'lqinlarining uzunligini juda aniq o'lchash mumkin. (92) formulaga binoan, to'lqin uzunligi quyidagicha ifodalanadi:

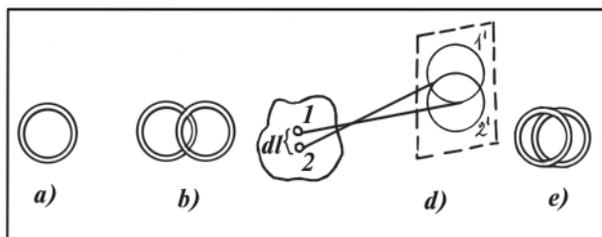
$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{k}. \quad (94)$$

Agar panjaraning d davri ma'lum bo'lsa, to'lqin uzunligini aniqlash k — maksimumga tomon yo'nalishga to'g'ri keladigan burchakni o'lchashga keltiriladi. Yorug'likning to'lqin uzunligini aniqlashning bu usuli juda sodda bo'lib, yaxshi natijalar beradi.

48- §. Optik asboblarning ajrata olish qobiliyati

Optik asboblarning buyumning bir-biriga yaqin turgan kichik detal (nuqta)larining alohida tasvirlarini berish qobiliyati asbobning **ajrata olish qobiliyati** deb ataladi. Aberratsiyalari yo'qotilgan ideal optik asbobgina buyumning har bir nuqtasini nuqta ko'rinishida tasvirleydi. Lekin amalda hatto ideal optik sistema bo'lganda ham, ya'ni unda barcha aberratsiya bartaraf etilganda ham, nuqtaviy manba doiracha shaklida tasvirlanadi. Bunga yorug'lik dastasining chegaralanganligi tufayli sodir bo'ladigan yorug'lik difraksiyasi sabab bo'ladi.

Har qanday optik asbobning obyektivida kirish qorachig'i (teshigi) bo'ladi. Obyektivning kirish qorachig'ida yorug'likning difraksiyalanishi shunga olib keladiki, kuzatilayotgan buyum nuqtalarining tasvirlari endi nuqta emas, balki xira va yorug' halqalar bilan hoshiyalangan yorug' doiracha (difraksion doiracha)lardan iborat bo'ladi (136- a rasm) va bu hol tasvirning nozik tafsilotlarini farq qilish imkoniyatini cheklaydi. Agar buyumning ko'rilayotgan nuqta (detal)lari bir-biriga yaqin turgan bo'lsa, u holda ularning tasvirlari — difraksion doirachalar biror darajada o'zaro bir-birini qoplashi mumkin (136- b rasm).



136- rasm.

Agar buyumning ikkita yaqin nuqtalari (masalan, 136- *d* rasmda *I* va *2* nuqtalar) tasvirlarining yorug' doirachalari (obyektning fokal tekisligidagi *I* va *2* doirachalar) bir-birini shu doiracha radiusi kattaligidan ortiq o'lchamda qoplamasa, u holda bu yaqin (*I* va *2*) nuqtalar tasvirlarini alohida ko'rish mumkin bo'ladi. Agar doirachalar o'z radiuslaridan kattaroq o'lchamda qoplanadigan bo'lsa (136- *e* rasm), u holda nuqtalarni alohida ko'rish mumkin bo'lmay qoladi, endi asbob bunday nuqtalarni alohida ko'rsatmaydi, bir-biridan ajrata olmaydi — optik asbobning ajrata olish qobiliyati yetmaydi.

Shu narsani qayd etish kerakki, obyektiv diametri (optik asbob kirish diametri)ni kattalashtirib borilsa, tasvirdagi difraksion buzilish kamayib boradi. Ammo obyektivning diametri ortib borganda obyektiv linzalarining nuqsonlari — aberratsiyalar (masalan, sferik aberratsiya) tufayli buzilish ham ortib boradi. Bu ikkala hol optik asboblarda yordamida buyum tafsilotlarini farq qilish imkoniyatini cheklab qo'yadi.

Buyumning ikki nuqtasini alohida ko'rish mumkin bo'lgan eng kichik dl masofa (136- *d* rasmda qarang) yoki $d\varphi$ burchak masofa **ajrata olish masofasi** deyiladi. Ajrata olish masofasiga teskari bo'lgan

$$R = \frac{1}{dl}; \quad R = \frac{1}{d\varphi} \quad (95)$$

kattalik optik asbobning ajrata olish qobiliyati yoki **ajrata olish kuchi** deyiladi.

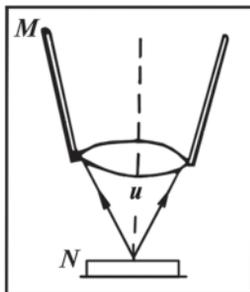
Hisoblashlarning ko'rsatishicha, ko'rish trubasi, durbin, teleskop va fotoapparatning ajrata olish qobiliyati quyidagi ifodaga teng bo'ladi:

$$R = \frac{D}{1,22 \lambda}, \quad (96)$$

bunda: D — obyektiv gardishining diametri.

Mikroskopning ajrata olish kuchi esa:

$$R = \frac{n \cdot \sin \frac{u}{2}}{0,61 \lambda}. \quad (97)$$



137- rasm.

Ifodadan aniqlanadi, bunda: n — buyum va obyektiv orasidagi muhitning sindirish ko‘rsatkichi; u — opertura burchagi, ya‘ni obyektivga tushayotgan yorug‘lik dastasining chekka nurlari hosil qilgan burchak (137- rasm: bunda M — mikroskop obyektivi; N — buyum).

Ko‘z qorachig‘ining diametri normal yoritilish vaqtida taxminan 2 mm bo‘ladi. Bu qiymatni (95) formulaga qo‘yib va $\lambda = 0,5 \cdot 10^{-3}$ mm (yashil nur) deb olib, (96) formulani e‘tiborga olgan holda, ko‘zning ajrata olish burchak masofasi uchun

quyidagi natijani olamiz:

$$d\varphi = \frac{1}{R} = \frac{1,22 \cdot \lambda}{D} = \frac{1,22 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ mm}}{2 \text{ mm}} = 0,305 \cdot 10^{-3} \text{ rad} \approx 1'.$$

Shunday qilib, ko‘zimiz ajratib qabul qilishi mumkin bo‘lgan nuqtalar orasidagi minimal burchak bir burchak minutiga teng ekan.

Takrorlash uchun savollar

1. Yorug‘likning korpuskulyar nazariyasini tushuntiring.
2. Yorug‘likning to‘lqin nazariyasini tushuntiring.
3. Yorug‘lik — elektromagnit to‘lqin deb aytishga qanday sabablar asos bo‘la oladi?
4. Yorug‘lik tezligini o‘lchash uchun Maykelson qanday qurilmadan foydalangan? Qurilmani tushuntiring.
5. Maykelson yorug‘lik tezligini qanday o‘lchagan? Tajribani tushuntiring.
6. Muhitning optik zichligi deganda nimani tushunasiz? Optik zichroq muhit qanday muhit?
7. Yorug‘lik interferensiyasini qanday sharoitlarda kuzatiladi? Interferensiyaga ta‘rif bering.
8. Yorug‘lik intensivligi qanday fizik kattalik? Ta‘rifini bering.
9. Maksimumlik va minimumlik shartlarini yozing hamda ta‘riflang.
10. Interferension yo‘llarning vaziyati qanday formuladan aniqlanadi? Kengligi-chi?
11. Monoxromatik va murakkab yorug‘likda kuzatiladigan interferension manzaralar bir-biridan qanday farq qiladi?

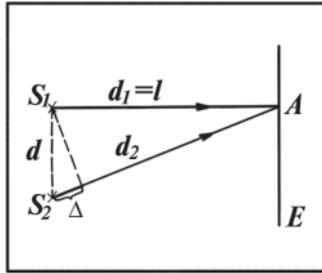
12. Frenel ko'zgusi yordamida yorug'lik interferensiyasi qanday kuzatiladi?
13. Frenel biprizmasi yordamida yorug'lik interferensiyasi qanday kuzatiladi?
14. Yupqa pardalarda kuzatiladigan interferensiyani tushuntiring.
15. Nyuton halqalari qanday qurilma yordamida kuzatiladi?
16. Nyuton halqalarining radiusi qanday formuladan hisoblab topiladi?
17. Nima uchun o'tgan va qaytgan yorug'likda kuzatiladigan Nyuton halqalarida maksimumlar hamda minimumlar bir-biri bilan o'rin almashadi?
18. Yorug'lik interferensiyasidan amalda qanday maqsadlarda foydalaniladi?
19. Interferometr qanday asbob?
20. Optikaning ravshanlashuvi qanday amalga oshiriladi?
21. Yorug'lik difraksiyasi qanday hodisa?
22. Gyuygens prinsipini tushuntiring.
23. Gyuygens-Frenel prinsipini tushuntiring.
24. Frenel zonalari qanday ajratiladi?
25. Difraksion manzara nima? Difraksion spektrchi?
26. Gyuygens-Frenel prinsipidan foydalanib yorug'likning to'g'ri chiziqli tarqalishini tushuntiring.
27. Difraksion panjara qanday asbob? Uning yordamida difraksiya qanday kuzatiladi?
28. Ekranida kuzatiladigan maksimumlarning vaziyati qanday shartdan aniqlanadi?
29. Difraksion panjaradan foydalanib, yorug'likning to'lqin uzunligini qanday aniqlash mumkin?
30. Optik asboblarning ajrata olish qobiliyati deganda nimani tushunasiz? Nima uchun bu qobiliyatni istalgancha yaxshilab bo'lmaydi?

Masala yechish namunalari

1- masala. Uzunligi $0,5 \text{ mkm}$ bo'lgan to'lqinlarning ikkita S_1 va S_2 kogerent manbalari bir-biridan 2 mm masofada turibdi. Ulardan 2 m narida manbalarni tutashtiruvchi chiziqqa parallel qilib ekran joylashtirilgan. Ekraning A nuqtasida nima kuzatiladi — yorug'likmi yoki qorong'ilikmi (138- a rasm).

Berilgan: $\lambda = 0,5 \text{ mkm} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$; $d = 2 \text{ mm} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$; $l = 2 \text{ m}$.
Topish kerak: k — ?

Yechilishi. Agar S_1 va S_2 manbalardan chiqayotgan to'lqinlar A nuqtaga yetib kelganda ularning yo'l ayirmasiga juft sonli yarim to'lqinlar joylashsa, A nuqtada yorug'lik bo'ladi va agar shu yo'l



138- a rasm.

ayirmasiga toq sonli yarim to‘lqinlar joylashsa, qorong‘ilik bo‘ladi. Shu yo‘l ayirmasi Δ ni topamiz. 138- a rasmdan:

$$\Delta = d_2 - d_1,$$

bunda: $d_1 = l$; $d_2 = \sqrt{d_1^2 + d^2} = \sqrt{l^2 + d^2}$.

Binobarin: $\Delta = \sqrt{l^2 + d^2} - l = l\sqrt{1 + \left(\frac{d}{l}\right)^2} - l$.

$\frac{d}{l} \ll 1$ bo‘lgani uchun taqribiy hisoblash formulasi (Nyuton binomi)dan foydalanib, quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$\Delta \approx l \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{d}{l} \right)^2 \right] - l = l \left(1 + \frac{d^2}{2l^2} \right) - l = \frac{d^2}{2l}.$$

Demak: $k = \frac{\Delta}{\lambda/2} = \frac{d^2}{\lambda l}$.

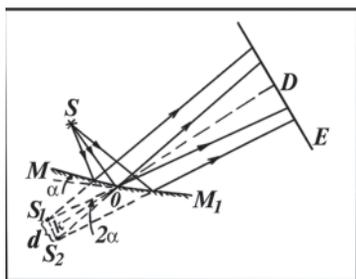
Hisoblash: $k = \frac{(2 \cdot 10^{-3})^2 \text{ m}^2}{5 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot 2 \text{ m}} = 4$.

To‘lqinlarning yo‘l ayirmasi to‘rtta yarim to‘lqin uzunligiga teng ekan, demak ekranning A nuqtasida yorug‘ dog‘ hosil bo‘ladi.

2- masala. Ekrandagi interferensiya maksimumlari orasidagi masofa 1 mm, ko‘zgular kesishish chizig‘idan ekrangacha bo‘lgan masofa 1 m, manbagacha esa 10 sm bo‘lsa, Frenel ko‘zgulari orasidagi burchakni toping. Monoxromatik yorug‘lik to‘lqin uzunligi $4,86 \cdot 10^{-7}$ m. Interferensiyalanuvchi nurlar ekranga normal tushadi.

Berilgan: $\Delta x = 1 \text{ mm} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$; $L = 1 \text{ m}$; $r = 10 \text{ sm} = 0,1 \text{ m}$; $\lambda = 4,86 \cdot 10^{-7} \text{ m}$.

Topish kerak: α — ?



138- b rasm.

Yechilishi. Frenel ko'zqusini va unda nurlarning yo'lini chizamiz (138- b rasm). Rasmda S — yorug'lik manbai, MM_1 — Frenel ko'zgulari, E — ekran. Ko'zgular orasidagi α burchakni topish kerak. Rasmdan S_1 va S_2 lar S manbaning ko'zgulardagi mavhum tasvirlari ekanligi ko'rinib turibdi, ular kogerent manbalar bo'ladi. Shuningdek, $\angle S_1OK = \angle S_2OK = \alpha$; $S_1S_2 = d$, $SO = S_1O = S_2O = r$ va $OD = l$. ΔS_1OK dan

$$\sin \alpha = \frac{d/2}{r} = \frac{d}{2r}. \quad (a)$$

d ning qiymatini
$$\Delta x = \frac{\lambda L}{d}$$

ifodadan aniqlaymiz, bunda $L = (l + r) - S_1$ va S_2 mavhum manbalar o'rtasidan ekrangacha bo'lgan masofa, demak:

$$\Delta x = \frac{(l+r)\lambda}{d}, \text{ bundan: } d = \frac{(l+r)\lambda}{\Delta x}. \quad (b)$$

(b) dan d ning qiymatini (a) ga keltirib qo'yamiz:

$$\sin \alpha = \frac{(l+r)\lambda}{2r \cdot \Delta x}, \text{ bundan: } \alpha = \sin \alpha \cdot \frac{360^\circ}{2\pi} = \frac{(l+r)\lambda}{2r \cdot \Delta x} \cdot \frac{360^\circ}{2\pi}.$$

$$\text{Hisoblash: } \alpha = \frac{(1+0,1) \text{ m} \cdot 4,86 \cdot 10^{-7} \text{ m}}{2 \cdot 0,1 \text{ m} \cdot 10^{-3} \text{ m}} \cdot \frac{360 \cdot 60'}{2 \cdot 3,14} \approx 9,2' = 9'12''.$$

3- masala. Ponasimon plastinkani natriy alangasidan ($\lambda_1 = 5,89 \cdot 10^{-7} \text{ m}$) sirtga normal tushadigan nurlar dastasi bilan yoritilganda interferensiyon yo'llar hosil bo'lib, bunda l masofada 46 ta qorong'i yo'l joylashdi. So'ngra plastinka to'lqin uzunligi $\lambda_2 = 4,99 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ bo'lgan yorug'lik bilan yoritildi, bu holda o'sha masofada qancha qorong'i yo'l joylashishini toping.

Berilgan: $\lambda_1 = 5,89 \cdot 10^{-7} \text{ m}$; $k_1 = 46$; $\lambda_2 = 4,99 \cdot 10^{-7} \text{ m}$.

Topish kerak: k_2 — ?

Yechilishi. Interferension yo‘llarning kengligi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\Delta x = \frac{L}{d} \lambda. \quad (a)$$

(a) formuladan ko‘rinadiki, yorug‘likning to‘lqin uzunligi λ qancha kichik bo‘lsa, interferension polosalarning kengligi shuncha tor bo‘ladi. l masofaga joylashgan yorug‘ va xira polosalarning soni $2k$ ta bo‘ladi. Shuning uchun:

$$l = 2k_1 \cdot \Delta x_1 \quad (b); \quad l = 2k_2 \cdot \Delta x_2 \quad (d)$$

deb yoza olamiz. Ikkinchi tomondan, (a) ga asosan:

$$\Delta x_1 = \frac{L}{d} \lambda_1 \quad \text{va} \quad \Delta x_2 = \frac{L}{d} \lambda_2$$

va bundan (b) ga asosan:

$$\Delta x_2 = \Delta x_1 \cdot \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{l}{2k_1} \cdot \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (e)$$

bo‘ladi. (e) dan Δx_2 ning ifodasini (b) ga keltirib qo‘yib, k_2 ga nisbatan yechsak, u holda

$$k_2 = \frac{l}{2 \cdot \Delta x_2} = \frac{l}{2} \cdot \frac{2k_1 \lambda_1}{l \cdot \lambda_2} = k_1 \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

kelib chiqadi.

Hisoblash:

$$k_2 = \frac{46 \cdot 5,89 \cdot 10^{-7} \text{ m}}{4,99 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 54.$$

4- masala. Kuzatish qaytgan yorug‘likda olib borilganda ikkinchi va uchinchi yorug‘ Nyuton halqalari orasidagi masofa 1 mm bo‘lsa, yigirmanchi va yigirma birinchi yorug‘ halqalar orasidagi masofani toping.

Berilgan: $k_2 = 2$; $k_3 = 3$; $r_3 - r_2 = 1 \text{ mm} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$; $k_{20} = 20$;

$k_{21} = 21$; $n = 1$.

Topish kerak: $(r_{21} - r_{20})$ — ?

Yechilishi. Kuzatish qaytgan yorug‘likda olib borilganda yorug‘ Nyuton halqalarining radiusi:

$$r_k = \sqrt{\frac{R\lambda}{2n}(2k-1)}$$

formuladan aniqlanadi, bunda: R — linzaning egrilik radiusi; λ — yorug‘likning to‘lqin uzunligi; k — halqaning tartib nomeri; n — kuzatish o‘tkazilayotgan muhitning sindirish ko‘rsatkichi. Havo uchun $n=1$. 20- va 21- halqalarning radiusi uchun:

$$r_{20} = \sqrt{\frac{R\lambda}{2 \cdot 1} (2 \cdot 20 - 1)} = 6,24 \sqrt{\frac{R\lambda}{2}}; \quad r_{21} = \sqrt{\frac{R\lambda}{2 \cdot 1} (2 \cdot 21 - 1)} = 6,40 \sqrt{\frac{R\lambda}{2}}$$

ifodalarni hosil qilamiz. U holda ularning ayirmasi quyidagicha bo‘ladi:

$$r_{21} - r_{20} = 6,40 \sqrt{\frac{R\lambda}{2}} - 6,24 \sqrt{\frac{R\lambda}{2}} = 0,16 \sqrt{\frac{R\lambda}{2}}. \quad (\text{a})$$

Xuddi shuningdek, 2- va 3- halqalarning radiuslari ayirmasi quyidagicha bo‘ladi:

$$r_3 - r_2 = \sqrt{\frac{R\lambda}{2 \cdot 1} (2 \cdot 3 - 1)} - \sqrt{\frac{R\lambda}{2 \cdot 1} (2 \cdot 2 - 1)} = 2,24 \sqrt{\frac{R\lambda}{2}} - 1,73 \sqrt{\frac{R\lambda}{2}} = 0,51 \sqrt{\frac{R\lambda}{2}}.$$

Bu keyingi munosabatdan:

$$\sqrt{\frac{R\lambda}{2}} = \frac{r_3 - r_2}{0,51} \quad (\text{b})$$

kelib chiqadi. (a) va (b) munosabatlarni birgalikda yechib, $(r_{21} - r_{20})$ ayirma uchun:

$$r_{21} - r_{20} = 0,16 \frac{r_3 - r_2}{0,51} = 0,31(r_3 - r_2)$$

ifodani hosil qilamiz.

Hisoblash: $r_{21} - r_{20} = 0,31 \cdot 1 \text{ mm} = 0,31 \text{ mm}$.

5- masala. To‘lqin uzunligi 0,45 mkm bo‘lgan binafsha yorug‘likning ikkinchi tartibli spektri uchun difraksiya burchagini aniqlang. Difraksion panjaraning 1 mm uzunligida 5 ta shtrix bor deb oling.

Berilgan: $\lambda = 0,45 \text{ mkm} = 4,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$; $k = 2$; $N_0 = 5 \text{ mm}^{-1} = 5 \cdot 10^3 \text{ m}^{-1}$.

Topish kerak: φ — ?

Yechilishi. Difraksion manzarada maksimumlarning vaziyatini belgilaydigan formuladan difraksiya burchagining sinusi:

$$\sin \varphi = \frac{k\lambda}{d}.$$

Panjaraning uzunlik birligida joylashgan shtrixlarning soni N_0 bilan panjara doimiysi orasida quyidagicha bog‘lanish bor:

$$N_0 = \frac{1}{d}.$$

U holda:

$$\sin \varphi = k\lambda N_0$$

bo'ladi, bundan $\sin \varphi = 2 \cdot 4,5 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot 5 \cdot 10^3 \text{ m}^{-1} = 4,5 \cdot 10^{-3} = 0,0045$.

Demak, $\sin \varphi = 0,0045$ ekan. Trigonometrik jadvaldan foydalanib φ ning qiymatini topamiz: $\varphi = 0^\circ 16'$.

6- masala. Difraksion panjaraga razryad trubkasidan yorug'lik dastasi normal tushadi. $\varphi = 41^\circ$ yo'nalishda $\lambda_1 = 6563 \text{ \AA}$ va $\lambda_2 = 4102$

\AA ikki spektr chizig'i bir to'g'ri chiziqda yotishi uchun difraksion panjara davri nimaga teng bo'lishi kerak?

Berilgan: $\varphi = 41^\circ$; $\lambda_1 = 6563 \text{ \AA} = 65,63 \cdot 10^{-8} \text{ m}$;

$$\lambda_2 = 4102 \text{ \AA} = 41,02 \cdot 10^{-8} \text{ m}.$$

Topish kerak: d — ?

Yechilishi. Har bir spektr chizig'i uchun difraksion panjara formulasini yozamiz:

$$d \sin \varphi = k_1 \lambda_1 \text{ va } d \sin \varphi = k_2 \lambda_2.$$

Bundan $k_1 \lambda_1 = k_2 \lambda_2$ ekanligi kelib chiqadi, binobarin:

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{65,63 \cdot 10^{-8} \text{ m}}{41,02 \cdot 10^{-8} \text{ m}} = 1,6.$$

k_1 va k_2 sonlari albatta butun bo'lishi kerakligidan, $\frac{k_2}{k_1} = 1,6$ shartni $k_1 = 5$ va $k_2 = 8$ qiymatlari qanoatlantiradi. Unda $d = \frac{k_1 \lambda_1}{\sin \varphi}$ dan d ni topish mumkin.

$$\text{Hisoblash: } d = \frac{5 \cdot 65,63 \cdot 10^{-8} \text{ m}}{\sin 41^\circ} = \frac{5 \cdot 65,63 \cdot 10^{-8}}{0,656} \text{ m} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m}.$$

Mustaqil yechish uchun masalalar

78. Nima uchun bir-biriga bog'liq bo'lmagan ikkita yorug'lik manbalarida, masalan, ikkita yulduz yoki elektr lampochkalarida yorug'lik interferensiyasi kuzatilmaydi?

79. Po‘lat buyumlar qattiq qizdirilganda rangli parda bilan qoplanadi. Hodisani qanday tushuntirish mumkin?

80. Frenel biprizmasi oq yorug‘lik bilan yoritilganda hosil bo‘lgan interferensiyon manzaraning markaziy maksimumi oq, qolgan maksimumlari tarkibida esa spektrning barcha ranglari bo‘ladi. Nima uchun shunday bo‘ladi?

81. To‘lqin uzunligi 0,5 mkm bo‘lgan ikkita kogerent nurlar dastasi bir-biri bilan uchrashadi. Ularning yo‘l ayirmasi 0,6 mm bo‘lsa, uchrashish nuqtasida nima kuzatiladi — tebranishning maksimumimi yoki minimumimi?

82. Ikki kogerent yorug‘lik manbalari orasidagi masofa 0,1 mm. Interferensiyon manzaraning o‘rta qismida interferensiyon maksimumlar orasidagi masofa 1 sm ga teng bo‘lgan. Agar yorug‘likning to‘lqin uzunligi 0,5 mkm bo‘lsa, manbalardan ekrangacha bo‘lgan masofani toping.

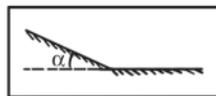
83. Agar yashil yorug‘lik filtrini ($\lambda = 5,0 \cdot 10^{-5}$ sm) qizil yorug‘lik filtri ($\lambda = 6,5 \cdot 10^{-5}$ sm)ga almashtirilsa, Yung tajribasida ekrandagi qo‘shni interferensiyon yo‘llar orasidagi masofa necha marta ortadi?

84. Bir-biriga nisbatan $\alpha = 10^\circ$ burchak ostida qo‘yilgan Frenel ko‘zgulariga (139- rasm) ularning kesishish chizig‘idan 10 sm masofada joylashgan tirqishdan yorug‘lik tushadi. Manbaning to‘lqin uzunligi 600 nm. Ko‘zgulardan qaytgan yorug‘lik ularning kesishish chizig‘idan 270 sm masofada joylashgan ekranda interferensiyon manzara hosil qiladi. Ekrandagi interferensiyon yo‘llar orasidagi masofani aniqlang.

85. Frenel ko‘zgulari bilan qilingan tajribada yorug‘lik manbayining mavhum tasvirlari o‘rtasidagi masofa 0,5 mm ga, ekrangacha bo‘lgan masofa 5 m ga teng bo‘lgan. Yashil yorug‘likda bir-birlaridan 5 mm masofada interferensiyon yo‘llar hosil bo‘lgan. Yashil yorug‘likning to‘lqin uzunligini toping.

86. Yassi-qavariq linzaning ($n=1,5$) optik kuchi 0,5 D . Linza qavariq tomoni bilan shisha plastinka ustida yotibdi. Yorug‘likning to‘lqin uzunligi 0,5 mkm. O‘tgan yorug‘likdagi yettinchi qorong‘i Nyuton halqasining radiusini toping.

87. Shisha plastinka bilan uning ustida yotgan yassi-qavariq linza oraliq‘ida suyuqlik bor. Agar qaytgan yorug‘likda kuzatilgan o‘ninchi qorong‘i Nyuton halqasining radiusi 2,1 mm bo‘lsa, suyuqlikning sindirish ko‘rsatkichini toping. Linzaning egrilik radiusi 1 m, yorug‘likning to‘lqin uzunligi 600 nm.



139- rasm.

88. Nyuton halqasi hosil qilinadigan qurilma normal tushayotgan oq yorug'lik bilan yoritilmoqda. To'rtinchi ko'k halqa ($\lambda_1 = 4 \cdot 10^{-5}$ sm) va uchinchi qizil halqa ($\lambda_2 = 6,3 \cdot 10^{-5}$ sm) radiuslarini toping. Kuzatish o'tuvchi yorug'likda olib boriladi. Linzaning egrilik radiusi 5 m.

89. Nyuton halqalarini hosil qiladigan qurilma simob yoyining normal tushayotgan yorug'ligi bilan yoritiladi. Kuzatish o'tuvchi yorug'likda olib boriladi. $\lambda_1 = 5,791 \cdot 10^{-7}$ m ga muvofiq keluvchi qaysi navbatdagi yorug' halqa $\lambda_2 = 5,77 \cdot 10^{-7}$ m chizig'iga muvofiq keluvchi keyingi yorug' halqa bilan mos keladi?

90. Difraksion yo'llarning ranglarga bo'yalib ko'rinishini qanday tushuntirish mumkin? Rangli yo'llarning joylashish tartibini chizing va tushuntirib bering.

91. Agar difraksion panjara doimiysi 2 mkm ga teng bo'lsa, natriy sariq chizig'ining ($\lambda = 5890 \text{ \AA}$) eng katta spektr tartibini toping.

92. Markaziy maksimum bilan to'rtinchi tartibli spektr orasidagi masofa 50 mm bo'lishi uchun ekranni difraksion panjaradan qanday uzoqlikda qo'yish kerak? Yorug'likning to'lqin uzunligi $5 \cdot 10^{-7}$ m. Difraksion panjara davri 0,02 mm ga teng.

93. Davri 0,02 mm bo'lgan difraksion panjara yordamida birinchi difraksion tasvir markaziy tasvirdan 3,6 sm va panjaradan 1,8 m uzoqlikda hosil bo'lgan. Yorug'lik to'lqinining uzunligini toping.

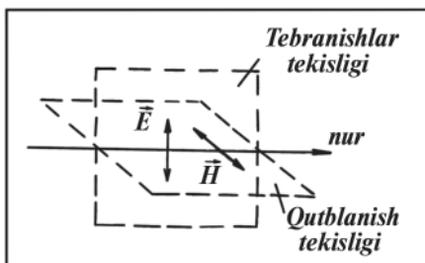
94. Yorug'lik manbayidan yorug'lik dastasi difraksion panjaraga normal tushadi. Ikkinchi tartibli spektrdagi chiziq ($\lambda = 6,7 \cdot 10^{-7}$ m) uchinchi tartibli spektrdagi qaysi chiziq ustiga tushadi?

49- §. Yorug'likning qutblanishi

Yorug'lik tarqatadigan har bir real manba tartibsiz nur sochuvchi ko'plab atomlardan tashkil topgan. Alohida atom nurlaydigan yorug'lik ikkita o'zaro perpendikulyar tebranishlarning birga tarqalishidan yuzaga keladigan elektromagnit to'lqindan iborat (10-

rasmga qarang). Bulardan birini \vec{E} vektorning tebranishlaridan hosil

bo'lgan elektr to'lqini va ikkinchisini \vec{H} vektorning tebranishlaridan hosil bo'lgan magnit to'lqini tashkil etadi. Yorug'lik ko'ndalang to'lqindir (5- § ga qarang).



140- rasm.

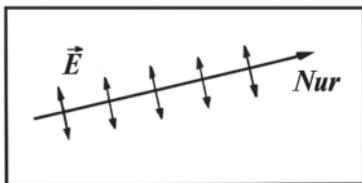
\vec{E} elektr maydon kuchlanganlik vektorining tebranishlari yotadigan tekislikni **tebranishlar tekisligi** deb, tarixiy sabablarga ko‘ra

\vec{H} magnit maydon kuchlanganlik vektorining tebranishlari yotadigan tekislikni **qutblanish tekisligi** deb ataladi (140- rasm).

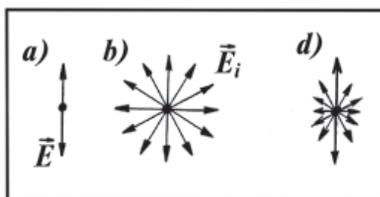
Tebranishlarining yo‘nalishi biror tarzda tartiblangan yorug‘lik **qutblangan yorug‘lik** deb ataladi. Agar yorug‘lik vektori (\vec{E} vektor, 39- § ga qarang)ning tebranishlari hamma vaqt birgina va faqat birgina tekislikda sodir bo‘lsa, bunday yorug‘likni **yassi** (yoki **to‘g‘ri chiziq-li**) **qutblangan yorug‘lik** deb ataladi. Bu ta‘rifga ko‘ra har qanday alohida atom nurlaydigan yorug‘lik yassi qutblangan yorug‘lik bo‘la oladi (141- rasm).

142- a rasmda yassi qutblangan yorug‘likning sxematik ko‘rinishi tasvirlangan, bunda yorug‘likning tarqalishi rasm tekisligiga perpendikulyar yo‘nalgan, \vec{E} vektor elektr maydon kuchlanganligining amplituda qiymatiga mos keladi. Yorug‘lik manbalari turli-tuman tebranishlar tekisligiga ega bo‘lgan yorug‘lik to‘lqinlarini chiqaradi, chunki bunday yorug‘lik juda ko‘p atomlarning bir-biri bilan bog‘liq bo‘lmagan holda istalgan vaqtda va istalgan yo‘nalishda nurlaydigan yorug‘lik to‘lqinlarning yig‘indisidan iborat bo‘ladi.

Binobarin, bu yorug‘lik qutblanmagan, uni **tabiiy yorug‘lik** deb ataladi. Har bir atomning nurlanishida tebranishlar tekisligi tasodifiy ravishda oriyentatsiyalangan bo‘lgani uchun tabiiy yorug‘lik



141- rasm.



142- rasm.

tarkibida turli yoʻnalishlardagi tebranishlar bir xil ehtimollikda sodir boʻladi, yaʼni tabiiy yorugʻlikda \vec{E} vektorning amplituda qiymatlari barcha tebranish tekisliklarida birday boʻladi. 142- b rasmda tabiiy yorugʻlikning sxematik koʻrinishi tasvirlangan, bunda \vec{E}_i vektorlarning kattaligi bir xil va ular elektr kuchlanganlik vektorlarining berilgan vaqt momentidagi oniy qiymatlariga mos keladi.

Agar yorugʻlikning tarkibida biror yoʻnalishdagi tebranishlar boshqa yoʻnalishlardagi tebranishlarga nisbatan koʻproq boʻlsa, bunday yorugʻlik **qisman qutblangan yorugʻlik** deb yuritiladi. 142- d rasmda qisman qutblangan yorugʻlikning sxematik koʻrinishi tasvirlangan. Qisman qutblangan yorugʻlikni tabiiy va yassi qutblangan yorugʻliklarning aralashmasi deb tasavvur qilish mumkin.

Tabiiy yorugʻlikdan qutblangan yorugʻlikni hosil qilish mumkin. Buning uchun \vec{E} elektr vektori muayyan aniq bir yoʻnalish boʻylab tebrana oladigan sharoitlar yaratish kerak. Bu maqsadda shaffof kristallarning anizotropiyasidan foydalaniladi. Kristall panjaralarida zarralar (atomlar, ionlar)ning joylashuvi simmetriyaga ega emasligi sababli kristallar anizotrop xossaga ega ekanligi «Molekulyar fizika» kursidan bizga maʼlum. Anizotropiya sababli yorugʻlik kristalldan oʻtganda qutblanadi. Bu jarayonning fizik mohiyatining bayoni quyidagicha.

Maksvell elektromagnit maydon nazariyasiga muvofiq, yorugʻlik toʻlqinining oʻzgaruvchan elektr maydoni taʼsirida kristall dielektrikni hosil qilgan elektr dipol (qutbli molekula yoki atom)larning burilishi roʻy beradi. Zaryadlarning bu dipollar burilishida siljishi oʻzgaruvchan qutblangan tokni hosil qiladi. Qutblangan tok joul issiqligini ajratib chiqaradi, binobarin, kristallda yorugʻlik energiyasi issiqlik energiyasiga aylanadi.

Kristall anizotropiyasi tufayli uning zarralarining mumkin boʻlgan siljishi kattaligi, demak qutblangan tokning kuchi kristall panjara-

ning turli tekisliklarida bir xil bo'lmaydi. Zarralarning ancha katta siljishlariga mos bo'lgan tekislikda o'tuvchi yorug'lik to'lqini kuchli qutblangan tokni vujudga keltiradi va shuning uchun amalda to'la yutiladi (yorug'lik energiyasi to'la issiqlik energiyasiga aylanadi). Agar yorug'lik to'lqini zarralarning kichik siljishlariga mos keluvchi tekislikda o'tsa, u hosil qilgan qutblangan tok kuchsiz bo'ladi, shuning uchun yorug'lik deyarli yutilmay kristalldan o'tadi.

Shunday qilib, turli yo'nalishlarga ega bo'lgan tabiiy yorug'likning elektr tebranishlaridan kristall orqali faqat qutblangan tokning minimal qiymatiga mos bo'lgan tekislikdagi tebranishlarga o'tadi. Natijada kristall orqali o'tgan yorug'likda elektr tebranishlar faqat bir aniq tekislikdagina bo'ladi, demak tabiiy yorug'lik qutblangan bo'lib qoladi.

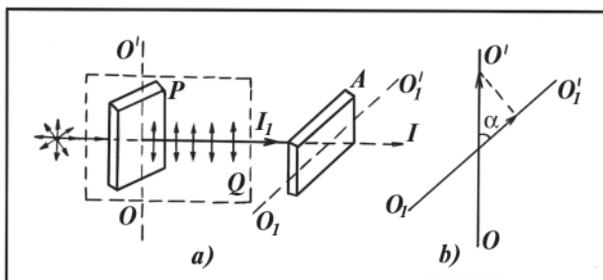
50- §. Malyus qonuni

Barcha yorug'lik manbalari, tabiiy yoki sun'iy bo'lishidan qat'iy nazar (lazerlardan tashqari), tabiiy yorug'likni chiqaradi. Qutblangan yorug'lik sun'iy yo'l bilan hosil qilinadi.

Tabiiy yorug'likni qutblab beruvchi asboblarni *polyarizator (qutblagich)lar* deb ataladi. Masalan, turmalin, island shpati kabi shaffof kristallar yorug'likni qutblaydi. Ulardan polyarizatorlar tayyorlanadi.

Har bir kristallda shunday bir (ba'zi kristallarda ikki) yo'nalish borki, bu yo'nalishga nisbatan panjara zarralari simmetrik joylashadi. Bu yo'nalishni kristallning *optik o'qi* deyiladi. Kristallning optik o'qi qandaydir bir to'g'ri chiziq emas, balki undagi ma'lum bir yo'nalishdir. Kristallda bu yo'nalishga parallel o'tkazilgan barcha to'g'ri chiziqlar kristallning optik o'qi bo'ladi. 143- a rasmda kristallning optik o'qi OO' to'g'ri chiziq bilan tasvirlangan. Optik o'q va yorug'lik nuri orqali o'tkazilgan Q' tekislikni *bosh tekislik* deb ataladi.

Turmalin kristallidan OO' optik o'qqa parallel qilib qirqib olingan P plastinka orqali tabiiy yorug'lik o'tsa, undan yassi qutblangan yorug'lik chiqadi va uning tebranishlari Q bosh kesimda yotadi (143- a rasmga qarang). Agar P plastinkani nur atrofida aylantirilsa, plastinkadan o'tgan yorug'likning intensivligi o'zgarmaydi. Agar tabiiy nurni optik o'q bo'yicha yo'naltirilsa, u holda uning barcha elektr tebranishlari optik o'qqa perpendikulyar bo'ladi. Bu holda kristall zarralarining optik o'qqa nisbatan simmetrik joylashganligi sababli barcha yo'nalishlardagi elektr tebranishlar birday sharoitda



143- rasm.

bo'ladi va ularning hammasi kristall orqali o'tadi. Shuning uchun optik o'q bo'ylab yo'nalgan tabiiy yorug'lik tabiiyligicha qoladi, qutblanmaydi. Boshqa har qanday yo'nalishda yorug'likning qutblanishi kuzatiladi.

Yorug'likning qutblanish darajasini, qutblanish tekisligining vaziyatini aniqlash uchun ham polyarizatorlardan foydalaniladi. Bu o'rinda ular **analizatorlar** deb ataladi. Yuqorida ko'rilgan turmalin plastinka qanday maqsadda ishlatilayotganligiga qarab polyarizator ham, analizator ham bo'lishi mumkin.

Endi P polyarizatoridan o'tgan yassi qutblangan yorug'likning yo'lga xuddi o'shanday turmalin plastinkaning ikkinchisini — A analizatorni joylashtiraylik (143- a rasmga qarang). P polyarizatorni qo'zg'atmay, A analizatorni nur atrofida aylantiraylik. Tajriba asosida quyidagi ma'lumotlarga ega bo'lamiz:

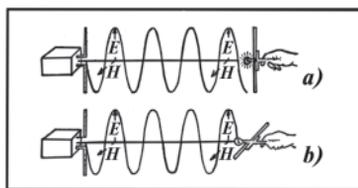
1) P polyarizator bilan A analizatorning optik o'qlari o'zaro parallel oriyentatsiyalanganda, ya'ni $\alpha = 0^\circ$ bo'lganda (143- b rasm), yorug'lik analizatoridan o'tadi, faqat kristalda yutilishi hisobiga intensivligi biroz kamayadi;

2) polyarizator bilan analizator optik o'qlari orasidagi α burchak ortib borgan sari analizatoridan o'tayotgan yorug'likning intensivligi kamayib boradi;

3) polyarizator bilan analizatorning optik o'qlari o'zaro perpendikulyar oriyentatsiyalanganda, ya'ni $\alpha = 90^\circ$ bo'lganda, analizatoridan o'tayotgan yorug'lik so'nadi, intensivligi nolga teng bo'ladi;

4) analizatorni nur atrofida burishni davom ettirilsa, undan yorug'lik yana o'ta boshlaydi, intensivligi asta-sekin ortib boradi va $\alpha = 180^\circ$ ga teng bo'lganda intensivlikning dastlabki qiymatiga erishadi.

Shu tajribaning analogi quyidagi tajribani ko'rib chiqaylik. Manba — generator yassi elektromagnit to'lqinni nurlayotgan bo'lsin (144-



144- rasm.

rasm). Analizator o'rnida to'lqin bilan rezonansga sozlangan dipol tipidagi antennadan foydalaniladi. Agar antenna-analizatorni tebranishlar tekisligida yotadigan qilib joylashtirilsa, o'tkazgich bo'yicha yo'nalgan elektr maydon kuchlanganligi unda majburiy elektr tebranishlarni — yuqori chastotali toklarni vujudga keltiradi. Bu tok lampa tolasi orqali o'tib, uni cho'g'lantiradi, lampa yonadi (144- a rasm).

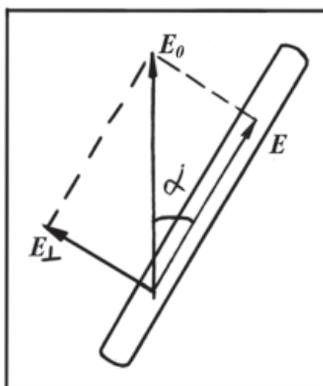
Agar antennani 90° ga bursak, u holda elektr maydon kuchlanganlik vektori o'tkazgichga perpendikulyar bo'ladi, o'tkazgichda tok vujudga kelmaydi, lampa yonmaydi (144- b rasm). Antenna-analizatorni a holatdan b holatda asta-sekin burib borilsa, u holda lampaning cho'g'lanishi a holatdagi maksimal qiymatidan b holatdagi minimal (nol) qiymatigacha asta-sekin so'nib boradi.

Antennani burishni davom ettirib, uni b holatdan a holatga o'tkazilsa, cho'g'lanish intensivligi noldan yana ortib boradi va a holatdagi dastlabki qiymatiga erishadi. Bu holning fizik mohiyatini quyidagicha tushuntirish mumkin.

Yassi to'lqinda elektr vektorining tebranishlari E_0 amplituda bilan vertikal tekislikda sodir bo'layotgan bo'lsin va dipol-analizatorning yo'nalishi tebranishlar tekisligi bilan α burchak hosil qilsin, deb faraz qilaylik (145- rasm). E_0 vektorni antenna bo'yicha va unga perpendikulyar yo'nalishda E va E_\perp ikki tashkil etuvchilarga ajrataylik. Rasmdan ko'rinadiki:

$$E = E_0 \cdot \cos \alpha; \quad E_\perp = E_0 \cdot \sin \alpha \quad (98)$$

bo'ladi. Dipol-antennada elektr maydonning faqat bir tashkil etuvchisi, aynan antenna bo'ylab yo'nalgan E vektor tok tebranishlarini yuzaga keltiradi. Yorug'likning intensivligi amplitudaning kvadratiga proporsionalligi bizga ma'lum. Shunday ekan, to'lqin intensivligi $I_0 = kE_0^2$, antennadagi tebranishlar intensivligi $I = kE^2$ deb belgilab,



145- rasm.

$$\frac{I}{I_0} = \frac{E^2}{E_0^2} \quad (99)$$

ifodani hosil qilamiz. (99) ni (98) bilan taqqoslansa, quyidagi munosabat kelib chiqadi:

$$I = I_0 \cos^2 \alpha. \quad (100)$$

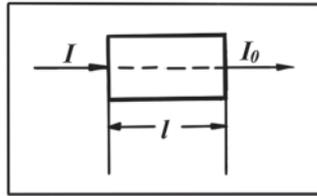
(100) formulani 1810- yilda fransuz fizigi Malyus aniqlagan va uning nomi bilan ***Malyus qonuni*** deb yuritiladi.

Shunday qilib, *analizatoridan o'tgan yorug'likning intensivligi polyarizator bilan analizator optik o'qlari orasidagi burchak kosinusining kvadratiga proporsional ekan.*

51- §. Yorug'likning yutilishi. Buger-Lambert qonuni

Yorug'lik biror moddadan o'tganda unda bir qismi yutiladi. Yutilish selektivlik xarakteriga ega, ya'ni turli to'lqin uzunliklariga tegishli yorug'lik turlicha yutiladi. Bo'yalmagan shaffof jismlarda ko'zga ko'rinadigan nurlar intervaliga tegishli yorug'lik to'lqinlari juda kam yutiladi. Masalan, qalinligi 1 sm bo'lgan shisha qatlami undan o'tayotgan ko'zga ko'rinadigan nurlarning faqat 1% ga yaqin qisminigina yutadi. O'sha shishaning o'zi ultrabinafsha va infraqizil nurlarni kuchli yutadi.

Yorug'likning moddada yutilishi hodisasini yorug'likning elektromagnit nazariyasi asosida quyidagicha tushuntirish mumkin. Ko'zga



146- rasm.

ko‘rinadigan yorug‘lik to‘lqinlarining tebranish chastotasi $10^{14} \div 10^{16}$ Hz oralig‘ida yotadi. Moddada bunday chastota bilan faqat elektronlar tebranma harakat qiladi. Elektromagnit to‘lqin moddadan o‘tganda to‘lqin energiyasining bir qismi elektronlar tebranishini uyg‘otishga sarf bo‘ladi.

Bu energiya qisman elektronlarning tebranishi natijasida yuzaga keladigan ikkilamchi to‘lqin tarzida nurlanishga aylanadi, qisman esa boshqa turdagi energiyaga, masalan, moddaning ichki energiyasining ortishiga sarf bo‘ladi.

Shunday qilib, yorug‘lik moddadan o‘tganda yutiladi, uning intensivligi kamayadi.

Tajribalar yorug‘lik moddadan o‘tayotganda uning I intensivligining modda qatlamining dl qalinligida dI kamayishi shu masofa va intensivlik kattaligiga to‘g‘ri proporsional bo‘lishini ko‘rsatadi, ya‘ni:

$$dI = -\alpha I \cdot dl, \quad (101)$$

bunda: α — **yutilish koeffitsiyenti** deb ataladigan kattalik bo‘lib, uning qiymati moddaning xususiyatiga bog‘liq bo‘ladi, minus ishora masofa ortishi bilan yorug‘lik intensivligining kamayishini ko‘rsatadi.

Yorug‘likning yutuvchi modda sirtiga tushayotgandagi intensivligini I_0 bilan, moddaning l qalinlikdagi qatlamini o‘tgan yorug‘lik intensivligini I bilan belgilaylik (146- rasm). I intensivlikni topish uchun (101) formulani o‘zgartiruvchilarga ajratib, so‘ngra integrallanadi:

$$\int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = -\alpha \int_0^l dl.$$

Bundan:

$$\ln I - \ln I_0 = -\alpha l \quad \text{yoki} \quad I = I_0 e^{-\alpha l} \quad (102)$$

hosil bo‘ladi. (102) munosabat **Buger–Lambert qonuni** deb ataladi. Bu qonunni fransuz fizigi P. Buger va nemis olimi I.G. Lambert aniqlagan. Buger–Lambert qonuni faqat yorug‘lik intensivligi uchungina emas, balki yorug‘lik kuchi va yorug‘lik oqimi uchun ham o‘rinli bo‘ladi. Bu qonunga asosan yorug‘lik intensivligi yutuvchi moddada eksponensial qonun bo‘yicha kamayar ekan.

Agar $l = \frac{1}{\alpha}$ bo‘lsa, (102) formuladan $\frac{I_0}{I} = e$ bo‘ladi. Demak, *yorug‘likning yutilish koeffitsiyenti moddadan o‘tayotgan yorug‘lik intensivligini e marta kamaytiradigan qatlam qalinligiga teskari bo‘lgan kattalik ekan.*

Shuni qayd etish lozimki, Buger-Lambert qonuni monoxromatik yorug‘lik uchun o‘rinlidir, uni barcha elektromagnit to‘lqinlar uchun qo‘llab bo‘lmaydi. Shuningdek, yutuvchi modda qatlamining bir jinsliliigi ham muhim rol o‘ynaydi, aks holda moddaning bir jinslimasliklarida yorug‘likning sochilishi ro‘y beradi, sochilgan yorug‘lik moddadan o‘tayotgan yorug‘likning intensivligini yanada kamaytiradi. Bu holni Buger–Lambert qonuni hisobga olmaydi.

Tabiatda juda rang-barang jismlar mavjud. Biroq ba‘zi jismlar bizga faqat qizil, boshqalari faqat sariq, yana boshqalari esa yashil bo‘lib ko‘rinadi. Buning sababini quyidagicha tushuntirish mumkin. Aytaylik jism oq nurlar bilan yoritilayotganda bizga qizil bo‘lib ko‘rinsin. Bu shuni ko‘rsatadiki, jism qizil nurlarni qaytarib oq nur tarkibidagi boshqa rangdagi nurlarni yutib qoladi. Oq nurlarni yashil shisha orqali o‘tkazsak, faqat yashil nurlarni ko‘ramiz. Bu hol shu shisha spektrning faqat yashil nurlarini o‘tkazishini, spektrning qolgan rangli nurlarining hammasini yutishini ko‘rsatadi.

Hamma rangli nurlarni ko‘p miqdorda qaytaradigan jism oq bo‘lib ko‘rinadi. O‘ziga tushayotgan barcha rangli nurlarni yutuvchi jism qorakuya kabi qora bo‘lib ko‘rinadi. Biroq tabiatda mutlaqo oq (yorug‘likni 100% qaytaruvchi) jismlar ham, mutlaqo qora (yorug‘likni 100% yutuvchi) jismlar ham bo‘lmaydi. Jismlarning tegishli rangli nurlarni yutish qobiliyati **tanlab yutish** deb ataladi.

Tanlab yutishga qarab jismlarning rangi turlicha bo‘ladi.

52- §. Yorug'lik dispersiyasi. Dispersion spektr

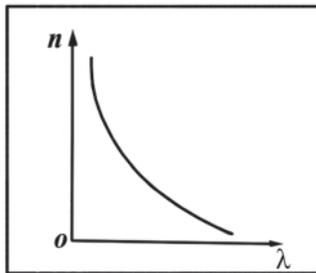
Muhit sindirish ko'rsatkichining $n = \sqrt{\epsilon\mu}$ ifodasidan uning kattaligi, asosan, shu muhitning xossalari bilan aniqlanadi. Biroq ma'lum darajada uning qiymatlari yorug'lik to'lqinining uzunligi (yoki chastotasi)ga ham bog'liqdir. Chunki turli uzunlikdagi to'lqinlar ayni shu muhitda turli tezliklar bilan tarqaladi. Shuning uchun bir muhitning o'zi turli monoxromatik (bir xil to'lqin uzunligidagi) nurlarni turlicha sindiradi.

Muhit sindirish ko'rsatkichining yorug'lik to'lqin uzunligiga bog'liqligiga **yorug'likning dispersiyasi** deyiladi. Rangsiz shaffof muhitlarda (ya'ni, yorug'likni kam yutuvchi muhitlarda) yorug'lik to'lqin uzunligi kamayishi bilan muhitning sindirish ko'rsatkichi ortadi (147- rasm). Sindirish ko'rsatkichining to'lqin uzunligiga bog'lanish egri chizig'iga **dispersiya egri chizig'i** deyiladi.

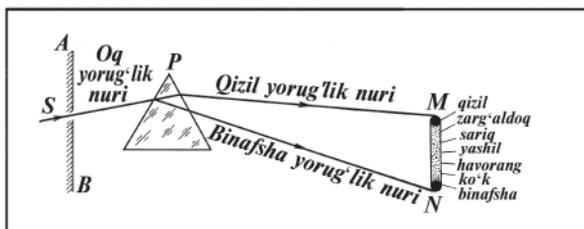
Faraz qilaylik, λ_1 uzunlikdagi yorug'lik to'lqini uchun muhitning sindirish ko'rsatkichi n_1 va λ_2 uzunlikdagi yorug'lik uchun esa muhitning sindirish ko'rsatkichi n_2 bo'lsin. Agar $\lambda_1 > \lambda_2$ bo'lsa, $n_1 < n_2$

bo'ladi. $\Delta n = n_1 - n_2$ va $\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2$ deb belgilaymiz. $\frac{\Delta n}{\Delta\lambda}$ nisbatga sindiruvchi **modda dispersiyasi** deb ataladi. Barcha shaffof moddalar uchun $\frac{\Delta n}{\Delta\lambda} < 0$ bo'ladi (chunki $\Delta\lambda > 0$ da $\Delta n < 0$ yoki aksincha, $\Delta\lambda < 0$ da $\Delta n > 0$ bo'ladi).

Yorug'lik nuri uch yoqli prizmadan o'tayotganida uning prizma asosiga tomon og'ishini bilamiz (27- § ga qarang). Ammo bu yorug'lik oq nur bo'lsa, u prizmadan o'tgandan so'ng, og'ibgina qolmay, balki prizma moddasi uni turli rangli nurlarga ham ajratadi, ya'ni oq nur prizmada monoxromatik yorug'liklarga ajraladi. Buni



147- rasm.

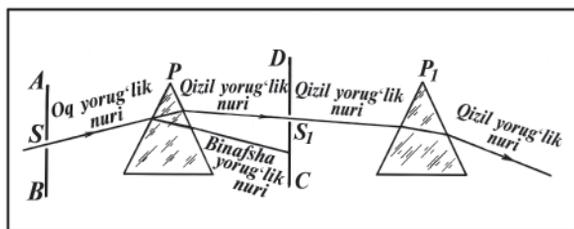


148- rasm.

birinchi marta 1672- yilda I. Nyuton optika sohasida bir qancha ajoyib tajribalar o'tkazib kashf qilgan edi. Nyuton tajribalarida yorug'lik manbai sifatida Quyosh nuri bilan yoritiladigan AB deraza yog'ochidagi kichkina dumaloq S teshik olingan edi (148- rasm). Teshik oldiga P prizma qo'yilganda devorda dumaloq yorug' dog' o'rniga ranglarning kamalakdagidek izchillik bilan keladigan turlariga ega uzunchoq ravshan MN yo'llar hosil bo'ladi. Nyuton bu rangdor yo'lni **spektr** deb atadi.

Bunday spektrda ketma-ket joylashgan yettita asosiy rang: qizil, zarg'aldoq (qirmizi qizil), sariq, yashil, havorang, ko'k, binafsha ranglar bor. Bularning har biri spektr egallagan sohaning har xil kenglikdagi qismlarini egallaydi. Spektrning eng ko'p qismini binafsha, eng oz qismini esa qizil yo'l tashkil qiladi. Bu ranglar orasida, albatta, ko'plab oraliq ranglar bo'ladi. Qizil nurlar kam og'adi (to'liq uzunligi katta), binafsha nurlar esa eng ko'p og'adi (to'liq uzunligi kichik), binobarin, qizil nurlar uchun muhitning sindirish ko'rsatkichi eng kichik, binafsha nurlar uchun esa eng kattadir.

Agar spektr hosil bo'lgan D ekranda S_1 teshik ochilib, bu teshik orqali faqat bir rangli nurlar ikkinchi P_1 prizmagaga tushirilsa, nurlar sinib, prizmaning asosiga tomon og'adi, biroq endi boshqa rangdagi tarkibiy qismlarga ajralmaydi (149- rasm).



149- rasm.

Modomiki, oq yorug‘lik rangli nurlarga (monoxromatik yorug‘liklarga) ajralar ekan, spektrning ana shu rangli nurlaridan yana oq yorug‘lik hosil qilib bo‘lmasmikan, degan savol tug‘iladi. Shunday qilish mumkin ekanligini tajriba ko‘rsatadi. Prizmadan chiqqan monoxromatik nurlarni katta yig‘uvchi linza yordamida to‘plab uning fokusida oq yo‘l hosil bo‘lganini ko‘ramiz.

Barcha rangli nurlarni qo‘shish yo‘li bilan oq yorug‘lik hosil qilish **oq yorug‘likni sintez qilish** deyiladi.

Oq yorug‘lik prizmadan o‘tganda spektr hosil bo‘lishini yorug‘lik dispersiyasiga asosan quyidagicha tushuntirish mumkin.

Bizga ma‘lumki,urning prizmada og‘ish burchagi δ prizma moddasining n absolyut sindirish ko‘rsatkichi va prizmaning sindirish burchagi θ bilan quyidagicha bog‘lanishda edi (27- § ga qarang):

$$\delta = (n - 1) \theta.$$

Berilgan prizma uchun sindirish burchagi o‘zgarmas, demak og‘ish burchagining qiymati sindirish ko‘rsatkichiga bog‘liq. Lekin sindirish ko‘rsatkichining o‘zi yorug‘likning to‘lqin uzunligi λ ga bog‘liq, binobarin, og‘ish burchagi ham to‘lqin uzunligiga bog‘liq bo‘ladi. Bundan turli to‘lqin uzunlikdagi nurlar prizmada sinib, undan turlicha og‘ish burchagi ostida chiqishini ko‘ramiz. Shu tufayli oq (murakkab) yorug‘lik prizmadan o‘tganda turli rangli — monoxromatik yorug‘likka ajraladi va spektr hosil bo‘ladi, degan xulosaga kelamiz.

Moddaning sindirish ko‘rsatkichi, yuqorida ko‘rganimizdek, to‘lqin uzunligiga bog‘liqdir. Ikkinchi tomondan sindirish ko‘rsatkichi yorug‘likning bo‘shliqdagi tezligining shu muhitdagi tezligi nisbatiga teng, ya‘ni $n = \frac{c}{v}$. Yorug‘likning bo‘shliqdagi tezligi yorug‘likning

to‘lqin uzunligiga bog‘liq emas, binobarin, barcha rangdagi yorug‘lik nurlari bo‘shliqda bir xil $v = c$ tezlik bilan tarqaladi. Shuning uchun bo‘shliqda dispersiya kuzatilmaydi.

Yorug‘lik dispersiyasi yorug‘lik prizmadan o‘tgandagina ro‘y bermay, balki yorug‘lik sinishining boshqa ko‘pgina hollarida ham ro‘y beradi. Masalan, Quyosh nuri atmosferada hosil bo‘ladigan suv tomchilarida singanida rangdor nurlarga ajraladi: kamalak paydo bo‘lishining sababi ham ana shu. Kamalakni sharsharada, fontanda va hatto mashina suv sepayotganda suv zarralarida ham kuzatish mumkin.

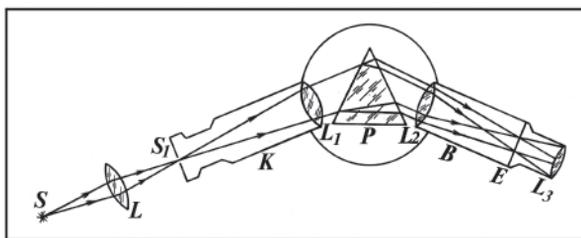
53- §. Spektral asboblari. Spektr turlari

Spektrlar hosil qilish, ularni kuzatish va o'rganish uchun spektral asboblardan foydalaniladi. Spektrlarni bevosita kuzatishga imkon beradigan spektral asboblari **spektroskop** deb ataladi. Spektrlar fotosuratini olishga yoki yozib olishga mo'ljallangan spektral asbob **spektrograf** deb ataladi. 150- *a* rasmda prizmalı spektroskopning tuzilishi, 150- *b* rasmda esa tashqi ko'rinishi ko'rsatilgan. Tekshiriladigan yorug'lik dastavval *S* manbadan *L* linza yordamida spektroskopning *K* kollimatoriga tushadi. Kollimator bir uchida tor S_1 tirqish, ikkinchi uchida esa yig'uvchi L_1 linzadan iborat trubadir. Tirqish L_1 linzaning fokal tekisligida turadi. Shu sababli tirqish orqali L_1 linzaga tushuvchi nurlar dastasi linzadan parallel nurlar dastasi tarzida chiqib, *P* prizma tushadi. Prizmada turli to'liq uzunlikdagi nurlar turlicha sinadi va spektrga ajraladi. Bu rangli nurlar *B* ko'rish trubasining L_2 yig'uvchi linzasiga tushadi. Linzaning fokal tekisligida *E* ekran joylashtirilgan. Ekran sifatida xira shisha yoki fotoplastinka olish mumkin. U vaqtda bu spektroskop spektrografga aylanadi. L_2 linza nurlarning parallel dastalarini shu ekranga fokuslaydi va ekranda spektr hosil bo'ladi. Bu spektrni L_3 okulyar orqali xuddi lupa orqali ko'rgandek ko'rish mumkin.

Yorug'likning dispersiyasi tufayli hosil qilingan spektr **dispersion spektr** deb ataladi.

Barcha spektrlarni bir-biridan juda katta farq qiladigan uchta asosiy guruhga bo'lish mumkin. Bular: 1) tutash spektrlar; 2) chiziq-chiziq spektrlar va 3) yo'l-yo'l spektrlar.

1. **Tutash spektr** ranglari biridan ikkinchisiga asta-sekin o'tib boruvchi tutash yo'l ko'rinishida bo'ladi. Cho'g'langan qattiq jismlar yoki suyuqlik tutash spektrlar chiqaradi va bu spektr jismlarning kimyoviy tarkibiga bog'liq bo'lmagan holda bir xil bo'ladi. Masalan, elektr lampaning volfram tolasi yoki erigan cho'yan nurlanishdan tutash spektr hosil qilish mumkin. Tutash spektrning xarakteri va



150- *a* rasmi

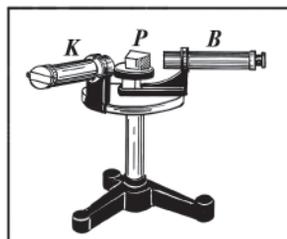
bunday spektrning mavjudligi nur chiqaruvchi ayrim atomlarning xossalari-gagina bog'liq bo'lmagan, balki atomlarning o'zaro ta'siriga ko'proq bog'liqdir.

2. **Chiziq-chiziq spektr** bir-biridan keng qora oraliqlar bilan ajralgan aniq chegaralangan qator rangli chiziqlardan iboratdir. Har bir chiziqqa bitta aniq yorug'lik to'liq uzunligi mos keladi. Bu spektrni bir-biri bilan o'zaro ta'sirlashmaydigan uyg'ongan alohida atomlar chiqaradi. Masalan, atomar holatdagi siyraklashgan gazlar chiziq-chiziq spektrni hosil qiladi. Bunday spektr spektrlarning eng asosiy turidir.

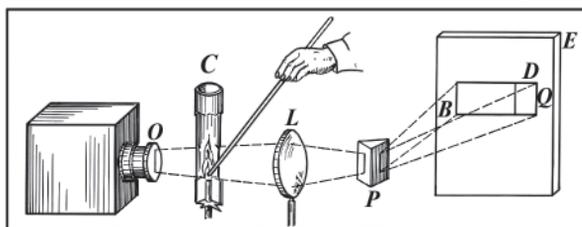
3. **Yo'l-yo'l spektr** alohida guruh bo'lib joylashgan ko'p sonli chiziqlardan tuzilgan va bitta yo'l deb qarash mumkin bo'lgan rangli yo'llardan iborat bo'ladi. Yo'l-yo'l spektrlar tarkibida atomlarga parchalanmagan molekulari bo'lgan gaz holatidagi moddalardan hosil bo'ladi. Masalan, oz siyraklangan gazlar elektr razryadi ta'sirida yo'l-yo'l spektrlar chiqaradi.

Yorug'lik chiqarayotgan har qanday jism spektr hosil qiladi, bu spektr **nurlanish spektri** deyiladi. Har xil moddalardan chiqadigan yorug'likning spektral tarkibi xilma-xil bo'ladi.

Agar tutash spektr beruvchi manbadan chiqqan yorug'lik siyraklashgan gaz yoki bug' orqali o'tkazilib, so'ngra spektroskop tirqishiga tushirilsa, hosil bo'lgan spektrda shu gazning nurlanish spektr chiziq (yoki yo'l)lariga mos keluvchi qora chiziq (yoki yo'l)lar paydo bo'ladi. Bunday tur spektrlarga **yutilish spektri** deb ataladi. 152-rasmda qizdirilgan jismdan chiqayotgan nurlarni natriy bug'idan o'tkazilganda sariq nur sohasida qora chiziqning hosil bo'lganini ko'ramiz. Ya'ni, natriy o'ziga mos keluvchi to'liq uzunlikdagi yorug'likni yutgan. Bunda qizdirilgan jismdan chiqayotgan nur *O* tirqish orqali chiqib, *C* alanga yordamida hosil bo'layotgan natriy



150- b rasm.



152- rasm.

bug‘idan o‘tib L linza orqali P prizмага tushirilganda, prizmadan o‘tgan nur E ekranda D qora chiziqni hosil qiladi.

Yutilish spektrining paydo bo‘lish hodisasini tekshirib, 1859-yilda Kirxgof uning nomi bilan ataladigan quyidagi qonunni kashf etdi: *gazlar o‘zlari qanday spektral chiziqlarni chiqarsa, xuddi shunday spektral chiziqlarni yutadi.*

Quyosh atmosferasi (fotosfera)ning yutish spektri ana shunday yutilish spektriga misol bo‘la oladi. 1817- yilda nemis olimi Fraunhofer Quyosh spektrini spektroskop yordamida o‘rganib, spektrda ko‘plab qora chiziqlar borligini kuzatadi. Bu chiziqlar ***fraunhofer chiziqlari*** deyiladi. Kirxgof bu hodisani yutilish spektrining paydo bo‘lish hodisasi bilan tushuntirib berdi.

Quyoshning nurlanish (chiqarish) spektri uning ***fotosfera*** deb ataladigan cho‘g‘langan sirtidan vujudga keladi. Quyoshni pastroq temperaturali va uncha zich bo‘lmagan gaz qobig‘i o‘rab olgan. Bu soha ***xromosfera*** deb ataladi. Quyosh nurlari xromosfera va Yer atmosferasi orqali o‘tadi. Bunda xromosfera yoki Yer atmosferasida bo‘lgan har bir kimyoviy element o‘zi chiqarishi mumkin bo‘lgan spektr nurlarini yutib qoladi. Buning natijasida ko‘p qora chiziqlardan iborat yutilish spektri hosil bo‘ladi.

54- §. Nurlanish va yutilish spektrlari. Spektral analiz

Har bir (siyraklangan gaz yoki bug‘ holatida bo‘lgan) kimyoviy elementning o‘ziga xos (spektr chiziqlarining soni, ularning rangi va bir-biriga nisbatan joylashishi bo‘yicha) nurlanish spektri bo‘ladi, ya’ni har qanday kimyoviy elementning atomlari barcha boshqa elementlar atomlarining spektriga o‘xshamaydigan spektr hosil qiladi; ular muayyan to‘lqin uzunlikdagi nurlar to‘plamini chiqaradi. Bundan moddalarning kimyoviy tarkibini aniqlashning spektral metodi — ***spektral analizda*** foydalaniladi. Bu usulda tarkibi noma’lum moddaning spektri spektrograf yordamida suratga olinadi va uni to‘lqin uzunliklari ma’lum bo‘lgan spektr bilan taqqoslanadi. Spektr chiziqlarining mos tushishi shu modda tarkibida qanday elementlar borligini bildiradi. Spektral analiz yordamida murakkab modda tarkibidagi elementning massasi 10^{-13} kg dan kam bo‘lgan taqdirda ham aniqlash mumkin. Bu usul nihoyatda sezgir usuldir. Hozirgi vaqtda barcha kimyoviy elementlar atomlarining spektrlari aniqlangan va spektrlar jadvallari tuzilgan.

55- §. Infraqizil va ultrabinafsha nurlar

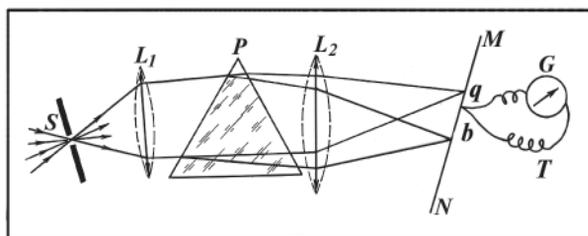
Quyosh spektrining sxemasini 153- rasmda ko'rsatilgan qurilma yordamida tekshirib ko'raylik. Sezgir G galvanometrga ulangan T termoparani olamiz. Termoparaning kavsharlangan qoraytirilgan uchini MN ekrandagi spektr bo'ylab harakatlantiramiz. Termoparaga tushayotgan yorug'lik energiyasining hammasi amalda uning kavsharlangan joyida yutiladi va metallning ichki energiyasiga aylanadi; bunda kavsharlangan joy qiziydi va termoelektr toki hosil bo'ladi. Bu tokning qiymati G galvanometr bilan o'lchanadi. Spektrning har bir qismida joylashtirilgan termoparaning isish darajasiga qarab nurlanish mavjud ekanligini va nurlanish energiyasining taqsimotini bilish mumkin. Termoparaning kavsharlangan uchini spektrning q qizil va b binafsha sohasidan tashqarisiga joylashtirib, bu sohalarda ham nurlanish mavjud ekanligini sezamiz. Bu tajriba spektrda ko'zga ko'rinadigan nurlanishdan tashqari ko'zga ko'rinmaydigan, ya'ni ko'z ilg'amaydigan nurlanish ham borligini ko'rsatadi.

Spektrning qizil qismidan yuqorida bo'ladigan nurlanish **infra-qizil**, binafsha qismidan pastdakisini esa **ultrabinafsha nurlanishlar** deb ataladi.

Infraqizil nurlar to'lqin uzunligi taxminan $7,8 \cdot 10^{-7}$ m dan $8 \cdot 10^{-6}$ m gacha bo'lgan elektromagnit to'lqinlardir. Bu nurlarni issiqlik nurlari ham deyiladi, chunki bunday nurlar qizdirilgan har qanday jismdan (hatto bu jism yorug'lik chiqarmayotganda ham) chiqadi va issiqlik ta'sirini ko'rsatadi.

Ultrabinafsha nurlar taxminan to'lqin uzunligi $3,8 \cdot 10^{-7}$ m dan $0,6 \cdot 10^{-8}$ m gacha bo'lgan elektromagnit to'lqinlardir.

Tajribalarning ko'rsatishicha, nurlarning spektral tarkibi, avvalo, nurlanuvchi jismlarning temperaturasiga bog'liq. Past temperaturalarda (masalan, 500°C dan pastda) nurlarning asosiy qismi



153-rasm

infraqizil nurlardan, yuqori temperaturalarda (masalan, 3000°C dan yuqorida) esa ultrabinafsha nurlardan iborat bo‘ladi.

Ko‘zga ko‘rinadigan nurlar optikaning qanday qonunlariga bo‘ysunsa, infraqizil va ultrabinafsha nurlar ham xuddi shu qonunlarga bo‘ysunadi.

Infraqizil nurlarning eng xarakterli xossasi ularning issiqlik ta‘siridir, shuning uchun bu nurlarning bor-yo‘qligini ularni yutuvchi jismlarning qizishiga qarab seziladi. Shu bilan birga, bu nurlar kimyoviy ta‘sir ham ko‘rsata oladi. Masalan, infraqizil nurlarni sezadigan maxsus fotoplastinkalar yordamida kechasi surat olish mumkin. Ko‘zga ko‘rinadigan nurlarga shaffof bo‘lgan shisha, suv va muzlar infraqizil nurlarni kuchli yutadi.

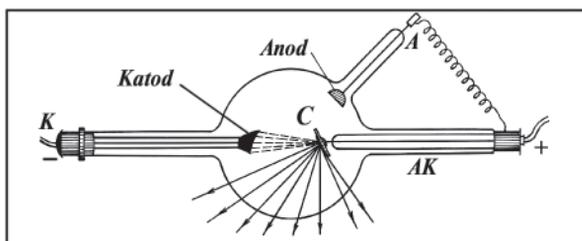
Ultrabinafsha nurlarga esa kuchli kimyoviy va biologik faollik xosdir. Shuning uchun ultrabinafsha nurlar fotoemulsiyani qoraytiradi, bo‘yoqni rangsizlantiradi va boshqalar. Ultrabinafsha nurlarning biologik ta‘siriga kishilarning Quyosh nuri ta‘siridan qorayishi misol bo‘la oladi. Shisha va suv bu nur uchun uncha shaffof emasdir, kvars ultrabinafsha nurlarni yaxshi o‘tkazadi. Shu tufayli ultrabinafsha nurlar manbayi sifatida (masalan, tibbiyotda operatsiya vaqtida sterilizatsiyaning yaxshi bo‘lishi uchun, oziq-ovqat sanoatida bakteriyalarni o‘ldirish uchun) kvars lampalardan keng foydalaniladi.

56- §. Rentgen nurlari

XIX asrning oxirida fiziklarning e‘tiborini kichik bosim sharoitida yuz beradigan gaz razryadi o‘ziga jalb etadi. Bu sharoitda gaz razryadi trubkasida juda tez uchar elektronlar oqimi hosil bo‘ladi. O‘sha vaqtda bu elektronlar oqimi ular trubka katodidan chiqishi sababli katod nurlari deb atalar edi va bu nurlarning tabiati hali yaxshi o‘rganilmagan edi.

Rentgen katod nurlarini tekshirish bilan shug‘ullanar ekan, bu nurlar (ya‘ni, elektronlar oqimi) atom og‘irligi katta bo‘lgan biror metallar, masalan, platina, volframga tushganda nurlanishning alohida bir turi vujudga kelishini topdi. Rentgen bu nurlarni **X nurlar** deb atadi. Keyinchalik X nurlar «**rentgen nurlari**» deb atala boshlandi. Bu kashfiyot 1895- yili ochildi.

Rentgen nurlari fotoplastinkaga ta‘sir etadi, havoni ionlashtiradi, ba‘zi moddalarni shu‘lallantiradi. Bu nurlarning yo‘nalishiga elektromagnit maydon hech qanday ta‘sir ko‘rsatmaydi. *Rentgen nurlari qattiq nurlar* deb ataladi, chunki ular ko‘plab moddalardan juda tez o‘ta oladi.



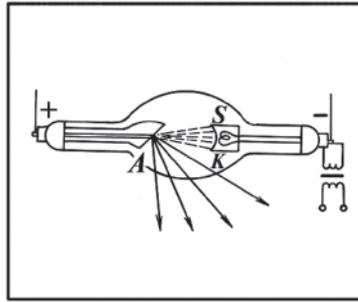
154- rasm.

Rentgen nurlari elektronlar keskin tormozlangan vaqtda chiqadigan elektromagnit to'liqlardan iboratdir. Ko'zga ko'rinuvchi spektrning yorug'lik va ultrabinafsha nurlaridan farqli o'laroq, rentgen nurlarining to'liq uzunligi ancha kichik.

Oddiy yorug'lik manbalari rentgen nurlari chiqarmaydi. Bu nurlarni hosil qilish uchun **rentgen trubkasi** deb ataluvchi maxsus asboblardan mavjud.

Rentgen trubkasining ikki xili: ion va elektron trubkalari bor. 154- rasmda ion rentgen trubkasining tuzilishi ko'rsatilgan. Ion trubka unchalik katta vakuum hosil qilinmaydigan shisha kolbadan iborat. Kolbaga uchta *A*, *K* va *AK* elektrodlar kavsharlangan. *K* katodning sirti botiq sferik ko'rinishda ishlangan. Trubka ichidagi gaz qisman bo'lsa-da, ionlashgan bo'ladi. *A* anod va *K* katod orasidagi elektr kuchlanish ta'sirida tezlashgan musbat ionlar *K* katod sirtidan elektronlarni urib chiqaradi. Katod sirtidan uchib chiqayotgan elektronlar *AK* antikatod sirtining markazidagi *C* nuqtaga tushadi. Antikatod qiyin eriydigan metallardan silindr shaklida yasalgan bo'lib, uning sirti trubkaning o'qiga nisbatan 45° burchak ostida o'rnatilgan; shu sababli hosil bo'layotgan rentgen nurlarning hammasi trubkadan tashqariga chiqadi. Antikatod o'ziga tushayotgan elektronlar hisobiga manfiy zaryadlanib qolmasligi uchun anod bilan ulangan, aks holda trubka ishlamaydi. Antikatod va anod orasida yuqori kuchlanish hosil qilinadi. Shuning uchun elektronlar antikatodga juda katta tezlik bilan yetib keladi.

155- rasmda elektron rentgen trubkaning sxemasi tasvirlangan. *A* metall anod va volfram spiraldan o'tuvchi tok bilan qizdiriladigan *K* katod yuqori vakuumli shisha ballonga kavsharlangan. Katod termoelektron emissiya hisobiga elektronlar chiqaradi. Silindr elektronlar oqimini fokuslaydi, elektronlar esa shundan keyin elektr maydonda $100\ 000$ km/s tezlikka erishib, anodga borib uriladi.



155- rasm.

Elektronlarning harakati elektr tokidan iborat bo‘ladi, ularning harakat tezligi o‘zgarganda tok o‘zgarib, bunda elektromagnit to‘lqinlar hosil bo‘ladi. Elektronlarning anodga urilib keskin tormozlanishida qisqa to‘lqinli elektromagnit nurlanishlar hosil bo‘ladi, bu nurlanish **tormozlanish rentgen nurlanishi** deyiladi. Bunda elektronlar har xil tezlanishlar bilan tormozlanadi va turli uzunlikdagi to‘lqinlar chiqadi. Shuning uchun bu nurlanishning spektri tutash spektr bo‘ladi.

Anod bilan katod orasida juda katta kuchlanishlarda tormozlanish nurlanishi bilan bir qatorda chiziq-chiziq spektrga ega bo‘lgan **xarakteristik rentgen nurlanishi** ham yuzaga keladi. Bunday nurlanishni elektronlarning zarbidan uyg‘ongan anod atomlari chiqaradi, shuning uchun chiziq-chiziq spektrning ko‘rinishi anod tayyorlangan moddaning kimyoviy tarkibiga bog‘liq bo‘ladi.

Rentgen nurlari **qattiq nurlar** bo‘lgani uchun ular ko‘plab shaffof bo‘lmagan moddalardan, masalan, yog‘och, qog‘oz, metall, suyak, muskul to‘qimasi va hokazolardan osongina o‘ta oladi. Zichligi katta bo‘lgan modda zichligi kichik bo‘lgan moddalarga nisbatan rentgen nurlarini kuchliroq yutadi. Agar rentgen nurlari modda zichligi notekis taqsimlangan obyekt orqali o‘tsa, u holda obyektning orqasida joylashtirilgan ekran (yoki fotoplastinka)da soya tasvir hosil bo‘ladi, bu tasvirda yoritilganlik obyektida moddaning taqsimlanish xarakteriga mos ravishda taqsimlangan bo‘ladi. Ana shunday xossalari tufayli rentgen nurlari tibbiyotda va texnikada jismlarning ichki tuzilishini o‘rganish, masalan, organizmdagi o‘zgarishlarni payqash (rentgenodiagnostika) va mashina detallaridagi nuqsonlarni topish (rentgenodefektoskopiya) maqsadlarida keng foydalaniladi.

Bundan tashqari rentgen nurlari davolash maqsadlarida ham ishlatiladi. Kasal hujayralar va organizm to‘qimalarining rentgen nurlariga sezgirligi juda katta. Shuning uchun rentgen nurlarining mos

dozasi bilan organizmning sogʻlom toʻqimalarini zararlamagan holda kasal toʻqimalarini yemirish yoki oʻldirish mumkin.

57- §. Gamma nurlanishlar haqida tushuncha. Elektromagnit toʻlqinlar shkalasi

Tabiatda odatdagi rentgen nurlaridan ham ancha qisqa elektromagnit toʻlqinlar mavjud. Bular radioaktiv moddalar chiqaradigan gamma-nur (γ – nur)lardir. 1896- yilda tabiiy radioaktivlik hodisasi kashf etilgandan soʻng gamma nurlarning mavjudligi aniqlandi. Gamma-nurlar tabiati rentgen nurlari bilan bir xil boʻlib, lekin ulardan qattiqligi ortiq boʻlishi jihatidan farq qiladi. Gamma-nurlarning kiruvchanlik qobiliyati eng kattadir. Masalan, ular qalinligi 1 sm boʻlgan qoʻrgʻoshin qatlamidan bemalol oʻtib ketaveradi. Gamma-nurlarning toʻlqin uzunligi juda qisqa boʻlib, 10^{-8} sm dan 10^{-11} sm gacha oraliqda yotadi.

Shunday qilib, radiotoʻlqinlar, infraqizil nurlar, yorugʻlik toʻlqinlari, ultrabinafsha nurlar, rentgen nurlari va gamma nurlar bilan tanishib chiqib, elektromagnit toʻlqinlarning chastotalar va toʻlqin uzunliklar diapazoni juda kengligini koʻrdik. Turli chastotali toʻlqinlar xossalari jihatidan ham, hosil qilish usullari jihatidan ham bir-biridan ancha farq qiladi. Shuning uchun ham elektromagnit toʻlqinlarni bir necha turlarga boʻlish qabul qilingan. Elektromagnit toʻlqinlarning bunday boʻlinishi quyidagi jadvalda keltirilgan:

№	Turlarning nomi	Toʻlqin uzunligi (m)	Toʻlqin chastotasi (Hz)	Nurlanish manbai
1.	Past chastotali toʻlqinlar	$> 10^4$	$\leq 3 \cdot 10^{-4}$	Oʻzgaruvchan tok generatori
2.	Radiotoʻlqinlar	$10^4 \div 10^{-1}$	$3 \cdot 10^4 \div 3 \cdot 10^{10}$	Tebanish konturi va Gers vibratori
3.	Ultraradio toʻlqinlar	$10^{-1} \div 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{10} \div 3 \cdot 10^{12}$	Yalpi tarqatkich
4.	Infraqizil nurlar	$10^{-4} \div 7,7 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{12} \div 4 \cdot 10^{14}$	Lampalar
5.	Yorugʻlik nurlari	$7,7 \cdot 10^{-7} \div 4 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{14} \div 7,5 \cdot 10^{14}$	Lampalar
6.	Ultrabinafsha nurlar	$4 \cdot 10^{-7} \div 10^{-8}$	$7,5 \cdot 10^{14} \div 3 \cdot 10^{16}$	Lampalar
7.	Rentgen nurlari	$10^{-8} \div 10^{-11}$	$3 \cdot 10^{16} \div 3 \cdot 10^{19}$	Pentgen trubkasi
8.	Gamma nurlari	$< 10^{-11}$	$> 3 \cdot 10^{19}$	Radioaktiv yemirilish

Jadvalda ko'rsatilgan to'liqlarning chegaraviy chastotalari va to'liq uzunliklari ma'lum darajada shartlidir. Elektromagnit to'liqlarning qo'shni turlari orasida keskin chegara bo'lmaydi, ularning chastota intervallari bir-biriga o'tib turadi. Masalan, to'liq uzunligi ancha katta bo'lgan yumshoq rentgen nurlari bilan ultrabinafsha nurlar bir-biri bilan qo'shilib ketadi, ularning o'rtasida hech qanday farq yo'q. Ularga rentgen nurlari yoki ultrabinafsha nurlar deb nom berish ularning hosil qilish usuliga bog'liq. Agar nurlarni hosil qilish rentgen nurlarini hosil qilish usullariga mos kelsa, u holda bu nurlarni rentgen nurlari deb ataladi. Aksincha, agar nurlar ultrabinafsha nurlar hosil qilishda qo'llaniladigan usullar bilan hosil qilinsa, u holda bu nurlarni ultrabinafsha nurlar jumlasiga kiritish lozim bo'ladi. Elektromagnit to'liqlarning boshqa qo'shni turlari orasidagi chegara haqida ham shunday mulohaza yuritish mumkin.

Shunday qilib, elektromagnit to'liqlar shkalasi uzun radio-to'liqlardan tortib to'liq uzunligi juda qisqa bo'lgan gamma nurlargacha uzluksiz to'ldirilgan. (Albatta, yanada qisqaroq to'liqlar bo'lishi mumkinligini inkor etib bo'lmaydi).

Ushbu shkaladan ko'rinadiki, yorug'lik to'liqlari elektromagnit to'liqlar shkalasidan juda tor sohani o'z ichiga olar ekan.

Takrorlash uchun savollar

1. *Tebranishlar tekisligi deganda nimani tushunasiz? Qutblanish tekisligi degandachi? Sxematik tasvirlang.*
2. *Tabiiy yorug'lik qanday yorug'lik? U qanday hosil bo'ladi?*
3. *Qutblangan yorug'lik deb qanday yorug'likka aytiladi? Qanday qutblangan yorug'liklarni bilasiz?*
4. *Elektromagnit nazariyaga asoslanib, shaffof kristalldan o'tganda yorug'lik qutblanishining fizik mohiyatini tushuntiring.*
5. *Kristallning optik o'qi va bosh tekisligi deganda nimani tushunasiz?*
6. *Polyarizator qanday asbob? Analizator-chi?*
7. *Malyus qonunini tushuntiring va ta'riflang.*
8. *Yorug'likning muhitda yutilishining fizik mohiyatini tushuntiring.*
9. *Buger—Lambert qonunini yozing va izohlang.*
10. *Nima uchun tabiatda rang-barang jismlar mavjud? Tanlab yutish nima? Qanday jism oq jism deyiladi? Qora jism deb-chi?*
11. *Yorug'lik dispersiyasi deb nimaga aytiladi?*
12. *Spektr qanday hosil bo'ladi? Dispersion spektr nima? Spektrda ranglarning qanday tartibda joylashganligini ayting.*

13. Spektroskop qanday asbob? Tuzilishini va unda nurning yo'lini tushuntiring.
14. Infraqizil nurlarni tushuntiring. Ularning qanday xossalari bilasiz?
15. Ultrabinafsha nurlarni tushuntiring. Ularning qanday xossalari bilasiz?
16. Rentgen trubkasining tuzilishini va unda rentgen nurlari qanday hosil bo'lishini tushuntiring.
17. Rentgen nurlari qanday xossalarga ega? Ulardan qanday maqsadlarda foydalaniladi?
18. Gamma nurlanish haqida nimani bilasiz?
19. Elektromagnit to'lqinlar shkalasini tushuntiring.

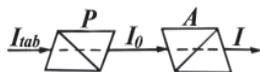
Masala yechish namunalari

1- masala. Agar polyarizator va analizator orqali o'tgan tabiiy yorug'likning intensivligi 4 marta kamaygan bo'lsa, polyarizator bilan analizator bosh kesimlari orasidagi burchak nimaga teng? Yorug'likning yutilishini hisobga olmag.

Berilgan: $I_{tab} / I = 4$.

Topish kerak: α — ?

Yechilishi. Yassi qutblangan yorug'lik analizatordan o'tganda intensivligi Malyus qonuniga muvofiq kamayadi, ya'ni $I = I_0 \cdot \cos^2 \alpha$, bunda: I — analizatordan o'tgan yorug'likning intensivligi; I_0 — polyarizator orqali o'tib analizatorga tushayotgan yassi qutblangan yorug'likning intensivligi (156- rasm); α — polyarizator bilan analizator bosh kesimlari orasidagi burchak. Bu ifodadan



156- rasm.

$$\cos \alpha = \sqrt{\frac{I}{I_0}} \quad (a)$$

bo'ladi. Tajribalarda aniqlanishicha, tabiiy yorug'likni o'zaro perpendikulyar tekisliklarda yassi qutblangan ikkita yorug'likning yig'indisidan iborat deb hisoblash mumkin ekan. Binobarin, tabiiy yorug'lik polyarizatordan o'tganda uning intensivligi ikki marta kamayadi. Shuning uchun:

$$\frac{I_{tab}}{I_0} = 2, \text{ bundan: } I_0 = \frac{I_{tab}}{2} \quad (b)$$

deb yoza olamiz, bunda: I_{tab} — polyarizatorga tushayotgan tabiiy yorug'likning intensivligi (148- rasmga qarang). (b) ifodadan I_0

ning qiymatini (a) ifodaga keltirib qo‘ysak va masalaning shartini e‘tiborga olsak, u holda:

$$\cos \alpha = \sqrt{I \cdot \frac{2}{I_{tab}}} = \sqrt{\frac{1}{4} \cdot 2} = \sqrt{\frac{1}{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}, \text{ yoki } \alpha = 45^\circ.$$

2- masala. Shaffof plastinka unga tushayotgan yorug‘likning yarmini o‘tkazadi. Agar plastinkaning qalinligi 4,2 sm bo‘lsa, yutilish koeffitsiyentini toping. Tushayotgan yorug‘lik oqimining 10% i plastinka sirtidan qaytadi, deb hisoblang.

Berilgan: $l = 4,2\text{sm}; \quad k_1 = 10\% = 0,1; \quad k_2 = \frac{I}{I_0} = 0,5.$

Topish kerak: $\alpha - ?$

Yechilishi. Plastinkaga tushayotgan yorug‘likning intensivligini I_0 bilan, plastinka sirtidan qaytayotgan yorug‘lik intensivligini I'_0 bilan va plastinkadan o‘tgan yorug‘likning intensivligini I bilan belgilaylik (157- rasm).

U holda plastinkaning sirtidan unga kirayotgan yorug‘likning intensivligi ($I_0 - I'_0$) bo‘ladi. Plastinkadan o‘tgan yorug‘likning I intensivligi Buger-Lambert qonuniga ko‘ra quyidagi ifodadan aniqlanadi:

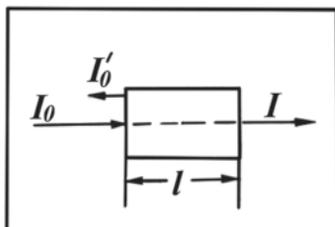
$$I = (I_0 - I'_0)e^{-\alpha l},$$

bunda: α — yutilish koeffitsiyenti; l — plastinkaning qalinligi. Masalaning shartiga ko‘ra:

$$\frac{I'_0}{I_0} = k_1 \text{ va } \frac{I}{I_0} = k_2$$

ekanligini e‘tiborga olsak, u holda:

$$k_2 I_0 = (I_0 - k_1 I_0)e^{-\alpha l}, \text{ bundan } e^{\alpha l} = \frac{1 - k_1}{k_2} \text{ bo‘ladi.}$$



157- rasm.

Logarifmlash usulidan foydalanib, oxirgi ifodadan α yutilish koeffitsiyenti ifodasini topamiz:

$$\alpha l \cdot \lg e = \lg \frac{1 - k_1}{k_2}, \text{ bundan } \alpha = \frac{\lg \frac{1 - k_1}{k_2}}{l \cdot \lg e} \text{ bo'ladi.}$$

$$\text{Hisoblash: } \alpha = \frac{\lg \frac{1 - 0,1}{0,5}}{4,2 \text{ sm} \cdot \lg e} = \frac{\lg 1,8}{4,2 \cdot 0,4343 \text{ sm}} = \frac{0,2553}{1,824 \text{ sm}} = 0,14 \text{ sm}^{-1}.$$

3- masala. Natriy sariq nurlarining havodagi to'liq uzunligi 589 mmk. Shu nurning shishadagi to'liq uzunligini toping. Shishaning sindirish ko'rsatkichi 1,56 ga teng.

Berilgan: $\lambda_1 = 5,89 \text{ mmk} = 5,89 \cdot 10^{-7} \text{ m}$; $n = 1,56$.

Topish kerak: $\lambda_2 - ?$

Yechilishi. Moddaning sindirish ko'rsatkichi yorug'likning vakuumda tarqalish tezligining shu moddada tarqalish tezligiga nisbati bilan o'lchanadi, ya'ni:

$$n = \frac{c}{v}.$$

Yorug'likning havodagi tezligini vakuumdagi tezligiga teng deb olish mumkin.

Yorug'lik bir muhitdan ikkinchi muhitga o'tganda uning to'liq uzunligi va tezligi o'zgaradi, chastotasi esa o'zgarishsiz qoladi. Shuning uchun:

$$c = \lambda_1 \nu \quad \text{va} \quad v = \lambda_2 \nu$$

deb yozish mumkin, bunda ν — yorug'likning chastotasi. U holda sindirish ko'rsatkichi:

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

bo'ladi, bundan:

$$\lambda_2 = \frac{\lambda_1}{n}.$$

Hisoblash:

$$\lambda_2 = \frac{5,89 \cdot 10^{-7} \text{ m}}{1,56} = 3,78 \cdot 10^{-7} \text{ m}.$$

4- masala. Quyosh nuri bilan yoritilgan, derazasi berk bo'lgan xonada quyoshdan qorayish mumkinmi?

Yechilishi. Quyoshdan qorayish ultrabinafsha nurlar ta'sirida bo'ladi, odatdagi deraza oynasi shishadan tayyorlangani uchun ultrabinafsha nurlarni o'tkazmaydi.

5- masala. Rentgen trubkasida anodga yetgan elektronlarning tezligi $1 \cdot 10^8$ m/s. Trubka qanday kuchlanish bilan ishlaydi?

Berilgan: $v = 1 \cdot 10^8$ m/s; $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg; $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

Topish kerak: $U - ?$

Yechilishi. Energiyaning saqlanish qonuniga asosan anodga yetib kelgan elektronning kinetik energiyasi son jihatidan elektronni katoddan anodga ko'chirishda elektr maydonning bajargan ishiga teng

bo'ladi: $\frac{mv^2}{2} = eU$, bundan U ni topsak:

$$U = \frac{mv^2}{2e}.$$

Hisoblash:

$$U = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 1 \cdot 10^{16} \text{ m}^2 / \text{s}^2}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 2,84 \cdot 10^4 \text{ V} = 28,4 \text{ kV}.$$

Mustaqil yechish uchun masalalar

95. Analizator o'ziga tushayotgan qutblangan yorug'lik intensivligini ikki marta susaytiradi. Polyarizator va analizatorlar bosh tekisliklari orasidagi burchak qanday?

96. Tabiiy yorug'lik nuri ketma-ket ravishda bosh tekisliklari orasidagi burchak 60° bo'lgan polyarizator va analizatorlardan o'tadi. Analizatorlardan boshlang'ich yorug'lik oqimining qancha qismi chiqadi?

97. Polyarizator va analizatorning bosh tekisliklari orasidagi burchak 45° . Bu burchakni 60° gacha orttirilganda analizatorlardan chiqayotgan yorug'likning intensivligi necha marta kamayadi?

98. Issiqxona oynasining qalinligi 2 mm. Spektrning infraqizil nurlar sohasi uchun shishaning yutish koeffitsiyenti $0,62 \text{ sm}^{-1}$. Energiyaning qancha qismi o'simliklarga yetib boradi?

99. Yashil rangli shisha butilkaga qizil siyoh quyilgan. Siyoh qanday rangda ko'rinadi?

100. Natriy sariq nurlarining vakuumda to'liq uzunligi 589 mkm, suvda esa 442 mkm. Bu nurlar uchun suvning sindirish ko'rsatkichi qanday?

101. Elektr yoy alangasi suv ichida yondirilsa, u ko'zga zarar qilmaydi. Nima uchun?

102. Nima uchun rentgen plyonkasi qo'rg'oshin qutichada saqlanadi va rasmga olishda alyuminiy kassetaga joylashtiriladi?

103. 60 kV kuchlanishda ishlayotgan rentgen trubkasi anodiga yetgan elektronning kinetik energiyasini aniqlang.

104. Nima uchun simobli lampalarning kolbalari kvarts shishadan yasaladi?

58- §. Elektrodinamika qonunlari va nisbiylik prinsipi

Maksvell o'zining elektromagnit maydon nazariyasini elektrodinamika qonunlarini, ya'ni elektr zaryadlarning saqlanish qonuni, Kulon qonuni, Faradeyning elektromagnit induksiya qonuni, tokli o'tkazgichlarning o'zaro ta'siri qonuni, tabiatda magnit zaryadlarning yo'qligi haqidagi qonunlarni ifodalovchi formulalar asosida chiqarilgan tenglamalar sistemasi ko'rinishida yaratdi (3- § ga qarang).

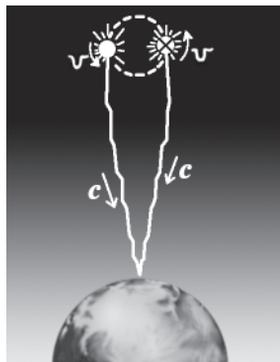
Bu nazariyadan kelib chiqadigan muhim xulosalardan biri vakuumda c yorug'lik tezligi bilan tarqaladigan elektromagnit to'lqinlarning mavjudligini bashorat qilinganligi edi. Shuningdek, elektromagnit to'lqinlar va yorug'lik tezliklarining o'zaro tengligiga asoslanib, Maksvell yorug'likning elektromagnit tabiatga ega ekanligi haqidagi g'oyasini ilgari surdi.

Bu nazariya yaratilgandan so'ng mexanik hodisalar uchun o'rinli bo'lgan Galiley nisbiylik prinsipini elektromagnit hodisalarga tatbiq etish to'g'ri bo'larmikan, elektrodinamikaning asosiy qonunlari bir inersial sanoq sistemadan ikkinchisiga o'tilganda o'zgaradimi yoki Nyuton qonunlari kabi o'zgarmay qoladimi, degan savollar tug'iladi. Elektrodinamikaning asosiy qonunlari bir inersial sistemadan ikkinchi inersial sistemaga o'tganda o'zgarmay qolgandagina nisbiylik prinsipining elektromagnit jarayonlarga nisbatan to'g'ri ekanligiga shubha qolmaydi va bu prinsipni tabiatning umumiy qonuni deb qarash mumkin.

Klassik mexanikada tezliklarni qo'shish qonuniga muvofiq, faqat bitta tanlangan inersial sanoq sistemasida yorug'lik tezligi \bar{c} ga teng bo'lishi mumkin. Bu sistemaga nisbatan \bar{v} tezlik bilan harakatlanayotgan istalgan boshqa inersial sanoq sistemada yorug'lik tezligi $\bar{c} + \bar{v}$ ga teng bo'lishi kerak.

Ko'pgina eksperimentlar va astronomik kuzatishlar yorug'likning tezligi tezliklarni qo'shishning klassik qonunlariga bo'ysunmasligini, hamma hollar uchun bu tezlik universal va birgina qiymatga ega ekanligini ko'rsatadi. Masalan, osmonda umumiy massa markazi atrofida aylanayotgan juda ko'p qo'shaloq yulduzlarni kuzatish mumkin. Agar ulardan biri ikkinchisi atrofida katta tezlik bilan

aylanayotgan bo'lsa, u holda avval qo'shaloq yulduz bo'lib, so'ngra biri ikkinchisini orqasiga o'tganda bitta yulduz bo'lib va yana qo'shaloq yulduz bo'lib ko'rinishi mumkin (158- rasm). Agar yorug'likning tezligi tezliklarni qo'shishning klassik qonunlariga bo'ysunganda edi, paradoksial holat yuz bergan bo'lar edi.



158- rasm.

Bizdan uzoqlashayotgan yulduzdan chiqayotgan yorug'lik sekinroq tarqalayotgan bo'lar edi, u holda bu yulduzning oldidagi yulduz bilan tutilishi (pana bo'lishi) ni kechikibroq kuzatgan bo'lar edik. Agar biz tomonga kelayotgan yulduzdan chiqayotgan yorug'lik tezroq tarqalayotgan bo'lsa, u holda yulduzlarning harakati buzilgandek tuyulishi, soxta yulduzlar paydo bo'lishi, ba'zan qo'shaloq yulduzlar uchta yulduz bo'lib ko'rinishi mumkin bo'lar edi va hokazo. Ammo qo'shaloq yulduzlar ustidan o'tkazilgan astronomik kuzatishlar ularning harakatidagi davriylikda hech qanday nuqson yuz bermasligini ko'rsatdi.

Shunday qilib, qo'shaloq yulduzlarni kuzatishlar yorug'lik tezligi manbaning tezligiga bog'liq emasligini tasdiqladi. Yorug'lik tezligining tezliklarni qo'shishning klassik qonuniga bo'ysunmasligini boshqa ko'pgina tajribalar ham tasdiqlaydi.

Shunday qilib, Maksvellning elektromagnit maydon nazariyasi va qonunlari hamda Galileyning nisbiylik prinsipi bilan mos tushadigan Nyuton mexanikasi orasida ma'lum qarama-qarshiliklar mavjudligi oshkor bo'lib qoldi.

59- §. Olam efiri muammosi. Maykelson – Morli tajribasi

Yorug'likning to'lqin nazariyasi yorug'likni dastavval dunyo efiri deb atalgan biror muhitda tarqaluvchi elastik to'lqin deb qaradi (37- § ga qarang). Maksvellning elektromagnit nazariyasi yaratilgandan so'ng elastik efir o'rnini elektromagnit to'lqinlarni va maydonlarni eltuvchi efir egalladi. Bu efir o'zidan avvalgi efir kabi butun koinotni egallagan va hamma jismlardan o'ta oladigan qandaydir bir muhit deb faraz qilingan. Uni massaga ega bo'lmagan «fizik» muhit deb tasavvur qilingan. Efir muhit bo'lgani sababli

jismlarning efirga nisbatan harakatini bilish absolyut sanoq sistemaning paydo bo'lishiga olib kelar va hamma boshqa sistemalarning harakatini esa shu sistemaga nisbatan qarash mumkin bo'lar edi.

Efirning mavjudligini aniqlash va uning xossalarini o'rganish sohasida juda ko'p urinishlar bo'ldi. Agar efirni mavjud deb qabul qilinsa, u holda har bir harakatlanuvchi jism efir bilan qandaydir o'zaro ta'sirda bo'lishi kerak edi: 1) jism o'z harakatida efirni butunlay ergashtirib ketishi yoki 2) qisman ergashtirishi yoki 3) umuman ergashtirmasligi kerak edi.

1851- yilda fransuz fizigi A.Fizo tomonidan amalga oshirilgan interferensiyalar harakatlanayotgan jismlar o'zlari bilan efirni butunlay ergashtirishi haqidagi gipotezani inkor etdi. Tajriba natijalariga ko'ra, dunyo efiri bir butun harakatsiz bo'lib, harakatlanuvchi jism uni faqat qisman ergashtirib ketishi mumkin, χ ergashtirish koeffitsiyenti muhitning n sindirish ko'rsatkichiga quyidagicha:

$$\chi = 1 - \frac{1}{n^2}$$

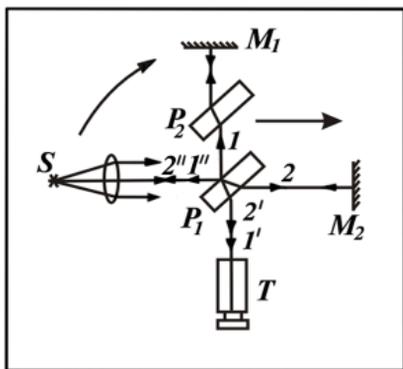
ko'rinishda bog'liq bo'lib chiqdi. Demak, bu ifodadan sindirish ko'rsatkichi birga teng bo'lgan muhitga efir ergashmaydi, degan xulosa kelib chiqadi.

Ma'lumki, Yer atmosferasi — havoning sindirish ko'rsatkichi birga yaqin ($n=1,009$). Shunday ekan, Fizo tajribasi natijalariga ko'ra Yerning Quyosh atrofidagi harakatida efir (agar u mavjud bo'lsa) harakatlanayotgan muhit-havoga ergashmaydi, deb o'ylash tabiiy. Demak, qo'zg'almas efirning Yer sirtiga yaqin nuqtasiga nisbatan Yerning absolyut harakatini aniqlash mumkindek tuyuladi.

Havoga nisbatan harakatlanayotgan sanoq sistemada shamol paydo bo'lgani kabi qo'zg'almas efirga nisbatan Yerning harakatlanishida ham «efir shamoli» payqalishi mumkindek tuyuladi. 1881- yilda amerikalik fizik A.A.Maykelson Yerning «efir shamoli»ni payqash, aniqrog'i, uning «efir shamoli»ga nisbatan tezligini aniqlash maqsadida o'zining olamshumul interferensiyalar tajribasini o'tkazdi. 1887- yilda esa o'z tajribasini E.Morli bilan birgalikda birmuncha mukammallashtirgan asbobda takror amalga oshirdi.

Maykelson tajribasida Maykelson interferometridan foydalanilgan.

Maykelson interferometri tuzilishining prinsipial sxemasi 159-rasmda keltirilgan. Yorug'lik dastasi S manbadan yupqa kumush qatlami bilan qoplangan yarim shaffof P_1 plastinkaga tushadi.



159- rasm.

Tushayotgan yorug'lik dastasining yarmini P_1 plastinka 1 nur yo'nalishida qaytaradi, qolgan yarmi esa plastinka orqali o'tadi va 2 nur yo'nalishida tarqaladi. 1 nur M_1 ko'zgudan qaytadi va P_1 ga qaytib, u yerda intensivligi teng ikki qismga ajraladi. Bu qismlardan biri plastinka orqali o'tadi va $1'$ nurni hosil qiladi, ikkinchisi $1''$ nur S manba tomonga qaytadi. 2- nur M_2 ko'zgudan qaytib, u ham P_1 plastinkaga qaytadi va u yerda ikki qismga — yarim shaffof qatlamdan qaytgan $2'$ nurga va qatlam orqali o'tib ketadigan $2''$ nurga ajraladi. $1'$ va $2'$ nurlar o'zaro kogerent va ularning intensivligi bir xil. Bu nurlar interferensiyalanadi, interferensiya natijasi ularning P_1 plastinkadan M_1 va M_2 ko'zgularga borib, yana qaytib kelguncha bosib o'tgan optik yo'llari farqiga bog'liq. 2 nur P_1 plastinkaning qalinligini uch marta bosib o'tadi, 1 nur esa faqat bir marta bosib o'tadi. Shuning hisobiga har xil to'lqin uzunliklari uchun optik yo'llar farqi har xil bo'ladi va uni kompensatsiya qilish uchun 1 nurning yo'lida xuddi P_1 ga o'xshagan, lekin kumush qoplanmagan P_2 plastinka o'rnatiladi. Shu bilan 1 va 2 nurlarning yo'llari tenglanadi. Interferension manzara T durbin yordamida kuzatiladi.

Tajriba quyidagi tasavvurlarga asoslangan. Interferometrning P_1M_2 yelkasi Yerning efirga nisbatan harakat yo'nalishi bilan mos tushsin. U vaqtda 1 nurning M_1 ko'zguna borib yana orqaga qaytishi uchun ketgan vaqt 2 nurning $P_1M_2P_1$ yo'lni bosib o'tishi uchun ketgan vaqtdan farq qiladi. Natijada ikkala yelkaning l geometrik uzunligi bir xil bo'lganda ham 1 va 2 nurlar orasida ma'lum bir optik yo'l farqi Δl hosil bo'ladi. Agar asbob 90° ga burilsa, P_1M_1 va P_1M_2 yelkalar bir-biri bilan o'rin almashadi va yo'l farqi o'z ishorasini o'zgartiradi, ya'ni — Δl bo'ladi. Natijaviy yo'l farqi esa $\Delta l - (-\Delta l) = 2 \cdot \Delta l$

bo‘ladi. Bu hol interferension manzaraning 0,4 yo‘lga siljishiga olib keladi. Asbobning aniqligi shundayki, u 0,01 tartibdagi siljishni ham sezishga imkon beradi. Lekin interferension manzaraning hech qanday siljishi sezilmagan. Tajriba kecha-yu kunduzning turli vaqtlarida takrorlandi. Lekin «efir shamoli»ni topishning imkoni bo‘lmadi. Olingan natija harakatsiz efir haqidagi gipotezani inkor etdi. Efir g‘oyasi asossiz bo‘lib chiqdi.

60- §. Maxsus nisbiylik nazariyasi postulatları

Dunyo efiri mavjudligini aniqlash maqsadida qo‘yilgan barcha tajriba dalillarini, shu qatorda Maykelson tajribasining salbiy natijalarini ham, 1905- yilda buyuk nemis fizigi — nazariyotchisi, hozirgi zamon fizikasining asoschilaridan biri A.Eynshteyn atroflicha, qarama-qarshiliksiz tushuntirib berdi. Buning uchun unga o‘sha paytgacha mavjud bo‘lib kelgan fazo va vaqt haqidagi tasavvurlarni tubdan o‘zgartirishga to‘g‘ri keldi. Shuningdek, Eynshteyn alohida absolyut sanoq sistemasi vazifasini o‘tashi mumkin bo‘lgan muhit — dunyo efiri mavjud emas, degan xulosaga keldi.

A.Eynshteyn sevgan masalalaridan biri yorug‘lik nuri ortidan xayolan «quvish» bo‘lgan: agar nurga «ilashib» olinsa va $v = c$ tezlik bilan harakat qilinsa nima bo‘ladi?

Shu nuqtayi nazardan barcha kuzatuvchilarga yorug‘lik tezligi doimiy tuyulishi uchun, bir-biriga nisbatan o‘zgarmas tezlik bilan harakatlanayotgan kuzatuvchilarga Maksvell tenglamalari bir xil ko‘rinishda bo‘lishi uchun Eynshteyn vaqt va fazo haqidagi klassik tasavvurlarda qanday o‘zgartirishlar qilish kerak, degan masalani yechishga urindi va o‘zi **maxsus nisbiylik nazariyasi** (MNN) deb atagan nazariyasini yaratdi.

MNN ning asosini qator tushunchalar va postulatlar tashkil etadi. Ulardan asosiylari sifatida quyidagi ikki postulat — *nisbiylik prinsipi* va *yorug‘lik tezligining doimiylik prinsipi* ajratib olinadi.

Birinchi postulat nisbiylik prinsipini ifodalaydi va Eynshteyn nazariyasining bosh postulati bo‘lib hisoblanadi.

Ma‘lumki, Nyuton mexanikasi uchun nisbiylik prinsipi birinchi marta G.Galiley tomonidan ifodalangan edi. Faqat mexanik jarayonlar uchungina emas, balki tabiatdagi barcha jarayonlar uchun ham tegishli ekanligini ta‘kidlash maqsadida bu nisbiylik prinsipi MNN daham postulat sifatida qabul qilindi. Nisbiylik prinsipi quyidagicha

ta'riflanadi: *barcha inersial sanoq sistemalarda tabiatning barcha jarayonlari bir xil kechadi yoki tabiatning barcha qonunlari bir inersial sanoq sistemadan ikkinchisiga o'tishga nisbatan invariantdir.*

Ikkinchi postulat yorug'lik tezligining doimiylik prinsipini ifodalaydi: *vakuumda yorug'likning tarqalish tezligi barcha inersial sanoq sistemalarida bir xil bo'ladi va yorug'lik manbayining yoki qabul qilgichning harakatiga bog'liq emas.*

Nisbiylik prinsipi va yorug'lik tezligining o'zgarimaslik prinsipi o'z fizik mohiyati bilan fazo va vaqt haqidagi yangi ta'limotdir.

Klassik mexanika barcha sanoq sistemalarda vaqt absolyut va u hamma vaqt birday o'tadi, degan farazga asoslanadi. Klassik mexanika vaqt o'z-o'zicha o'tadi, hamma hodisa va jismlar vaqtning o'tishiga bo'ysunadi, lekin ularning o'zi vaqtning o'tishiga hech qanday ta'sir eta olmaydi, deb uqtiradi. Vaqt fazodan tashqarida bo'lib, u absolyutdir. Klassik mexanikada, vaqtga o'xshab, fazo ham o'z-o'zicha mavjud, u o'zida hamma jismlarni sig'diradi, lekin jismlar va hodisalar tomonidan hech qanday ta'sirni o'zida sezmaydi.

MNN ga ko'ra absolyut fazo va absolyut vaqt mavjud emas, ular o'zining absolyutligi va mustaqilligini yo'qotadi. Fazo bilan vaqt to'rt o'lchovli yagona fazo-vaqtga birlashadi.

Butun olam ikki — modda va maydon shaklida mavjud bo'lgan materiya bilan to'ldirilgan, fazo esa materiyaning umumiy xossasi sifatida namoyon bo'ladi. Vaqt hamma vaqt harakat va materiyaning rivojlanishi bilan bog'langan. Demak, fazo — bu materiya mavjudligi ko'lami va strukturaligini ifodalovchi shaklidir, vaqt esa — bu materiya mavjudligining, hamma obyektlar, maydonlar mavjudligining davomiyligi va hodisalar almashinuvi ketma-ketligini xarakterlovchi shaklidir.

Vaqt va fazoning asosiy xossalari quyidagilar:

a) materiya, fazo va vaqtning birligi hamda uzluksiz bog'langanligi;

b) fazo va vaqtning absolyut uzluksizligi hamda nisbiy uzluksizligi. Uzluksizlik fazoda hamma jism va sistemalar maydonlarining tarqalishida namoyon bo'ladi. Fazoning uzluksizligi nisbiy va har biri o'z chegaralari hamda o'lchamlariga ega bo'lgan moddiy obyektlar va sistemalarning alohida mavjudligida namoyon bo'ladi. Vaqtning uzluksizligi materiya sifat holatlarining mavjudlik vaqti bilangina xarakterlanadi, ulardan har biri boshqa shaklga o'tib paydo bo'ladi va yo'qoladi;

d) vaqt davomiylikka, bir yoʻnalishlikka va qaytmaslikka ega. Fazoda istalgan yoʻnalishda harakat qilish mumkin, vaqt boʻyicha oʻtmishga harakat qilish mumkin emas.

Nisbiylik nazariyasi bilan tanishayotganda u kishida «sogʻlom idrok etish»ga va kundalik tajribalarga qarama-qarshi taassurot qoldiradi. Ammo fanning taraqqiyoti va eksperimental dalillar nisbiylik nazariyasining haqiqiylikini tasdiqlaydi.

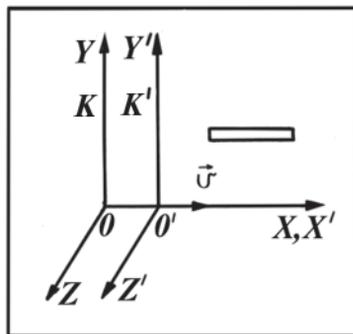
Eynshteynning maxsus nisbiylik prinsipiga asoslangan mexanika *relyativistik mexanika* deb ataladi.

61- §. Nisbiylik nazariyasidan kelib chiqadigan baʼzi natijalar

Nisbiylik nazariyasi postulatlaridan fazo va vaqt kossalariga oid aql bovar qilmaydigan qator natijalar kelib chiqadi. Ulardan baʼzilari bilan tanishib chiqamiz. Bu maqsadda ikkita inersial sanoq sistemalarini olib, ularni K va K' lar bilan belgilaylik. Bu sistemalarning X va X' oʻqlari ustma-ust tushsin. K' sistema K sistemaga nisbatan X oʻqi yoʻnalishida \vec{v} oʻzgarmas tezlik bilan harakatlanayotgan boʻlsin (160- rasm).

Uzunlikning qisqarishi. K' sanoq sistemaga nisbatan tinch turgan va X oʻqi boʻylab joylashtirilgan sterjenning shu sistemadagi uzunligini l_0 bilan belgilaylik. Sterjen K sistemaga nisbatan K' sistema bilan birga \vec{v} tezlik bilan harakatlanadi. U holda K sanoq sistemaga nisbatan harakatlanayotgan sterjenning shu sistemadagi l uzunligi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \quad (103)$$



160- rasm.

Bu formuladan $l < l_0$ ekanligi ko‘rinib turibdi. Shunday qilib, biror sistemaga nisbatan harakatlanayotgan sterjenning shu sistemada o‘lchangan l uzunligi uning boshqa sistemaga nisbatan tinch turgan holatidagi l_0 uzunligidan kichik bo‘lar ekan. Shuningdek, (103) formuladan ko‘rinadiki, harakatlanuvchi jismlarning harakat tezligi qancha kattalashib borsa, ularning o‘lchamlari harakat yo‘nalishlari bo‘yicha shuncha qisqarib boradi.

Vaqtning sekinlashuvi. Tinch holatda turgan K inersial sanoq sistemasidagi soatning «tiqillashlari» orasidagi vaqt τ_0 ga teng bo‘lsin. U holda K sistemaga nisbatan \bar{v} tezlik bilan harakatlanayotgan K' sanoq sistemadagi tuzilishi aynan o‘shanday bo‘lgan soatning shunday «tiqillashlari» orasidagi τ vaqt quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (104)$$

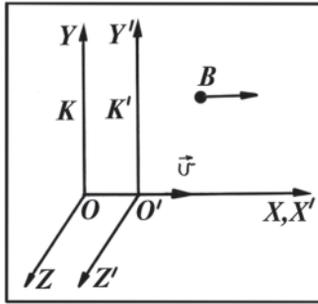
Bu formuladan $\tau > \tau_0$ ekanligi ravshan. Demak, istalgan kuza-tuvchi harakatdagi soatlarning yurishi tinch turgan aynan shunday soatlarning yurishiga nisbatan $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ marta sekinlashganini sezadi, degan xulosa kelib chiqadi.

Vaqtning sekinlashuvi vaqtning o‘z xossasi bo‘lganligi sababli nafaqat harakatlanayotgan soatlarning yurishi, balki barcha fizik jarayonlar, shuningdek, hayot jarayoni ham sekinlashadi. Hayot jarayoni ham mos son marta sekinlashadi.

Vaqtning sekinlashishi, shuningdek, uzunlikning qisqarishi harakat tezligi yorug‘likning vakuumdagi tezligiga yaqin bo‘lgandagina sezilarli bo‘ladi. Agar $v \ll c$ bo‘lsa, (103) va (104) formulalardan v^2/c^2 ni hisobga olmasa ham bo‘ladi. U holda $l \approx l_0$ va $\tau \approx \tau_0$, ya’ni harakatdagi sanoq sistemasida uzunlikning relativistik qisqarishini va vaqtning sekinlashishini hisobga olmasa ham bo‘ladi.

Vaqt o‘tishining sekinlashish effekti eksperimentda, masalan, biror elementar zarrada — pionlar, myuonlar bilan o‘tkazilgan tajribalarda tasdiqlanadi.

Tezliklarni qo‘shishning relyativistik qonuni. Fazo va vaqt haqidagi yangi tasavvurlarga tezliklarni qo‘shishning maxsus nisbiylik nazariyasiga munosib yangi qonuni mos keladi.

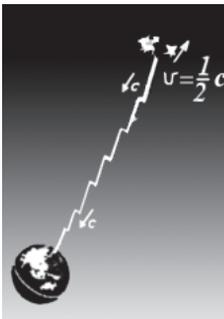


161- rasm.

K sanoq sistemaga nisbatan \vec{v} tezlik bilan harakatlanayotgan K' sanoq sistemadagi B moddiy nuqta shu sistemaning X' o'qi bo'yicha \vec{v}_1 tezlik bilan harakat qilayotgan bo'lsin, shu bilan birga harakat davomida OX va OX' o'qlar ustma-ust tushsin, OY va OY' hamda OZ va OZ' o'qlar mos ravishda o'zaro parallelligicha qolsin (161-rasm). U holda B moddiy nuqtaning K sistemaga nisbatan v_2 tezligi quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$v_2 = \frac{v_1 + v}{1 + \frac{v_1 \cdot v}{c^2}} \quad (105)$$

(105) formula **tezliklarni qo'shishning relyativistik qonunini** ifodalaydi. Agar $v \ll c$ va $v_1 \ll c$ bo'lsa, $v_1 v / c^2$ hadni tashlab yuborish mumkin va tezliklarni qo'shishning relativistik qonuni klassik mexanikaning tezliklarni qo'shish qonuniga o'tadi, ya'ni: $v_2 = v_1 + v$ bo'ladi.



162- rasm.

Bizdan $\frac{1}{2}c$ tezlik bilan uzoqlashayotgan yulduz bizga tomon o'ziga nisbatan c tezlik bilan yorug'lik yuborayotgan hol uchun nima bo'lishini ko'rib chiqaylik (162- rasm). Biz kuzatayotgan tezlik quyidagicha ifodalanadi:

$$v_2 = \frac{c + \left(-\frac{1}{2}c\right)}{1 + \frac{c \cdot \left(-\frac{1}{2}c\right)}{c^2}} = \frac{\frac{1}{2}c}{1 - \frac{1}{2}} = c.$$

Biz tomondan o‘lchanayotgan yorug‘lik tezligi bizdan tez uzoqlashayotgan jismdan kelayotganiga qaramay c ga teng ekan.

62- §. Jism massasining tezlikka bog‘liqligi

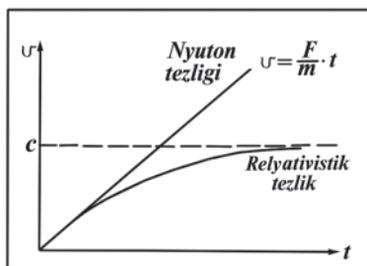
Klassik mexanikada jismning massasi barcha inersial sanoq sistemalarida o‘zgarmas va jismning tezligiga bog‘liq emas, deb hisoblanadi. Shunday ekanligini tajribalar ham tasdiqlaydi. Agar jismlarning harakat tezligi yorug‘lik tezligidan juda kichik ($v \ll c$) bo‘lsa, jism massasining tezlikka bog‘likligini aniqlab bo‘lmaydi.

Faraz qilaylik, jism o‘zgarmas F kuch ta‘sirida harakatlanayotgan bo‘lsin. Boshlang‘ich $t_0 = 0$ paytda jismning tezligi $v_0 = 0$ bo‘lganda, dinamikaning ikkinchi qonuniga ko‘ra jismga ta‘sir etuvchi kuch va uning tezligi quyidagi ko‘rinishda bog‘langan bo‘ladi:

$$F = ma = m \frac{v - v_0}{t - t_0} = m \frac{v}{t}; \quad v = \frac{F}{m} t = at. \quad (106)$$

Demak, jismning tezligi unga ta‘sir etayotgan kuchning ta‘sir etish vaqtiga to‘g‘ri proporsional bo‘ladi, degan xulosaga kelamiz. Boshqacha aytganda, ta‘sir etayotgan o‘zgarmas kuchning ta‘sir etish vaqti qancha uzoq davom etsa, jismning harakat tezligi (Nyuton tezligi) cheklanmagan holda ortib boradi (163- rasmdagi to‘g‘ri chiziq). Bu xulosa maxsus nisbiylik nazariyasiga to‘g‘ri kelmaydi, chunki nisbiylik nazariyasining fundamental xulosalaridan biri, har qanday jismning harakat tezligi yorug‘lik tezligidan katta bo‘lmaydi (163- rasmdagi egri chiziq).

Demak, nisbiylik nazariyasi postulatlari buzilmasligi uchun, (106) formulaga ko‘ra, harakatdagi jismning massasi shunday ortishi kerakki, natijada jismning tezligi yorug‘likning vakuumdagi tezligidan ortib ketmasin.



163- rasm.

Yuqoridagi mulohazalardan ko‘inib turibdiki, yorug‘lik tezligining absolyutligi va chekliligi ham Nyuton mexanikasiga mos kelmaydi.

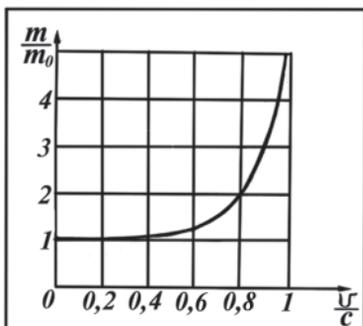
Bu masalani Eynshteyn to‘g‘ri hal qilib berdi. U dinamikaning asosiy qonunini shunday o‘zgartirish kerakki, uning xossalari maxsus nisbiylik nazariyasining xulosalariga mos kelsin, degan fikrga keldi. Bu masalani yechishda jismning massasi bir-biriga nisbatan harakatlanayotgan sanoq sistemalarida bir xil bo‘lmaydi, u jismning sanoq sistemasiga nisbatan harakat tezligiga bog‘liqdir, deb hisoblaydi. Biror inersial sanoq sistemasida jism massasining uning harakat tezligiga bog‘liqligi quyidagicha ifodalanadi:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (107)$$

bunda: m_0 — jismning tinch holatdagi massasi; m — jismning sanoq sistemasiga nisbatan v tezlik bilan harakatlanayotgandagi massasi, bu massani jismning *relyativistik massasi* deb ataladi. 164- rasmda tezlikning ortishi bilan massaning qanday ortib borishi tasvirlangan. Rasmdan ko‘rinib turibdiki, katta tezliklarda, ayniqsa, c ga yaqin tezliklarda massa tez ortib ketadi.

Shunday qilib, relyativistik mexanikada jismning harakat tezligi ortib borishi bilan shu jismning massasi ham ortib boradi. $v \rightarrow c$ bo‘lganda jism massasi (107) formulaga ko‘ra cheksiz ortadi ($m \rightarrow \infty$).

Binobarin, $F = const$ bo‘lganda, $a = \frac{F}{m}$ tezlanish nolga intiladi va kuch qanchalik uzoq vaqt ta’sir etishiga qaramay, tezlik amalda ortmay qo‘yadi [(106) formulaga va 163- rasimga qarang].



164- rasm.

Relyativistik massa ifodasi [(107) formula]ni tahlil qilib chiqaylik.

Jism $v \ll c$ tezlik bilan harakatlanayotgan bo'lsin. U holda $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \approx 1$ bo'ladi. Masalan, birinchi kosmik tezlik $v = 7,9 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ da bu ifodaning qiymati:

$$\sqrt{1 - \frac{(7,9)^2 \cdot 10^6}{3^2 \cdot 10^{16}}} = 0,99999999965$$

ga teng bo'ladi. Shuning uchun bunday nisbatan kichik tezlik ortishi bilan massaning ortishi sezilarli bo'lmaydi. Ammo elektronlarni tezlatuvchi qudratli tezlatkichlarda ularning tezligi taxminan

$2,60 \div 2,65 \cdot 10^5 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ gacha orttiriladi ($c = 3 \cdot 10^5 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ bilan taqqoslang).

Bunda elektronning massasi deyarli 2000 marta ortadi.

Jismning tezligi ortishi bilan massasining orttirmasini aniqlaylik. $v \ll c$ bo'lganda, Nyuton binomiga ko'ra (107) formulani quyidagicha yozish mumkin:

$$m = m_0 \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-\frac{1}{2}} = m_0 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} + \frac{1}{4} \frac{v^4}{c^4} + \dots \right). \quad (108)$$

Bu ifodada $\frac{v^4}{c^4}$ va undan keyingi hadlar ikkinchi hadga nisbatan juda kichik qiymatga ega, shuning uchun ularni hisobga olmaymiz. U holda (108) formula quyidagi ko'rinishni oladi:

$$m = m_0 + \frac{1}{2} \frac{m_0 v^2}{c^2}; \quad (109)$$

bunda:

$$E_k = \frac{m_0 v^2}{2} \quad (110)$$

kattalik jismga berilgan kinetik energiya. Massa orttirmasi quyidagiga teng:

$$\Delta m = m - m_0 = \frac{\Delta E_k}{c^2}. \quad (111)$$

Demak, *jismning tezligi ortishi bilan hosil bo'ladigan massa orttirmasi shu jismga berilgan kinetik energiyaning yorug'lik tezligi kvadratiga bo'lgan nisbatiga teng ekan.*

63- §. Massa bilan energiyaning o‘zaro bog‘liqligi

Klassik mexanikada kinetik energiya uchun yaxshi tanish bo‘lgan $E_k = \frac{mv^2}{2}$ ifodadan foydalaniladi. Jismning energiyasi biz uni o‘lchagan sanoq sistemasiga bog‘liq. Masalan, agar biz jism bilan yonmayon harakat qilsak, bizga nisbatan uning tezligi nolga teng bo‘ladi va shuning uchun uning kinetik energiyasi ham nolga tengdir.

Yetarlicha katta tezliklarda kinetik energiyaning formulasi shunday oddiy ko‘rinishga ega bo‘la olmasligi ravshan.

(109) formulani quyidagicha o‘zgartirib yozaylik:

$$mc^2 = m_0c^2 + \frac{m_0v^2}{2} = E \quad (112)$$

yoki (107) formulani e‘tiborga olganda:

$$E = mc^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (113)$$

(113) munosabat jismning to‘la energiyasining relyativistik ifodasi bo‘lib, undan massa bilan energiyaning o‘zaro bog‘liqlik qonuni kelib chiqadi: *jismning yoki jismlar sistemasining energiyasi massa bilan yorug‘lik tezligi kvadratining ko‘paytmasiga teng.*

(112) va (113) formulalardan jismning kinetik energiyasi uchun quyidagini hosil qilamiz:

$$E_k = mc^2 - m_0c^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0c^2 = m_0c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right). \quad (114)$$

(112) formulaga e‘tibor qilaylik. Bu formulada ikkinchi had $\frac{m_0v^2}{2}$ — jismning odatdagi kinetik energiyasi. Birinchi had m_0c^2 eng diqqatga sazovor bo‘lgan kattalik bo‘lib, u yangilikdan iborat. Haqiqatan ham, $v = 0$ bo‘lganda:

$$E_0 = m_0c^2 \quad (115)$$

munosabatni olamiz. Eynshteyn jismning tezligi nolga teng bo‘lgandagi energiyani ***tinchlikdagi energiya*** deb atadi. (115) ifoda

Eynshteynning *massa bilan energiyaning o‘zaro bog‘liqlik qonunini* ifodalaydigan mashhur formulasidir. *Har qanday jism o‘zining mavjudlik fakti tufayligina energiyaga ega va bu energiya jismning tinchlikdagi massasiga to‘g‘ri proporsionaldir.*

Jismning E_0 tinchlikdagi energiyaning mavjudligi jismga ma’lum bir potensial energiya rezervuari deb qarash mumkinligini ko‘rsatadi. Bu energiya boshqa xil energiyalarga, jumladan, nurlanish energiyasiga aylanishi mumkin.

Massa va energiyaning o‘zaro bog‘liqlik qonunidan shu narsa ayon bo‘ladiki, klassik mexanikada jismlarning inertlik (Nyuton qonunlariga asosan) va gravitatsiya (butun olam tortishish qonuniga asosan) xossalari ifodalovchi massa ayni vaqtda jismlarning energiya tutuvchanligining ham xarakteristikasi ekan. Shuningdek, massa materiya miqdori, energiya esa materiya harakatining o‘lchovi bo‘lgani uchun massa va energiyaning o‘zaro bog‘liqlik qonuni materiya va harakatning chambarchas bog‘liqligi haqidagi fundamental qoidaning yorqin tasdig‘idir.

Tinchlikdagi massasi $m_0 = 1$ kg bo‘lgan jismning energiyaning qiymatini hisoblab chiqaylik:

$$E_0 = m_0 c^2 = 1 \text{ kg} \cdot 9 \cdot 10^{16} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 9 \cdot 10^{16} \text{ J}.$$

Bu juda katta energiya. Bu energiyaning miqdori Yer sharidagi butun insoniyatning elektr energiyaga bo‘lgan bir sutkalik ehtiyojidan anchagina ko‘pdir.

Tinchlik massasiga ega bo‘lgan elementar zarralarning tinchlik massasiga ega bo‘lmagan zarralarga aylanishida tinchlik energiyaning yangi hosil bo‘lgan zarralarning kinetik energiyaning batamom aylanadi. Bu dalil tinchlik energiyaning mavjudligining eng yaqqol eksperimental isbotidir.

Endi $v = 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlik bilan uchayotgan reaktiv samolyot misolida samolyot massasining 1 kg uchun uning tinchlikdagi energiyaning bilan kinetik energiyaning nisbiy qiymatlari haqida tasavvur hosil qilish maqsadida $m_0 c^2$ va $\frac{m_0 v^2}{2}$ energiyalarni hisoblab, taqqoslab ko‘raylik:

$$m_0 c^2 = 1 \text{ kg} \cdot \left(3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = 9 \cdot 10^{16} \text{ J};$$

$$\frac{m_0 v^2}{2} = \frac{1 \text{ kg} \cdot \left(1 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2} = 5 \cdot 10^5 \text{ J}.$$

Bu hisoblashlardan ko‘rinadiki, odatdagi kinetik energiya jismning tinchlikdagi energiyasidan 10^{11} marta kichik ekan. Ammo odatdagi o‘zaro ta’sirlarda o‘zaro ta’sirlashayotgan barcha jismlarning tinchlikdagi energiyasi o‘z mohiyati bilan o‘zaro ta’sirdan oldin ham va undan keyin ham bir xil qiymatga ega bo‘ladi. Shuning uchun jismlar harakatining kichik tezliklarida ($v \ll c$ da) ularning kinetik energiyalarining relyativistik ifodasi klassik mexanikaning mos ifodalari ko‘rinishini oladi.

Eynshteyn, agar jismning tinchlikdagi massasini Δm miqdorga kamaytirilsa, u holda $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$ miqdorda energiya ajralib chiqadi, deb faraz qildi. Shuningdek, massa va energiyaning o‘zaro bog‘liqlik qonunidan, agar tinch turgan jismga ΔE qo‘shimcha energiya berilsa, uning massasi ham

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} \quad (116)$$

ga o‘zgarishi kelib chiqadi. Δm ni **massa defekti** deb ataladi.

Kimyoviy reaksiyalardan biri uchun massaning o‘zgarishini hisoblab chiqaylik. Masalan, vodorod bilan kisloroddan 1 l suv hosil qilishda ajralib chiqadigan energiya $1,6 \cdot 10^7$ J ga teng. Ajralib chiqqan buncha energiyaga mos kelgan massa yo‘qolishi $1,8 \cdot 10^{-10}$ kg ga teng. Ravshanki, hech qanday laboratoriya tarozisi massaning bunchalik kichik o‘zgarishini seza olmaydi. Atom yadrolari va elementar zarralarning bir-biriga aylanishidagina energiyaning o‘zgarishi shu qadar kattaki, bunda massaning energiya o‘zgarishlari bilan bog‘liq bo‘lgan o‘zgarishi sezilarli bo‘ladi.

Takrorlash uchun savollar

1. *Elektromagnit hodisalarda nisbiylik prinsipidan foydalanilganda qanday qiyinchiliklar kelib chiqadi?*
2. *Nima uchun olimlar tomonidan olam efiri haqidagi gipoteza ilgari surilgan?*
3. *Olam efiri gipotezasi tufayli qanday qiyinchiliklar yuzaga keldi?*
4. *Fizo tajribasining natijalari qanday?*
5. *Maykelson interferometrining tuzilishi va unda nurning yo‘lini tushuntiring. Nima uchun bunda nurlar o‘zaro interferensiyalanadi?*
6. *Maykelson — Morli tajribasi nimani ko‘rsatdi?*
7. *Nima uchun yorug‘lik tezligi tabiatdagi jismlar harakatining maksimal tezligi hisoblanadi?*
8. *Tezliklarni qo‘shishning klassik qonunlari bilan yorug‘lik tezligi haqidagi ma’lumotlar orasida qanday qarama-qarshiliklar mavjud?*

9. Yorug'lik tezligining boshqa barcha jismlar harakati tezligidan prinsipial farqi nimadan iborat?
10. Eynshteyn nisbiylik prinsipi qanday ta'riflanadi?
11. Yorug'lik tezligining doimiylik prinsipi qanday ta'riflanadi?
12. Barcha inersial sanoq sistemalarining teng huquqliligi nimani bildiradi?
13. Nisbiylik prinsipining fizik mohiyati nimadan iborat?
14. MNN da uzunlik va vaqt oraliqlari qanday formulalardan hisoblab topiladi?
15. Tezliklarni o'zgartirishning relyativistik qonuni qanday ko'rinishda?
16. Harakatning qanday tezliklarida tezliklarni qo'shishning relyativistik qonuni klassik qonunga aylanadi?
17. Nima uchun vaqtning sekinlashishi va uzunlikning qisqarishi sanoq sistemalarning yorug'lik tezligiga yaqin tezliklar bilan harakatlanayotgandagina namoyon bo'ladi?
18. Nisbiylik nazariyasida to'liq energiya qanday ifodalanadi? Kinetik energiya-chi?
19. Tinchlikdagi energiya nima? U qanday hisoblanadi?
20. Massaning tezlikka bog'liqligi qanday ifodalanadi?
21. Tezlik ortishi bilan massaning orttirmasi qanday ifodalanadi?
22. Energiya va massaning o'zaro bog'liqlik qonuni nimadan iborat?
23. Nima uchun jismlarni qizdirganda tajribada uning massasi ortganligini sezib bo'lmaydi?
24. Kimyoviy o'zgarishlarda modda massasi saqlanadimi?
25. Qanday fizik hodisalarda jismning tinchlikdagi energiyasi o'zini namoyon qiladi?
26. Relyativistik va klassik nazariyalar orasida qanday bog'lanish mavjud?
27. To'rt o'lchovli fazo-vaqt qanday xossalarga ega?

Masala yechish namunalari

1- masala. Harakatdagi jism uzunligining relyativistik qisqarishi harakatning qaysi nisbiy tezligida 25% ni tashkil qiladi?

$$\text{Berilgan: } \frac{l_0 - l}{l_0} = 25\% = 0,25; \quad c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Topish kerak: $v = ?$

Yechilishi. Tinch turgan K sanoq sistemaga nisbatan harakatlanayotgan jismning shu sistemada o'lchangan uzunligi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \quad (\text{a})$$

bunda: l_0 — jismning u bilan birga K sistemaga nisbatan harakatlanayotgan K' sanoq sistemadagi uzunligi. Demak, jism ham K sanoq sistemaga nisbatan v tezlik bilan harakatlanadi. Masalaning shartiga ko'ra:

$$\frac{l_0 - l}{l_0} = 0,25, \text{ bundan } l = 0,75l_0. \quad (\text{b})$$

(b) dan l ning qiymatini (a) ga keltirib qo'yamiz va hosil bo'lgan munosabatning ikki tomonini kvadratga ko'tarib, v ga nisbatan yechamiz. U holda:

$$v^2 = c^2 [1 - (0,75)^2] \text{ bo'ladi, bundan } v = c\sqrt{1 - (0,75)^2}.$$

Hisoblash:

$$v = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \sqrt{1 - (0,75)^2} = 1,98 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

2- masala. Kosmik nurlar tarkibidagi mezon yorug'lik tezligining 95% ni tashkil qiluvchi tezlikda harakat qilmoqda. Mezon «xususiy vaqti»ning bir sekundiga yerdan kuzatuvchi soatining qancha vaqt oralig'i mos keladi?

$$\text{Berilgan: } v = 0,95c, \tau_0 = 1\text{s}; c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Topish kerak: τ — ?

Yechilishi. Mezonning τ_0 «xususiy vaqti» unga biriktirilgan soat bo'yicha o'lchanadi. Yerdagi kuzatuvchi soati mezonga nisbatan harakatlanuvchi sistemaga biriktirilgan, shu sababli uning yordamida o'lchangan vaqt τ ga teng bo'ladi. Nisbiylik nazariyasiga ko'ra, bu vaqtni

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

formuladan foydalanib hisoblab topiladi.

Hisoblash:

$$\tau = \frac{1\text{s}}{\sqrt{1 - (0,95)^2}} = \frac{1}{0,31}\text{s} = 3,2\text{s}.$$

3- masala. Ikkita reaktiv samolyot bir-biriga tomon qarshi kurs bo'yicha uchib kelmoqda (165-rasm). Yerga nisbatan ularning tezliklari mos ravishda $1500 \frac{\text{km}}{\text{soat}}$ va $3000 \frac{\text{km}}{\text{soat}}$ ga teng bo'lsin. Ikkinchi samolyotdagi yo'lovchining hisoblashi bo'yicha birinchi samolyotning tezligi qanday bo'ladi?

Berilgan:

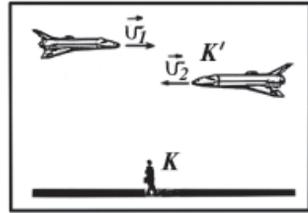
$$v_1 = 1500 \frac{\text{km}}{\text{soat}}; \quad v = 3000 \frac{\text{km}}{\text{soat}};$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 10,8 \cdot 10^8 \frac{\text{km}}{\text{soat}}.$$

Topish kerak: v_2 — ?

Yechilishi. Bitta kuzatuvchi Yerda (K sistema),

ikkinchi kuzatuvchi esa v_2 tezlik bilan harakatlanayotgan samolyotda (K' sistema) turibdi. Tezliklarni qo'shishning relyativistik qonuniga ko'ra ikkinchi samolyotdagi yo'lovchining hisoblashi bo'yicha birinchi samolyotning tezligi quyidagi formuladan aniqlanadi:



165- rasm.

$$v_2 = \frac{v_1 + v}{1 + \frac{v_1 \cdot v_2}{c^2}}.$$

Hisoblash:

$$v_2 = \frac{(1500 + 3000) \frac{\text{km}}{\text{soat}}}{1 + \frac{1500 \cdot 3000}{(10,8 \cdot 10^8)^2}} = 4499,999 \frac{\text{km}}{\text{soat}}.$$

Tezliklarni qo'shishning klassik qonuniga ko'ra:

$$v_2 = v_1 + v = 1500 \frac{\text{km}}{\text{soat}} + 3000 \frac{\text{km}}{\text{soat}} = 4500 \frac{\text{km}}{\text{soat}}$$

bo'ladi. Ko'rinib turibdiki, reaktiv samolyotlar uchun ham klassik fizika juda yaxshi yaqinlashishni ta'minlay olar ekan.

4- masala. Harakatdagi elektronning massasi qanday tezlikda uning tinch holatdagi massasidan ikki marta katta bo'ladi?

$$\text{Berilgan: } \frac{m}{m_0} = 2; \quad c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Topish kerak: v — ?

Yechilishi. Berilgan inersial sanoq sistemasida jism massasining uning harakat tezligiga bog'liqligi quyidagicha ifodalanadi:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

bunda: m_0 — jismning tinch holatdagi massasi; m — jismning sanoq sistemaga nisbatan v tezlik bilan harakatlangandagi massasi. Masalaning shartiga ko'ra:

$$\frac{m}{m_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 2; \quad \text{bundan: } \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{1}{2}.$$

So'nggi ifodaning ikki tomonini kvadratga ko'tarib, v tezlikka nisbatan yechsak, u holda:

$$v = \frac{\sqrt{3}}{2}c.$$

Hisoblash:

$$v = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 2,6 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

5- masala. Elektron tezligi yorug'lik tezligining 95% ni tashkil qilishi uchun u qanday tezlashtiruvchi potentsiallar ayirmasidan o'tishi lozim?

$$\text{Berilgan: } \frac{v}{c} = 95\% = 0,95; \quad m_0 = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}; \quad e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C};$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Topish kerak: U — ?

Yechilishi. Elektron U tezlashtiruvchi potentsiallar ayirmasini o'tganda u v tezlikka erishadi va energiyasi ΔE ga ortadi. Energiya bilan massa orasidagi bog'lanishga ko'ra, $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$ va, ikkinchi tomondan, $\Delta E = eU$ bo'ladi, bunda: e — elektronning zaryadi; Δm — tezlatilgan elektron massasining orttirmasi (massa defekti). Bu ifodalardan:

$$\Delta m \cdot c^2 = eU \quad \text{va} \quad U = \frac{\Delta m \cdot c^2}{e} \quad (\text{a})$$

munosabatni hosil qilamiz. Δm ning qiymatini:

$$\Delta m = m - m_0 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 \quad (\text{b})$$

ifodadan aniqlash mumkin. (b) ni (a) ga keltirib qo'ysak:

$$U = \frac{c^2}{e} \left(\frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 \right) = \frac{m_0 \cdot c^2}{e} \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right).$$

Hisoblash:

$$U = \frac{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 9 \cdot 10^{16} \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} \left(\frac{1}{\sqrt{1 - (0,95)^2}} - 1 \right) = 1,14 \cdot 10^6 \text{ V} = 1140 \text{ kV}.$$

Mustaqil yechish uchun masalalar

105. Yorug‘lik $1 \cdot 10^{-16}$ s davomida qancha masofani bosib o‘tadi?

106. Harakatdagi jismning bo‘ylama o‘lchami ikki barobar kichrayishi uchun u qanday tezlikka erishishi kerak?

107. Kosmik nurlarning mezonlari yorug‘lik tezligining 95% ga teng tezlik bilan harakatlanayotgan bo‘lsa, mezon o‘lchamining relyativistik qisqarishi qanday?

108. Beqaror zarracha yorug‘lik tezligining 99% ni tashkil etuvchi tezlik bilan harakat qilsa, uning yashash vaqti (qo‘zg‘almas kuzatuvchining soati bo‘yicha) necha marta uzayadi?

109. Yerga tomon v tezlik bilan harakatlanayotgan yulduz tomonidan nurlantirilayotgan yorug‘lik Yerga $c+v$ tezlik bilan emas, balki c tezlik bilan yaqinlashishini isbot qiling.

110. Tezlatkich radioaktiv yadroga $1,2 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlik beradi. Tezlatkichdan chiqish paytida yadro o‘z harakati yo‘nalishida tezlatkichga nisbatan $2,25 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ tezlikka ega bo‘lgan elektronni chiqaradi. Elektronning yadroga nisbatan tezligini toping.

111. $v = 0,999$ s tezlik bilan harakatlanayotgan elektronning relyativistik massasi uning tinchlikdagi massasidan necha marta katta bo‘ladi?

112. Harakatdagi jismning relyativistik massasi uning tinchlikdagi massasiga nisbatan 20% ga ortdi. Bunda uning uzunligi necha marta qisqargan?

113. Elektron $200 \frac{\text{Mm}}{\text{s}}$ tezlik bilan harakatlanmoqda. Elektronning kinetik energiyasini klassik va relyativistik formulalar bo‘yicha hisoblab, natijalarni taqqoslang.

114. Energiyaning 1 J o‘zgarishi massaning qanday o‘zgarishiga muvofiq keladi?

115. Massaning elektronning tinch holatdagi massasi kattaligicha o‘zgarishiga muvofiq keluvchi energiya o‘zgarishini toping.