

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'liqlar, 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 nochiqiqiy 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.

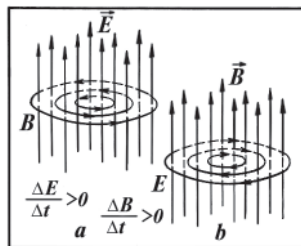
1. *Vaqt davomida o‘zgaruvchi magnit maydon o‘zgaruvchan elektr maydonni yuzaga keltiradi.*

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.



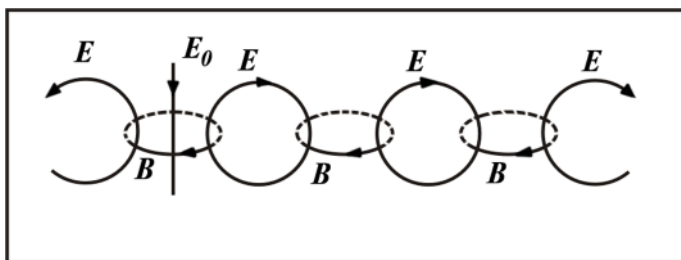
1- rasm.

**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 rasmdan 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).

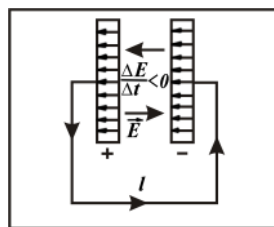
O'zgaruvchan elektr maydonni Maksvell **siljish toki** deb atagan. Bu maydonning tok deb atalishiga sabab shuki, bu maydon xuddi odatdagi tok singari magnit maydon hosil qiladi.

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 Joul — 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 qoplamalarini birlashtiruvchi o'tkazgichda oqayotgan to'liq tokni o'tkazuvchanlik tokiga teng deb, qoplamalar orasida to'liq tokni siljish tokiga teng deb hisoblash mumkin. U holda qoplamalarning 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  $\Phi$  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  $\Phi$  magnit induksiya oqimi  $\vec{B}$  magnit induksiya vektori bilan quyidagi formula orqali bog‘langan (2- kitob, 77- § ga qarang):

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

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):

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

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

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

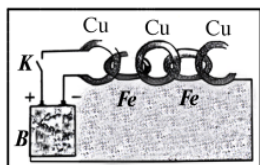
formulalar orqali bog‘lanishda ekanligini eslatib o‘tamiz, bunda:  $\mu$  — muhitning magnit singdiruvchanligi,  $\epsilon$  — dielektrik kirituvchanligi,  $\epsilon_0$  va  $\mu_0$  lar\* mos ravishda elektr va magnit doimiylari.

(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

---

\* $\epsilon_0, \mu_0$  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'lqinlardan iborat, degan xulosaga keladi va yorug'likning elektromagnit nazariyasini yaratishga muvaffaq bo'ldi. Keyinchalik elektromagnit to'lqinlar 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.

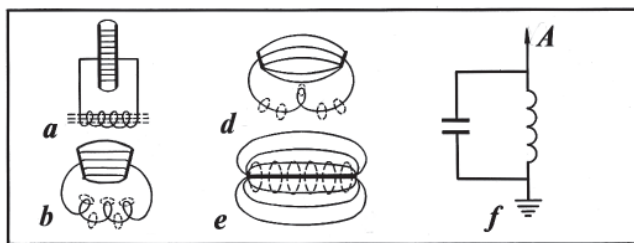
Maksvellning xulosalari fizikaviy dunyoqarashning rivojlanishi uchun katta ahamiyatga ega bo'ldi. *Birinchi marta* matematik tenglamalar yordamida fizik jismlardan farq qiluvchi fizik obyekt — elektromagnit maydon tavsiflandi. *Birinchi marta* yorug'likka elektromagnit to'lqin sifatida qaraldi. *Birinchi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

#### **4- §. Elektromagnit to'lqinlar. Gers tajribalari**

Biz avvalgi paragrafda 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'lqin** deb ataladi. *Davriy ravishda o'zgaradigan elektromagnit maydonning fazoda tarqalish jarayoni **elektromagnit to'lqin** deyiladi.*

Maksvell o'z nazariyasida elektromagnit to'lqinlarning mavjudligini oldindan aytibgina qolmay, balki u bu to'lqinlarni 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'lqinlar 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).

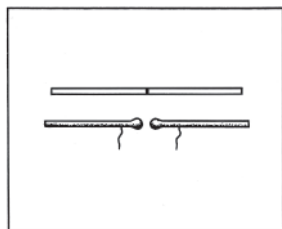


5- rasm.

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.

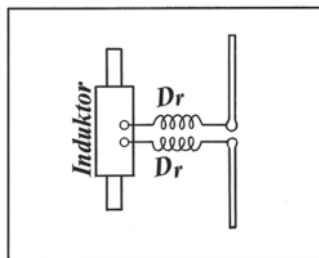
Ochiq tebranish konturida elektromagnit tebranishlar uyg'otish uchun o'tkazgich (metall sterjen)ning o'rtasidan qirqib, havo oralig'i hosil qilish kerak. Bu oraliq **uchqun oraliq** deb ataladi (6- rasm). Sig'imni orttirish uchun tebranish konturini hosil qiluvchi sterjenlarning uch- qun oraliq tomonidagi 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 vibrator** 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.



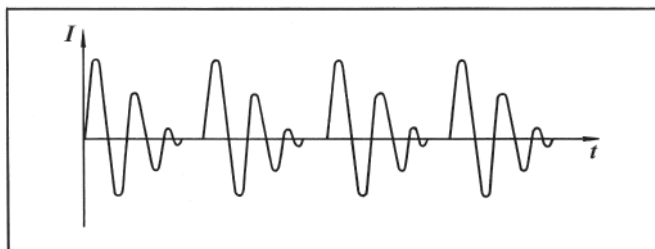
7- rasm.

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 – (trioid)dan foydalanib, bunday avtotebranish konturi hosil qilish mumkin bo'ladi.



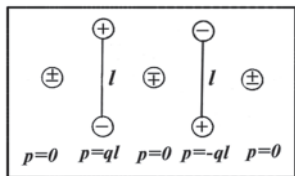
8- rasm.

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

## 5- §. Yassi elektromagnit to'liqlar. To'liqlar tenglamasi

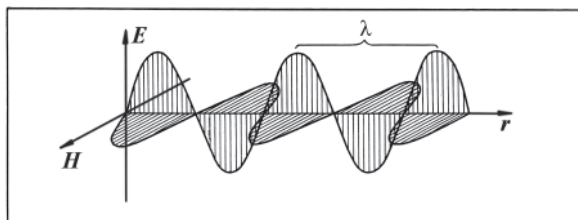
Elektromagnit to'liqlarning manbalari turli-tuman o'zgaruvchan toklar, jumladan, o'tkazgichlardagi o'zgaruvchan tok, ionlar, elektronlar va boshqa zaryadli zarralarning tebranma harakatlari bo'lishi mumkin. O'zgaruvchan tokka ekvivalent eng sodda sistema  $p$  momenti garmonik o'zgaruvchan bo'lgan elektr 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'liqlar tarqaladi.

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



9- rasm.

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



10- rasm.

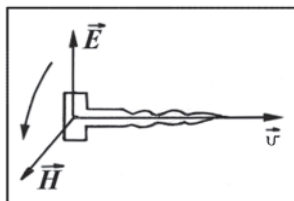
2.  $\vec{H}$  magnit maydon kuchlanganlik vektori elektromagnit to'liqlar tarqalishi yo'nalishiga perpendikulyar tekislikda tebranadi.

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'liqinni shunday ikki o'zaro perpendikulyar tekisliklarda yotuvchi sinusoidalalar shaklida (10- rasm) tasvirlash mumkinki, bunda to'liqn 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'liqn 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 ( $90^\circ$  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'liqn chastotasi deb ataladigan chastota bilan bir xil chastotada garmonik tebransa, bunday to'liqn **monoxromatik elektromagnit to'liqn** deb ataladi. Sinusoidal to'liqn monoxromatik to'liqn bo'ladi.  $\omega$  siklik chastota bilan sinusoidal tebranayotgan to'liqinni manbadan yetarlicha uzoq masofada yassi to'liqn deb hisoblash mumkin. X o'qi bo'yicha tarqalayotgan yassi elektromagnit to'liqn 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,  $\alpha_0$  — 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:  $\epsilon_0$  va  $\mu_0$  — mos ravishda elektr va magnit doimiylari;  $\epsilon$  — elektromagnit to‘lqin tarqalayotgan muhitning dielektrik kirituvchanligi;  $\mu$  — 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:

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

Agar elektromagnit to'liqlar vakuumda tarqalayotgan bo'lsa, u holda  $\epsilon=1$  va  $\mu=1$  bo'ladi. Binobarin, elektromagnit to'liqlarning 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'liqlarning muhitda tarqalish tezligi vakuumdagi tezligidan  $\sqrt{\epsilon \mu}$  marta kichik ekan.

(13) formulaga  $\epsilon_0$  elektr va  $\mu_0$  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'liqlarning 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'liqlardan iborat*, degan xulosaga olib keldi.

Elektromagnit to'liqlar ham barcha to'liqin jarayonlar kabi  $T$  — tebranishlar davri;  $\omega$  — tebranishlarning siklik chastotasi;  $\nu$  — tebranishlar chastotasi;  $\lambda$  — to'liqin uzunligi kabi parametrlar bilan xarakterlanadi.

*Elektromagnit to'liqinning bir tebranish davriga teng vaqt davomida ko'chish masofasiga to'liqin uzunligi deyiladi, yoki elektromagnit to'liqinda bir xil fazada tebranayotgan bir-biriga eng yaqin nuqtalar orasidagi masofa to'liqin uzunligi deyiladi (10- rasmga qarang). (Bu nuqtalarning tebranish fazalari  $2\pi$  ga farq qilishi ravshan).*

Shunday qilib, agar bir jinsli muhitda to'liqinning tarqalish tezligi  $v$  bo'lsa, tebranish davri, chastotasi, to'liqin uzunligi bilan tezlik orasida quyidagicha munosabat bor:

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

Vakuumdagi:

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

bo'ladi, bunda:  $\lambda_o$  — vakuumdagi to'liqin uzunligi. To'liqinning tarqalish tezligi muhitni xarakterlovchi elektr va magnit kattaliklar  $\epsilon$  va  $\mu$  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.

Tebranshlarning 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  $2\pi$  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:

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

yoki:

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

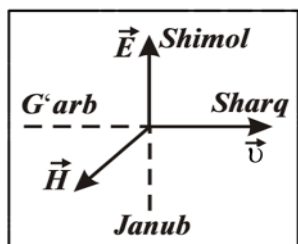
### Takrorlash uchun savollar

1. Maksvellning elektromagnit maydon nazariyasi asosida qanday g'oyalar 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'rinishda qanday yoziladi? Fizik mazmunini tushuntiring.
6. Makvell tenglamalari dijjersial 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'liqin 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'liqlarning manbai bo'la olishini tushuntiring.
16. Nurlatkichdan tarqalayotgan elektromagnit maydonning Maksvell nazariyasidan kelib chiqadigan va ko'p tajribalarda isbotlangan qanday xususiyatlarini bilasiz?
17. Elektromagnit to'liqinda  $\vec{E}$ ,  $\vec{H}$  va  $\vec{v}$  vektorlar bir-biriga nisbatan qanday joylashgan? Ularning o'zaro joylashuvi qanday aniqlanadi?
18. Monoxromatik to'liqin deganda qanday to'liqinni tushunasiz?
19. Yassi elektromagnit to'liqin tenglamasini yozing va tushuntiring.
20. To'liqin soni nimani anglatadi?
21. Elektromagnit to'liqinda  $\vec{E}$  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'liqin tezligi ifodasini yozing va qanday kattaliklarga bog'liq ekanligini tushuntiring.
24. Elektromagnit to'liqin uzunligi, tebranishlar chastotasi va davri orasidagi bog'lanishlarni ifodalovchi formulalarni yozing.
25. Nima uchun elektromagnit to'liqin bir muhitdan ikkinchi muhitga o'tganda uning tezligi va to'liqin uzunligi o'zgaradi, chastotasi esa o'zgarmaydi?
26. Elektromagnit to'liqinning vakuumdagi to'liqin uzunligidan muhitdagi to'liqin uzunligi qanday kattalikka farq qiladi?

### **Masala yechish namunalari**

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



12- rasm.

kelayotgan magnit induksiya vektorining tebranishlari qanday oriyentatsiyalangan va televizion markaz antennaga nisbatan qanday yo'nalishda joylashgan?

*Yechilishi.* Televizioning qabul qiluvchi antenasi shunday oriyentatsiyalangan, bunda qabul qilinayotgan elektromagnit to'liqning elektr maydon kuchlanganlik vektorining tebranishlari yo'nalishi anten-

na uzunasi bilan mos tushadi. Binobarin, bu holda  $\vec{E}$  vektori tebranishlari shimol-janub yo'nalishida sodir bo'ladi. Elektromagnit to'liqida  $\vec{E} \perp \vec{H} \perp \vec{v}$ . Demak, magnit induksiya vektorining tebranishlari vertikal tekislikda sodir bo'ladi. Televizion markaz esa antennaga nisbatan sharq yoki g'arb tomonda joylashgan bo'ladi (12- rasm).

**2- masala.** Dielektrik kirituvchanligi 2 ga, magnit singdiruvchanligi taxminan 1 ga teng bir jinsli va izotrop muhitda elektromagnit to'liq  $X$  yo'nalishda tarqalmoqda. To'liqida magnit maydon kuchlanganlik vektorining tebranishlari:

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

sinusoidal qonun bo'yicha sodir bo'lsa, elektr maydon kuchlanganlik vektorining tebranishlari qanday qonun bo'yicha sodir bo'ladi? To'liqning shu muhitda tarqalish tezligini toping.

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

$$H_0 = 0,12 \frac{\text{mA}}{\text{m}} = 0,12 \cdot 10^{-3} \frac{\text{A}}{\text{m}};$$

$$\epsilon = 2; \mu = 1; \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}; \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}; c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

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

*Yechilishi.* Elektromagnit to'liqida elektr va magnit maydon kuchlanganliklari bir xil qonuniyat bo'yicha va bir xil fazada tebranadi. Shuning uchun quyidagi ifodani yozish mumkin:

$$E = E_0 \sin(\omega t - kx). \quad (21)$$

Bunda:  $E_0$  — elektr maydon kuchlanganligining amplitudasi, uning kattaligini  $E_0$  va  $H_0$  larni o'zaro bog'lovchi  $\sqrt{\epsilon\epsilon_0} E_0 = \sqrt{\mu\mu_0} H_0$  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'liqinning tarqalish tezligini esa quyidagi munosabatdan foydalanib topish mumkin:

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

Bunda:  $c$  — to'liqinning 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'liqinning vakuumdagi uzunligini aniqlang.

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

*Topish kerak:*  $v$  —?  $\lambda_o$ —?

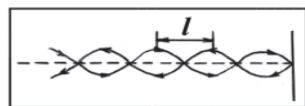
*Yechilishi.* Elektromagnit to'liqin uzunligi bilan chastotasi orasida

$\lambda = \frac{v}{\nu}$  bog'lanish mavjud. Bundan  $\nu = \frac{v}{\lambda}$ ; bunda:  $\lambda$  — to'liqinning spirtdagi uzunligi.

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

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

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



13- rasm.

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

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

dan aniqlanadi.

*Hisoblash:*

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

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

**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.

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

*Topish kerak:*  $\lambda=?$   $\nu=?$

*Yechilishi.* Masalaning shartiga ko'ra  $E$  vektorining tebranishlari

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

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:

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

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  $\lambda$  ni topsak,

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

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{c}{\lambda}.$$

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

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

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

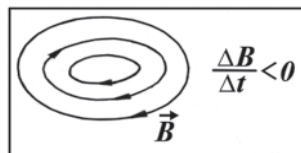
## Mustaqil yechish uchun masalalar

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.  $\sqrt{\epsilon \epsilon_o} E = \sqrt{\mu \mu_o} B$  munosabatdan foydalanib, magnit maydon



14- rasm.

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

3. Yassi elektromagnit to'lqin 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'lqinning tarqalish tezligini toping.

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

5. Tebranish konturining to'lqin 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'lqinning tarqalish tezligi qanday bo'ladi? To'lqin uzunligi vakuumdagi to'lqin 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'lqin uzunligiga moslangan? Agar kondensator qoplamalari orasidagi fazo parafin shimdirilgan qog'oz bilan to'ldirilsa, to'lqin uzunligi qanday o'zgaradi? Konturning qarshiligini hisobga olmang. Parafin uchun  $\epsilon=6$  deb oling.

8. Elektromagnit to'lqinlar 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'lqin uzunligi qanday bo'ladi? U vakuumdagi to'lqin 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:

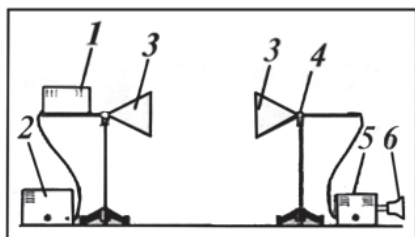
1) elektromagnit to‘lqinlar ko‘ndalang to‘lqinlarga kiradi, ya’ni

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

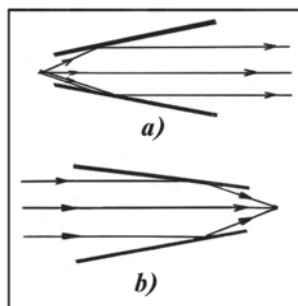
2) elektromagnit to‘lqinlar vakuumda yorug‘likning vakuumdagi tezligiga teng tezlik ( $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ) bilan tarqaladi;

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 ega. 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).



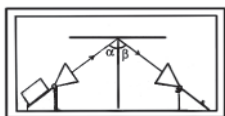
15- rasm.



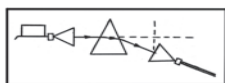
16- rasm.

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.

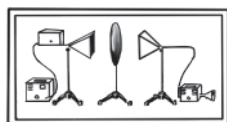
2. *Elektromagnit to'liqlarning qaytishi.* Endi antennalarni tutashtiruvchi to'g'ri chiziqqa perpendikulyar ravishda elektromagnit to'liq yo'lga metall plastinka joylashtiraylik. U holda hech qanday tovush signali eshitilmaydi. Bundan metall to'siq elektromagnit



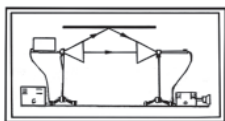
17- rasm.



18- rasm.



19- rasm.



20- rasm.

to'liqinni to'la qaytarishiga ishonch hosil qilamiz. To'liqinni metall to'siqqa ma'lum burchak ostida yo'naltirib, elektromagnit to'liqlar uchun ham qaytish qonunining bajarilishiga ishonch hosil qilamiz (17- rasm).

3. *Elektromagnit to'liqlarning sinishi.* Endi to'liqinning 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.

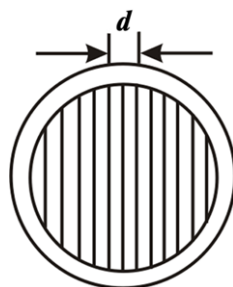
Agar to'liqinning yo'lga parafindan yasalgan linzani joylashtirsak, u holda qabul qiluvchi antenna karnayini linzaning fokusi atrofida u yoqdan-bu yoqqa siljitib, linzaning fokuslovchi ta'sirini sezamiz (19- rasm).

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

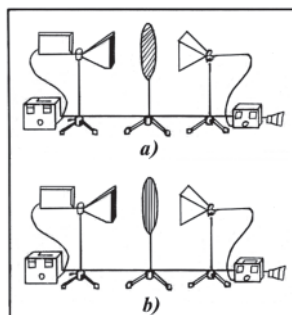
o'zgarganda, qabul qiluvchi antennaga yetib borgan va plastinkadan qaytgan to'qlinlarning yo'l ayirmasining o'zgarishi natijasida to'qlinlar yo bir-birini kuchaytiradi yoki susaytiradi, deb tushuntirish mumkin.

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  $\lambda$  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'liqin energiyasi. Umov-Poynting vektori**

Elektromagnit maydon energiyaga ega. Shuning uchun elektromagnit to'liqlar 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):

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

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

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

$\vec{E}$  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:

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

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

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

(12) formulaga muvofiq, elektromagnit to'liqinning tezligi quyidagi formula orqali ifodalanishini e'tiborga olsak:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\epsilon_o} \sqrt{\mu\mu_o}},$$

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).

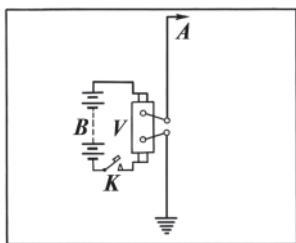
Binobarin,  $[\vec{E} \vec{H}]$  vektorning yo'nalishi energiyaning ko'chish yo'nalishi bilan mos tushadi, bu vektorning moduli esa  $EH$  ga teng (chunki  $\sin \alpha = \sin 90^\circ = 1$ ). Demak, *energiya oqimi zichligi vektorini*  $\vec{E}$  va  $\vec{H}$  vektorlarning vektor ko'paytmasi ko'rinishida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

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

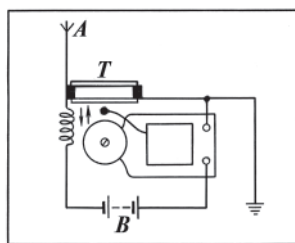
Energiya oqimi zichligining vektori tushunchasini birinchi bo'lib 1874- yilda umumiy holda topgan va uni elastik to'liqlarga tatbiq etgan rus olimi N.A. Umov edi. 1884- yilda ingliz fizigi J .G. Poynting esa bu vektorni xususiy holda elektromagnit to'liq uchun tatbiq etdi. Shu sababli  $\vec{S}$  vektor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

A.S. Popov o'z tajribasida elektromagnit to'liqlarni 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'liqlar tarqata boshlaydi. Bu to'liqlar 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'liqlarni 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'liqin kelgan paytda kogerer orqali ulanadi. To'liqin 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'liqinni qabul qilishga tayyor bo'ladi.

Shunday qilib, Popov priyomnigida elektromagnit to'liqlarning 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'liqlar 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'liqin energiyasi chastotaning to'rtinchi darajasiga proporsionaldir. Shu sababli past chastotali (tovush chastotali) elektromagnit to'liqlar deyarli tarqalmaydi. Yuksak chastotali, masalan, lampali generatorda generatsiyalanadigan to'liqlar yaxshi tarqaladi. Lekin bu to'liqlar 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'liqlarni tovush tebranishlari ta'sirida o'zgartirish kerak.

Radiotexnikada foydalaniladigan elektromagnit to'liqlarni **radioto'liqlar** deb ataladi. Radioto'liqlarning chastotalari  $3 \cdot 10^4$  Hz dan  $3 \cdot 10^{11}$  Hz oraliqda, to'liq uzunliklari esa mos ravishda  $10 \cdot 10^4$  m dan  $1 \cdot 10^{-3}$  m oralig'ida yotadi. Radioto'liqlarni 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'liqlarga ajratiladi.

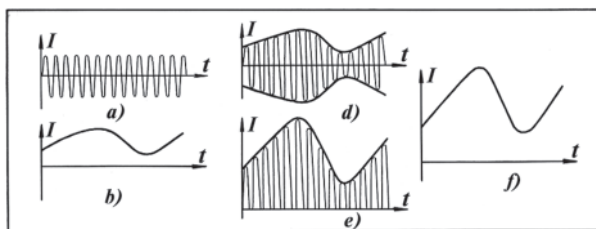
*Peredatchikdan priyomnikka tarqalayotgan radioto'liq parametrlaridan birini uzatilayotgan axborotga moslab o'zgartirish modulyatsiya deb ataladi.*

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'liqlar)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'liq radiosignal deb ataladi.*

Agar to'liqning 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'liqdan foydalanadi.

25- a rasmda yuqori chastotali radioto'liq tasvirlangan, bunda  $I$  — tok kuchi,  $t$  — vaqt. Bu radioto'liqning 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 dan maxsus usul bilan yana past chastotali (tovush) signalini ajratib olish kerak.

*Priyomnikka peredatchikdan kelayotgan modulyatsiyalangan signal dan 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.

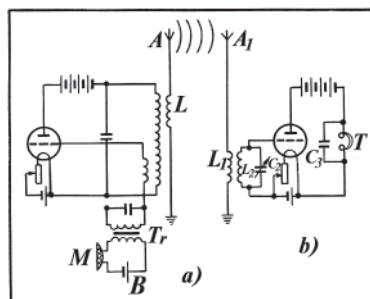
Detektor zanjirida radiosignal to'g'rilanadi va kuchaytiriladi (25- *e* rasm), so'ng undan tovush signallari ajratib olinadi (25- *f* rasm). Sxemasida detektori bo'lgan priyomnikni **detektorli priyomnik** deyiladi. (Detektorning ishlash prinsipi bilan keyingi mavzuda tanishamiz).

## 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 sodd 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'liqlari tushsa, membrana bu tovush to'liqlariga 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.

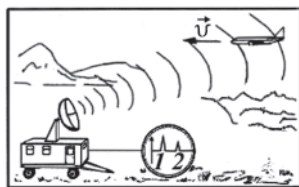
## 12- §. Radiolokatsiya

Radioaloqa qoʻllaniladigan 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.

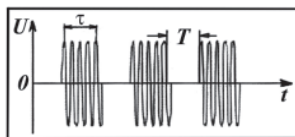
Quyuq bulut bilan qoplanganligiga qaramay bu sayyora sirtining aniq tasvirlari olingan. Radiotoʻlqinning qalin bulut qatlami orqali kam yutilish bilan oʻtish va turli jismlar sirtidan qaytaruvchi qoplamaning fizik xususiyatlariga bogʻliq holda qaytish xossalari tufayligina shunday aniq tasvirlarni olish imkoni boʻldi.

Radiolokatsiya ultraqisqa (odatda detsimetrli) radiotoʻlqinlarning toʻsiqlardan, buyumlarning sirtidan qaytishiga asoslangan. Radiolokatsiya yordamida 200—300 km masofadagi yirik buyumlar, masalan, qorongʻilikda yoki tuman ortida yashiringan samolyotlar, kemalar, aysbergning turgan joylarini aniqlash mumkin. Bu maqsadda maxsus asbob — radiolokatoridan foydalaniladi.

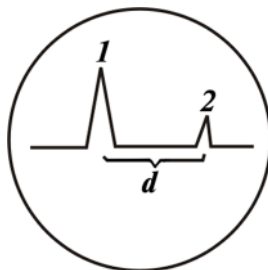
Buyumlarning turgan joylari quyidagicha aniqlanadi. Juda qisqa vaqt oraligʻi davomida radiolokator fazoga radiotoʻlqinlarning ingichka dastasini — elektromagnit toʻlqin impulsini yuboradi (27- rasm). Bunday impuls sifatida, odatda, amplitudasi toʻgʻri burchakli impuls bilan modulyatsiyalangan radiotoʻlqinlardan 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 koʻrinishida qaytadi va lokator priyomnigi bilan tutiladi. Joʻnatilgan va qaytgan elektromagnit impulslar lokatordagi elektron-nur trubka ekranida vaqt boʻyicha gorizontaal yoyilishda 1 va 2 signallar koʻrinishida paydo boʻladi (29-rasm). Lokator impulslarni qisqa vaqt oraligʻida davriy ravishda joʻnatib turadi.



27- rasm.



28- rasm.



29- rasm.

Bir sekunda joʻnatilayotgan impulsning soni katta, taxminan bir necha ming tartibida boʻladi. Shuning uchun ekranda 1 va 2 signallar doim koʻrinib turadi. Impulsning joʻnatilgandan toʻana shu impulsni qayta qabul qilingan paytgacha oʻtgan  $t$  vaqtning kattaligi gorizonta 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:

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

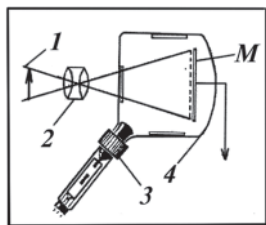
bunda:  $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  — elektromagnit impulsning tarqalish tezligi.

Agar kuzatilayotgan buyum tinch holatda boʻlmay, balki harakatlanayotgan boʻlsa, u holda lokatordan ungacha boʻlgan masofa oʻzgarishi bilan elektron nurli trubka ekranidagi 2 signalning vaziyati ham oʻzgaradi. Shunga koʻra 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 koʻpgina sohalarda ham qoʻllaniladi. Masalan, lokatorlar yordamida bulutlarning hosil boʻlishi va tarqalishini, atmosferaning yuqori qatlamlarida meteoritlarning uchishini kuzatish mumkin va hokazo. Bulut orqali yoki kechasi yerni kuzatish uchun samolyotlar lokatorlar bilan taʼminlanadi.

### 13- §. Telekoʻrsatuvlarning fizik asoslari

Telekoʻrsatuvlarni 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 telefonini *kineskop* bilan almashtiriladi.



30- rasm.

Ikonoskop maxsus yasalgan elektron-nur trubka boʻlib (30- rasm), unda lyuminessensiya ekrani oʻrnida *yorugʻlik sezgir M mozaika* boʻladi.

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 seziy 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.

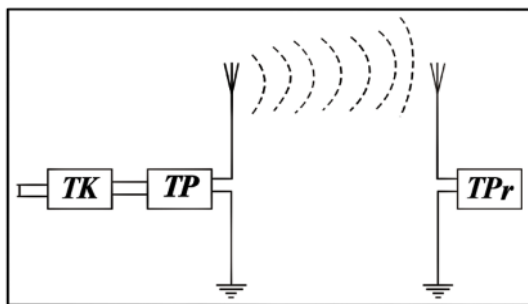
Mozaika yoritilganda kumush sharchadan elektronlar uzilib chiqadi va sharcha musbat zaryadlanib qoladi. Har bir sharchani yorug'lik ta'sirida zaryad to'play oladigan miniatyur (jajji) kondensator deb qarash mumkin. Kondensatorlarning zaryadi shu kondensatorni yoritib turgan yorug'lik intensivligiga bog'liq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

Uzatilayotgan 1 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 1 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 tebraniqlar 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 lyuminofofor bilan, shu bilan birga bu lyuminofoforlar hosil qiladigan satrlar navbatlashib keladigan qilib qoplangan. Yoyishda uchta elektron nurdan har biri shu nur intensivligini boshqaruvchi videosignallar qaysi rangga moslab modullangan bo‘lsa, lyuminofoforning o‘sha rangdagi satrlaridagina o‘tadi, televizor ekranida rangli tasvir hosil bo‘ladi.

Tasvir uzatish televidizion kanalining asosiy sxemasi 31- rasmda ko‘rsatilgan, bu yerda *TK* — televidizion kamera, *TP* — televidizion peredatchik, *TPr* — televidizion 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 aytsek 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'qlinlar xossalari qanday qurilma yordamida o'rganish mumkin? Sxemasini chizing va tushuntiring.
2. Elektromagnit to'qlinlarning to'g'ri chiziqli bo'ylab tarqalishini, to'siqdan qaytishini tushuntiring.
3. Elektromagnit to'qlinlarning ikki muhit chegarasida sinishini tushuntiring.
4. Elektromagnit to'qlinlarning interferensiyasini tushuntiring.
5. Elektromagnit to'qlinlar ko'ndalang to'qlinlar ekanligini isbotlovchi tajribani tushuntiring.
6. Elektromagnit to'qlinlarning energiyasi qanday fizik kattaliklarga bog'liq?
7. Elektromagnit to'qlinlarning 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'qlinlar 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. Radiopereodatchikning 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. Radiopereodatchik 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?

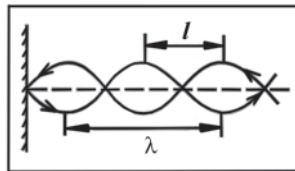
## **Masala yechish namunalari**

**1- masala.** Elektromagnit to'qlinlar generatori oldiga metall plastinka joylashtirib, turg'un to'qlin 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:* 
$$v = \frac{c}{2l}.$$

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

**2- masala.** Vakuumdagi  $X$  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:*  $E_o = ? \quad \bar{w} = ?$

*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:

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

Elektromagnit to'liqlar energiyasining zichligi:

$$w = \frac{\varepsilon_o\varepsilon E^2}{2} + \frac{\mu_o\mu H^2}{2} = \varepsilon_o\varepsilon E^2 = \mu_o\mu H^2$$

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'liqin energiyasi zichligi ham vaqtga bog'liq bo'lib, davriy ravishda o'zgarib turadi. Shuning uchun  $w$  ning vaqt bo'yicha o'rtacha qiymatini olamiz:

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

$\mu_o$ ,  $\mu$ ,  $H_o$  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:*  $\lambda=30\text{m}$ ;  $\nu_t=200\text{Hz}$ ;  $c=3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

*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:*

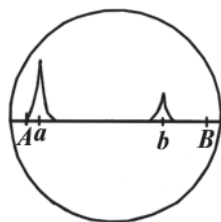
$$n = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{30\text{m} \cdot 200 \frac{1}{\text{s}}} = 50.000 = 5 \cdot 10^4.$$

**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  $\tau$  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  $\omega$  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 antennasidan 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 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'qlinlardan iboratdir. Inson ko'zi butun nurlanish tarkibidan faqat to'liq uzunligi  $3,8 \cdot 10^{-7}$  m dan  $7,7 \cdot 10^{-7}$  m gacha bo'lgan nurlarnigina ko'ra oladi. To'liq uzunligi  $3,8 \cdot 10^{-7}$  m dan qisqa bo'lgan nurlar **ultrabinafsha**, to'liq 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'liq uzunlikdagi yorug'lik, masalan, qizil, yashil, binafsha va shu kabi rangli yorug'liklar **monoxromatik yorug'lik** deyiladi. Yorug'lik turli uzunlikdagi to'qlinlardan 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'liqlari 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'liqlari 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  $\Phi$  yorug'lik oqimi deyiladi:*

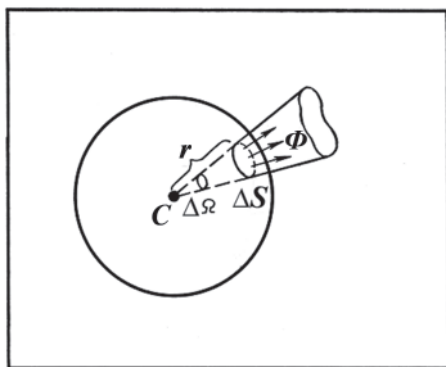
$$\Phi = \frac{W}{t}. \quad (28)$$

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  $\Phi_0$  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  $\Delta S$  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  $\Omega$  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  $4\pi$  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  $\Delta S$  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 m<sup>2</sup> 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 m<sup>2</sup> 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:  $\Delta S$  — 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:  $\varphi$  — 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  $\pi$  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

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

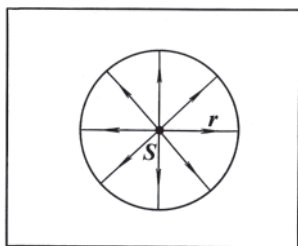
bo‘ladi. Bir tekis yorituvchi yassi sirtidagi bir kvadrat metr yuzning sirt normalini yo‘nalishidagi yorug‘lik kuchi bir kandelaga teng bo‘lsa, shu sirtning o‘z normalini yo‘nalishidagi ravshanligi bir nit bo‘ladi.

## 17- §. Yoritilganlik qonunlari

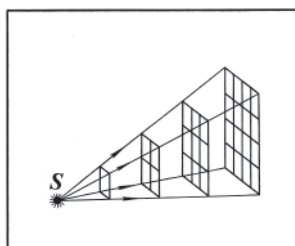
Kuzatishlarning ko‘rsatishicha, buyumlarning yoritilganligi manbaning yorug‘lik kuchiga va manbadan yoritilayotgan sirtgacha bo‘lgan masofaga bog‘liq holda o‘zgarar ekan. Bu bog‘lanishni aniqlaylik. Yoritilayotgan  $r$  radiusli shar bo‘lib, uning sirt markazida yorug‘lik kuchi  $I$  bo‘lgan nuqtaviy 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:

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



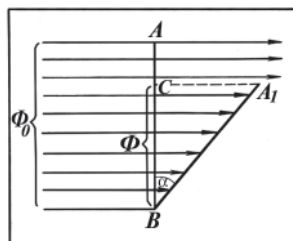
35- rasm.



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  $\Phi_0$  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  $\alpha$  burchakka og‘diramiz, unda sirt  $A_1B$  vaziyatni oladi va unga kamroq  $\Phi$  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:

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

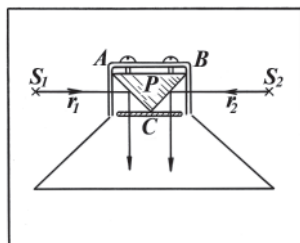
bo'ladi. Bu bog'lanish yoritilganlikning **ikkinchi qonunini** ifodalaydi: *yorituvchi sirtga yorug'lik nuri burchak ostida tushsa, sirtning yoritilganligi nurning tushish burchagi kosinusiga to'g'ri proporsionaldir.*

Yoritilganlikning ikkala qonunini birlashtirib, quyidagicha yozish mumkin:

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

*Nuqtaviy yorug'lik manbayining biror sirtga 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- rasml.

Sirtlarning yoritilganligini tenglashtirish yo'li bilan ikki manbaning yorug'lik kuchi taqqoslanadi. Shu maqsadda ishlatiladigan asboblarni **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.

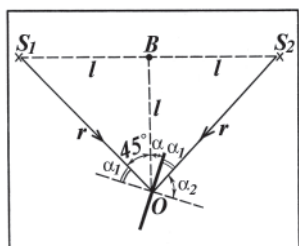
Faqat ikkala taqqoslanuvchi sirtlarning rangi bir xil bo'lgandagina ravshanliklarning tengligini ko'z bilan yetarli darajada aniq belgilash mumkin. Sirtlarning rangi bir-biridan ozgina farq qilganda ham ravshanliklarni taqqoslash juda qiyinlashadi, farq katta bo'lganda esa ravshanliklarni taqqoslash 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 chiziqlarning o'rtasidagi  $B$  nuqtadan uzunligi 1 m bo'lgan  $OB$  perpendikulyar o'tkazilgan (39- rasm).  $O$  nuqtada perpendikulyar bilan  $15^\circ$  burchak



39- rasm.

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

*Berilgan:*  $S_1S_2=2\text{m}$ ;  $OB=1\text{m}$ ;

$E_1=E_2=20\text{ lx}$ ;  $\alpha=15^\circ$ .

*Topish kerak:*  $I_1$  — ?  $I_2$  — ?

*Yechilishi.*  $S_1B$ ,  $S_2B$  va  $OB$  masofalarni  $l$  harfi bilan belgilaymiz;  $l = 1\text{m}$ .  $S_1O$  va  $S_2O$  nurlarni o'tkazamiz va bu nurlarning plastinkaga tushish burchaklarini mos ravishda  $\alpha_1$  va  $\alpha_2$  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  $S_1OB$  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:

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

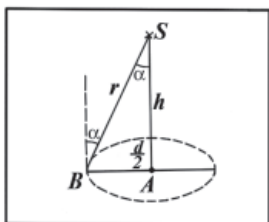
Bu ifodalardan manbalarining yorug'lik kuchini topamiz:

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

*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:

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

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

*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 sm<sup>2</sup> 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:*  $\Phi$ —?

*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 sm radiusli xira sferik plafon bilan o'ralgan. Lampaning ravshanligi va yorqinligini toping. Plafon shishada yorug'likning yutilishini hisobga olmag.

*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  $100 \text{ lx}$  ga teng. Shu sirtga nurlarning tushish burchaklari  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  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  $300 \text{ cm}^2$  bo'lgan qog'oz varag'i yoritiladi. Unga lampochkadan butun yorug'likning 0,5 foizi tushadi. Shu qog'oz varag'ining yoritilganligini toping.

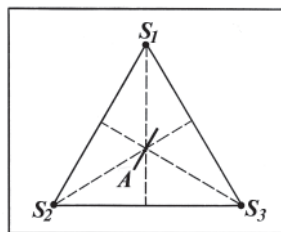
**23.** Quyoshning to'g'ri tushayotgan nurlari  $100000 \text{ lx}$  yoritilganlik hosil qiladi. Yorug'lik kuchi 1000 cd bo'lgan lampadan qanday masofada xuddi shunday yoritilganlik hosil qilish mumkin?

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

**25.** Bir ishni bajarish uchun stolning yoritilganligi  $10 \text{ lx}$  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  $1,2 \cdot 10^9 \text{ nt}$ .

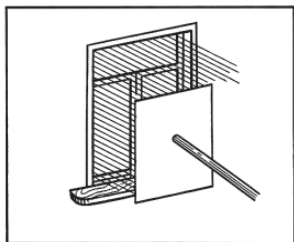
**27.** Teng tomonli uchburchakning uchlarida har birining yorug'lik kuchi 10 cd dan bo'lgan uchta lampa joylashtirilgan. Uchburchak markazida uning tomonlaridan biriga parallel va uchburchak tekisligiga tik holda plastinka joylashtirilgan (41- rasm). Shu plastinka ikkala sirtining yoritilganligini toping.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



41- rasm.

#### 19- §. Yorug'likning to'g'ri chiziqli 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).



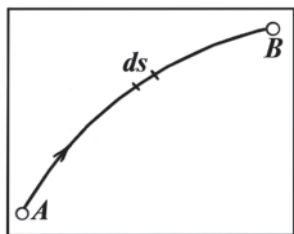
42- rasm.

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 chiziqli **yorug'lik nuri** deyiladi.

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

Yorug'lik biror muhitda  $AB$  yo'nalishda tarqalayotgan bo'lsin (43-rasm). Yo'lning  $dS$  bo'lagini bosib o'tish uchun yorug'lik

$dt = \frac{dS}{v}$  vaqt sarflaydi, bunda  $v$  — yorug'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

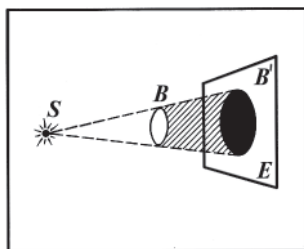
kattalik, binobarin,  $\int_A^B n \cdot dS$  integral minimal bo'lishi kerak. Bu kattalikni **yo'lning optikaviy uzunligi** deb ataladi. Bir jinsli muhitda yo'lning optikaviy uzunligi shu yo'lning geometrik uzunligi  $S$  bilan muhitning sindirish ko'rsatkichi  $n$  ning ko'paytmasiga teng:  $L=nS$ . 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 chiziqlarning uzunligi bilan mos tushishi kerak.

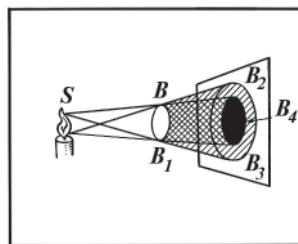
Haqiqatan ham, kuzatishlar bir jinsli muhitda yorug'likning to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalishini ko'rsatadi. Yorug'likning to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalishiga nuqtaviy manbadan kelayotgan yorug'lik yo'lga qo'yilgan buyumlar soyasining hosil bo'lishi yoki nuqtaviy bo'lmagan manbadan keladigan yorug'lik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

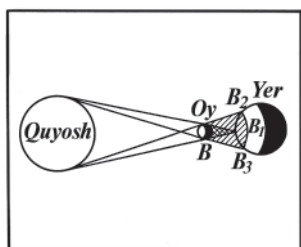
Agar  $S$  yorug'lik manbayi nuqtaviy bo'lmasa (45-rasm), manbaning har bir



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 Oyni 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.

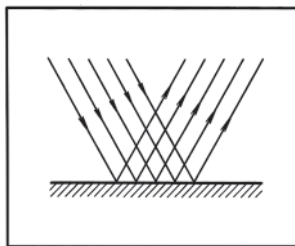
Bu ko'rib o'tilgan hodisalar yorug'likning to'g'ri chiziq bo'yicha tarqalishini tasdiqlaydi.

## 20- §. Yorug'likning qaytishi. Ko'zgu

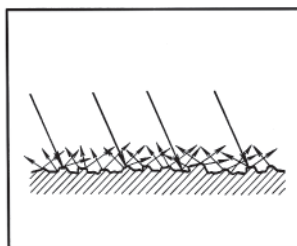
Tajriba va nazariyaning ko'rsatishicha, yorug'lik nuri shaffof muhitlarda yorug'likning vakuumdagi tezligidan kichik bo'lgan tezliklar bilan tarqalar ekan. Turli shaffof muhitlarda yorug'likning tarqalish tezligi turlicha bo'ladi. Barcha nuqtalarida yorug'likning tarqalish tezligi bir xil bo'lgan muhit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

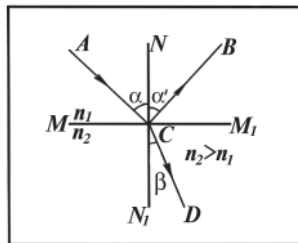


47- rasm.



48- rasm.

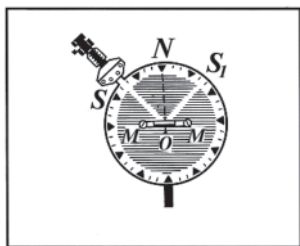
Agar sirtidagi notekisliklarning o'lchami yorug'lik to'liqini uzunligidan katta bo'lsa, ingichka shu'la chegarada sochiladi. Yorug'lik nurlari qaytgandan keyin turli yo'nalishlarda tarqaladi. Bunday qaytish **tarqoq qaytish** (yoki **diffuz qaytish**) deb ataladi (48- rasm). O'zi yorug'lik tarqatmaydigan 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  $\alpha$  burchakka yorug'likning **tushish burchagi** deyiladi (49- rasm). Qaytgan  $CB$  nur bilan  $CN$  perpendikulyar orasidagi  $\alpha'$  burchak yorug'likning **qaytish burchagi** deyiladi. Singan  $CD$  nur bilan  $CN_1$  perpendikulyar orasidagi  $\beta$  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.

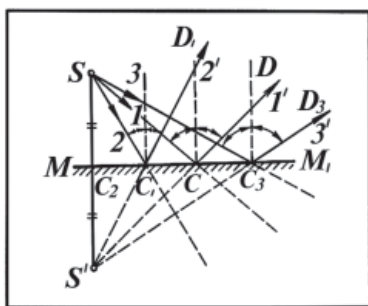
Yorug'likning qaytish qonunini quyidagi tajriba asosida kuzatamiz. Darajalarga bo'lingan doiraviy disk markaziga  $MM$  yassi ko'zguni shunday joylashtiramizki, unda  $ON$  normal, tushuvchi  $SO$  va qaytuvchi  $OS_1$  nurlarni kuzatishimiz mumkin bo'lsin (50- rasm). Bunda  $O$  nuqta nurning tushish nuqtasi bo'ladi. Yorug'lik manbayi  $S$  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.

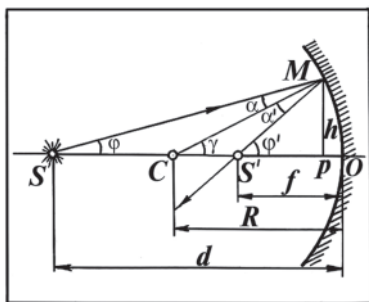
hosil qiladi. Agar bunday tarqaluvchi nurlar dastasi ko'zimizga tushsa, bizning nazarimizda bu nurlar xuddi ularning xayoliy davomlarining kesishishida yotgan  $S'$  nuqtasiga joylashgan yorug'lik manbayidan chiqayotganday tuyuladi. Bunday holda  $S'$  nuqta yorug'lik sochayotgan  $S$  manbaning yassi 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'zgugacha bo'lgan  $OS=d$  masofa, shu nuqta tasviri  $S'$  dan ko'zgugacha bo'lgan  $OS'=f$  oraliq va sferik ko'zgu radiusi  $OC=R$  orasidagi bog'lanishni topaylik. Ravshanki,  $\alpha$  — tushish burchagi bo'ladi, chunki bu burchak tushayotgan nur va shar sirtiga perpendikulyar bo'lgan  $MC=R$  radius orasida hosil bo'ladi,  $\alpha'$  — 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:

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

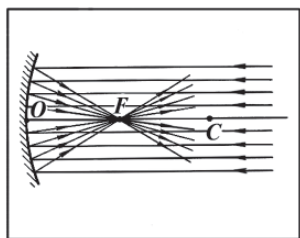
Paraksial nurlar bilan ish ko'rilayotgani uchun bu burchaklarning hammasi juda kichik bo'ladi va ular uchun quyidagi taqribiy tengliklarni yozish mumkin:

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

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

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

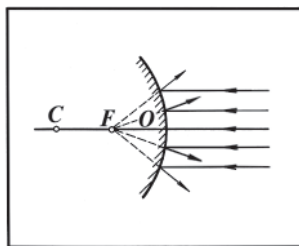
Bu formula  $S$  nuqtadan chiqayotgan boshqa nurlar uchun ham o'rinlidir, shuning uchun barcha qaytgan nurlar  $S'$  nuqtada kesishadi, ya'ni  $S'$  nuqta  $S$  nuqtaning tasviri bo'ladi.



53- rasm.

Agar  $d \rightarrow \infty$  bo'lsa, u holda  $f = \frac{R}{2}$  bo'ladi, biroq  $d \rightarrow \infty$  bo'lganda ko'zguga tushayotgan nurlar optik o'qqa parallel, binobarin, bu nurlar ko'zgudan 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.

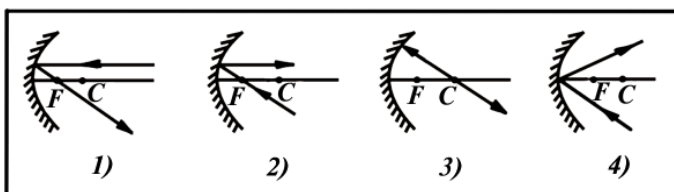
$$D = \frac{1}{f} = \frac{2}{R} \quad (47)$$

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

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

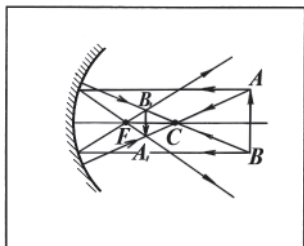
## 23- §. Sferik ko'zguda tasvir yasash. Sferik ko'zguning kattalashtirishi

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'zgudan 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:

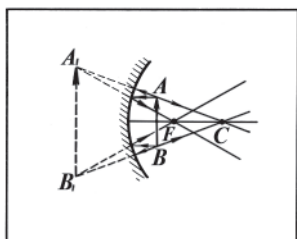


55- rasm.

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.



56- rasm.



57- rasm.

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;

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- rasmi) hamma vaqt mavhum, to'g'ri va kichiklashgan bo'ladi.

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

deyiladi, ya'ni  $k = \frac{A_1 B_1}{AB} = \frac{H}{h}$ , bunda  $h=AB$

buyumning o'lchami,  $H=A_1 B_1$  tasvirning o'lchami. 58- rasmdan chiziqli kattalashtirishni tasvirdan ko'zgugacha bo'lgan masofaning buyumdan ko'zgugacha bo'lgan masofaga nisbati orqali ifodalash mumkin ekanligi ko'rinib turibdi, ya'ni quyidagicha bo'ladi:

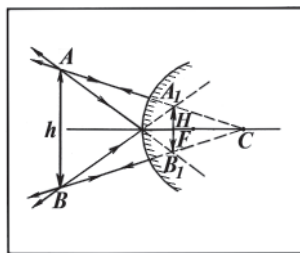
$$k = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}. \quad (48)$$

### Takrorlash uchun savollar

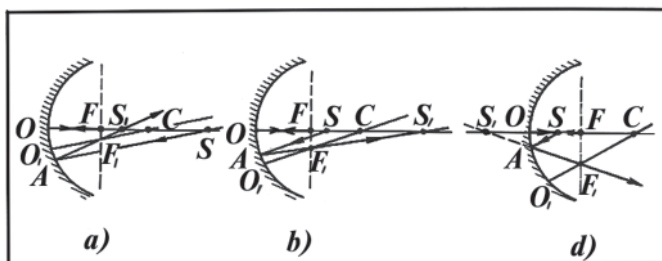
1. Ferma prinsipini tushuntiring.
2. Nima uchun buyumlar soyasi bo'ladi? To'liq soya bilan yarim soya qanday hosil bo'ladi?
3. Yorug'likning tekis va diffuzion qaytishini tushuntiring.
4. Yorug'likning qaytish qonunlarini ta'riflang.
5. Ko'zgu deb nimaga aytiladi? Qanday ko'zgularni bilasiz?
6. Sferik 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'zgular qayerlarda ishlatiladi?

### Masala yechish namunalari

**1- masala.** Botiq ko'zguning bosh optik o'qida yotuvchi shu'lalalanuvchi 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- rasmi.



59- rasm.

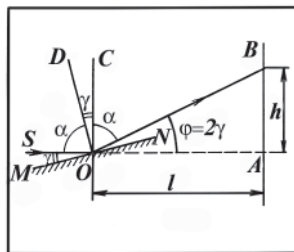
*Yechilishi.* 1. Ko'zguning  $C$  markazi orqali  $CO_1$  qo'shimcha optik o'qni o'tkazamiz (59- *a* rasm). So'ngra  $S$  nuqtadan  $CO_1$  ga parallel bo'lgan  $SA$  nurni o'tkazganimizda, bu nur ko'zgudan qaytganda fokal tekislikning  $O_1C$  optik o'q kesib o'tgan  $F_1$  nuqtasi orqali o'tadi,  $SA$  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 gorizontaal yo‘nalishda yorug‘lik nuri tushmoqda. Agar nurning yo‘liga yassi ko‘zgu kiritilsa, yorug‘lik dog‘i ekran bo‘ylab 3,5 sm yuqoriga siljiydi (60- rasm). Ko‘zgu bilan ekran orasidagi masofa 50 sm ga teng. Yorug‘lik nuri ko‘zguga 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:*  $\alpha$  —?

*Yechilishi.* MN yassi ko‘zguning O nuqtasiga tushayotgan SO nurni ko‘ramiz (60- rasmga qarang). Rasmda DO — ko‘zguga tushirilgan perpendikulyar, CO — SA—gorizontaal chiziqqa tushirilgan perpendikulyar, OB — ko‘zgudan qaytgan nur.

Rasmdan  $\angle DOC = 90^\circ - \alpha = \gamma$ ,  $\angle SOM = 90^\circ - \alpha = \gamma$  va  $\varphi = 2\gamma$  ekanligini ko‘rsatish qiyin emas. U holda  $\varphi = 2\gamma = 2(90^\circ - \alpha)$ , bundan

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

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

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

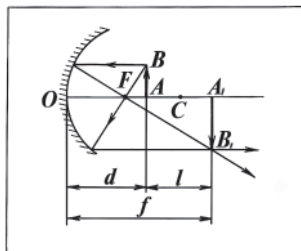
**3- masala.** Botiq sferik ko‘zgu buyumning 3 marta kattalashgan tasvirini beradi. Buyum bilan tasvir orasidagi masofa 28 sm ga teng. Ko‘zguning fokus masofasini toping.

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

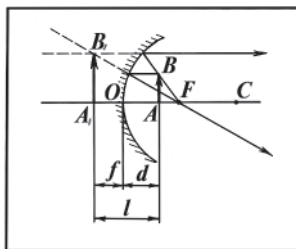
*Topish kerak:*  $F$ —?

*Yechilishi.* Botiq sferik ko‘zguda buyumning ikki holda kattalashgan tasviri hosil bo‘ladi.

1. Buyum ko‘zguning F fokusi bilan C egrilik markazi oralig‘ida turganda (61- rasm) tasvirni hosil qilish uchun bosh optik o‘qqa parallel va fokus orqali o‘tuvchi nurlardan foydalanamiz. Buyumning haqiqiy kattalashgan va teskari tasviri hosil



61- rasm.



62- rasm.

bo'ladi. Bu hol uchun  $f=d+l$ . Ko'zguning kattalashtirishidan  $f=kd$  bo'ladi. Bu ikkala munosabatda  $d$  ni topsak:

$$d = \frac{l}{k-1}$$

bo'ladi.  $f$  bilan  $d$  ning ifodalarini sferik ko'zguning fokus masofasi formulasiga keltirib qo'ysak, quyidagi formula hosil bo'ladi:

$$F = \frac{f \cdot d}{f + d} = \frac{kd \cdot d}{kd + d} = \frac{kd}{k+1} = \frac{kl}{(k+1)(k-1)}.$$

2. Buyum ko'zgu bilan uning fokus orasida turganda (62- rasm) buyumning mavhum, kattalashgan va to'g'ri tasviri hosil bo'ladi. Bu

hol uchun  $f=l-d$  va  $d = \frac{l}{k+1}$  bo'ladi.

Buyumning tasviri mavhum bo'lgani uchun sferik ko'zgu formulasidagi  $\frac{1}{f}$  hadning oldida minus ishorasi turadi. Shuni nazarga olsak, fokus masofasi:

$$F = \frac{f \cdot d}{f - d}$$

bo'ladi. Bu ifodaga  $f$  va  $d$  kattaliklarning qiymatlarini keltirib qo'yamiz, u holda:

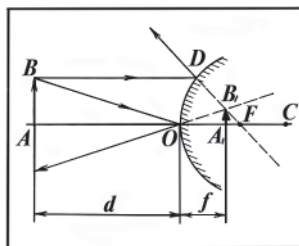
$$F = \frac{kd \cdot d}{kd - d} = \frac{kd}{k-1} = \frac{kl}{(k+1)(k-1)}$$

bo'ladi, ya'ni yana yuqoridagi munosabatga kelimiz.

$$\text{Hisoblash: } F = \frac{3 \cdot 0,28 \text{ m}}{4 \cdot 2} = 0,105 \text{ m.}$$

**4- masala.** Qavariq sferik ko'zguning egrilik radiusi 40 sm. Ko'zgudan 60 sm uzoqlikda buyum turibdi. Tasvirning vaziyatini aniqlang va chizmasi berilsin. Qanday tasvir hosil bo'ladi?

*Berilgan:*  $R=40 \text{ sm}=0,4 \text{ m}$ ;  $d=60 \text{ sm}=0,6 \text{ m}$ .



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:*

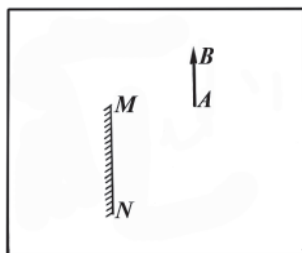
$$f = -\frac{0,4 \text{ m} \cdot 0,6 \text{ m}}{(2 \cdot 0,6 + 0,4) \text{ m}} = -0,15 \text{ m}.$$

### Mustaqil yechish uchun masalalar

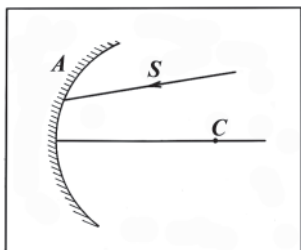
**28.** Yassi ko'zgu oldida stol lampasi turibdi. Agar ko'zgu lampadan 10 sm ga uzoqlashtirilsa, lampa bilan uning tasviri orasidagi masofa qancha o'zgaradi?

**29.** Gorizontal yorug'lik nuri vertikal joylashgan yassi ko'zguga tushadi. Ko'zgu o'z o'qi atrofida  $15^\circ$  burchakka burilsa, qaytgan nur qancha burchakka buriladi? Chizmasini chizing.

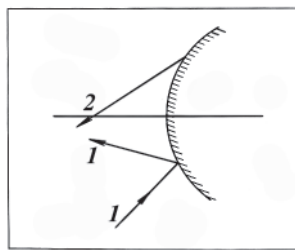
**30.**  $AB$  buyumning  $MN$  yassi ko'zgudagi tasvirini yasang (64-rasm). Tasvirni butunlay ko'rish uchun kuzatuvchining ko'zi qayerda joylashishi kerak?



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.

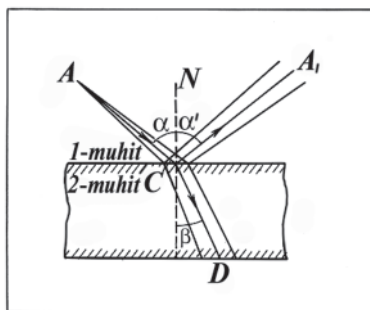
38. Qavariq sferik ko'zguning egrilik radiusi 60 sm. Ko'zgudan 10 sm uzoqlikda balandligi 2 sm bo'lgan buyum qo'yilgan. Tasvirning vaziyati va balandligini toping. Chizmasi berilsin.

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).

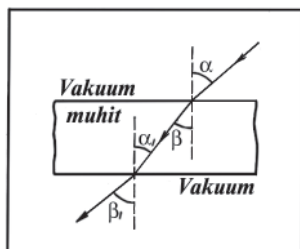
2. Tushish burchagi bilan sinish burchagi har qanday o'zgarganda ham tushish burchagi sinusining sinish burchagi sinusiga nisbati shu ikkala muhit uchun o'zgarmas kattalik bo'lib, ikkinchi muhitning birinchi muhitga nisbatan **nisbiy sindirish ko'rsatkichi** deyiladi:

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

bunda:  $\alpha$  — tushish burchagi;  $\beta$  — 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.

Vakuumda 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:

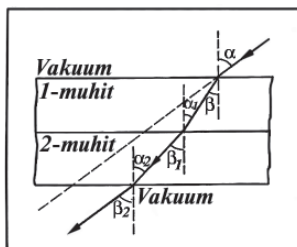
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \cdot \frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta_1} = 1.$$

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'r-satkichini, 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:

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

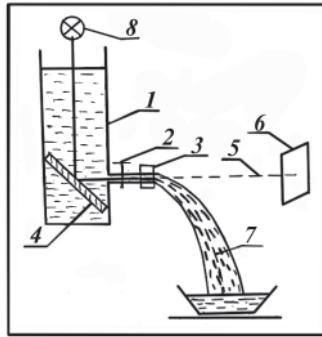
Bu munosabatdan foydalanib, yorug'likning sinish qonunini quyidagicha yozish mumkin:

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

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.

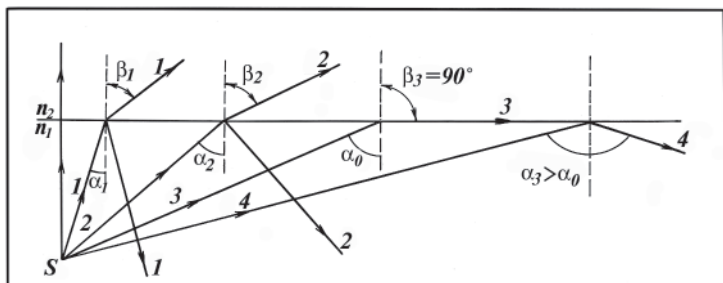
Idish atrofida hosil qilingan tutunda (6) ekranga tushayotgan yorug'likning (5) to'g'ri chiziqli dastasi aniq ko'rinadi. So'ngra (2) jo'mrak yopiladi, (3) gayka burab olinadi, (2) jo'mrakni ochib, (7) suv oqimi hosil qilinadi. Lekin endi yorug'lik dastasi (7) oqimdan chiqmaydi.

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  $\alpha$  sinish burchagi  $\beta$  dan kichik bo'lar ekan. Tushish burchagi kattalashgan sari sinish burchagi ham kattalashadi (71- rasm) va bunda biror  $\alpha_0$  tushish burchagida sinish burchagi  $90^\circ$  ga teng bo'ladi, ya'ni singan nur muhitlarning ajralish chegarasi bo'ylab sirpanadi;  $\alpha_0$  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  $\alpha_0$  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 hodisasidan 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.

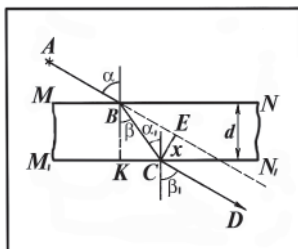
Hozirgi vaqtda uzun yorug'lik uzatkichlardan yorug'lik nurlari yordamida aloqa, televizion ko'rsatishlarni uzatish yo'lga qo'yilgan.

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.

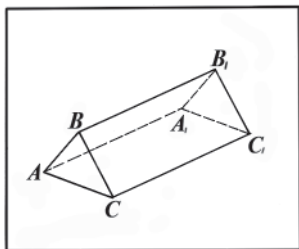
Binobarin:

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

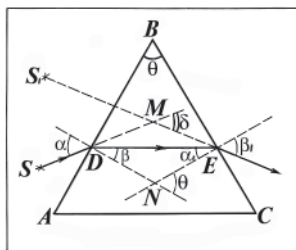
bo'ladi. Bu munosabatdan va shakldan ko'rinadiki, plastinka qancha qalin, sindirish ko'rsatkichi va yorug'lik nurining tushish burchagi qancha katta bo'lsa, nur shuncha ko'p siljiydi. Agar buyumni tekis parallel shisha orqasiga qo'yib qarasak, buyum o'zining haqiqiy vaziyatiga nisbatan siljiganday bo'lib 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 qirrasi deb** ataladi. Prizmaning sindiruvchi yoqlari orasidagi  $\theta$  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  $\delta$  burchakka **nurning og'ish burchagi** deyiladi. Tushish burchagi  $\alpha$  kichik bo'lganda, sindirish burchagi  $\theta$  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  $360^\circ$  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:

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

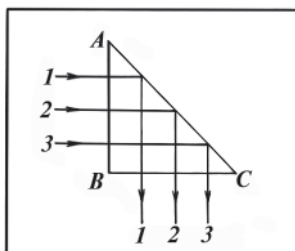
(bu yerda havoning sindirish ko'rsatkichini 1 ga teng deb oldik).  $\alpha$  va  $\theta$  burchaklar kichik bo'lganda  $\alpha_1$ ,  $\beta$  va  $\beta_1$  burchaklar ham kichik bo'ladi. Shuning uchun oxirgi tengliklarda burchaklarning sinusini burchaklarning o'zi bilan almashtirish mumkin:

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

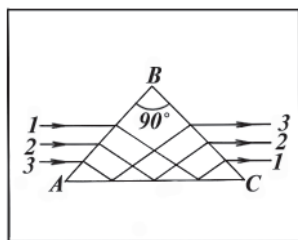
(58) formuladan  $\alpha$  va  $\beta_1$  larning ifodalarini (56) formulaga qo'yamiz va (57) formulani nazarga olib, quyidagiga ega bo'lamiz:

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

Shunday qilib, (59) formuladan ko'rinadiki, og'ish burchagi  $\delta$  prizmaning sindirish burchagi  $\theta$  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  $\theta$  sindirish burchagi uchiga tomon siljiganga o'xshab ko'rinadi. Buyumning tasviri mavhum bo'ladi.



75- rasm.



76- rasm.

Optik asboblari (masalan, periskop, binokl) da asosi to'g'ri burchakli, teng yonli uchburchak shisha prizmalar ishlatiladi. Ular yordamida yorug'lik nurini  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  burish yoki biror optik asbobda hosil qilingan tasvirni ag'darish mumkin. 75- rasmda to'la ichki qaytish hodisasi asosida yorug'lik nurining prizmada  $90^\circ$  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 qirrasi, 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  $90^\circ$ . Yorug'likning plastinkaga tushish burchagini toping.

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

*Topish kerak:*  $n=?$

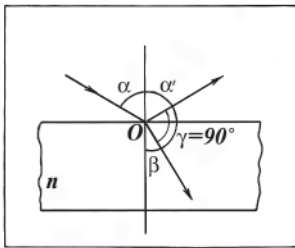
*Yechilishi.* 77- rasmdan ko'rinadiki,  $\alpha+\beta+\gamma=180^\circ$ , binobarin,  $\alpha+\beta=90^\circ$ , bundan:  $\beta=90^\circ-\alpha$  bo'ladi.

Yorug'likning sinish qonuniga asosan:

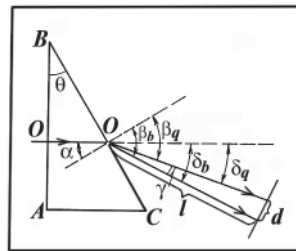
$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}, \text{ u holda } \sin \alpha = n \sin \beta = n \sin(90^\circ - \alpha) = n \cos \alpha.$$

Demak,  $n = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha$ . Bu ifodadan  $\alpha$  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:*  $\gamma=?$   $l=?$

*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  $\beta_q$  burchak ostida, binafsha rangli nur esa  $\beta_b$  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  $\gamma = 17^\circ 4' - 16^\circ 32' = 32'$ .  $\gamma$  burchak juda kichik bo'lgani uchun ekrangacha bo'lgan masofa:

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

**2- usul.** Nurning og'ish burchagi  $\delta$  bilan prizmaning sindirish burchagi  $\theta$  orasidagi bog'lanishni ifodalovchi  $\delta = (n-1)\theta$  taqribiy formuladan foydalanib, burchak  $\gamma$  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?

$$\text{Berilgan: } n_0 = 2,42; n_{sh} = 1,5; t_0 = t_{sh} = t.$$

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

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

$$n_0 = \frac{c}{v_0} \quad \text{va} \quad n_{sh} = \frac{c}{v_{sh}},$$

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  $30^\circ$  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  $\beta$  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  $50^\circ$  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  $35^\circ$  bo'lsa, yorug'lik idishning gorizontal tubiga qanday burchak ostida tushadi?

**44.** Spirt uchun to'la ichki qaytishning chegaraviy burchagi  $47^\circ$ . Spirtning sindirish ko'rsatkichini toping.

**45.** Nur yorug'likning suv osti manbayidan suv yuziga  $35^\circ$  burchak ostida tushmoqda. Nur qanday burchak ostida havoga chiqadi?

**46.** Yassi-parallel shisha plastinkaga nurlar  $60^\circ$  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  $0^\circ$  burchak ostida tushmoqda. Prizmaning sindirish burchagi  $3^\circ$ . Nurning prizmadan og'ish burchagini toping.

**48.** Ariq tubida kichik tosh yotibdi. Bola tayoq bilan toshni surmoqchi. Bola toshni mo'ljalga olib tayoqni  $40^\circ$  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  $60^\circ$  burchak ostida tushayotgan bo'lsa va qoziq batamom suvning ostida bo'lsa, qoziqning hovuz tubidagi soyasining uzunligini toping.

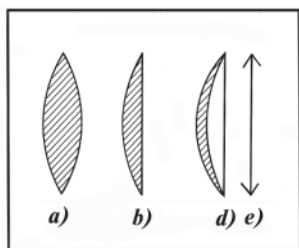
**50.** Akvalangist suvda oq yorug'lik yordamida 20 m naridagi sherigiga signal beradi. Bu masofada qizil nur binafsha nurdan qancha masofa va vaqtga o'zib ketadi? Qizil nur uchun suvning sindirish ko'rsatkichi  $n_q = 1,329$ , binafsha nur uchun esa  $n_b = 1,344$ .

**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.

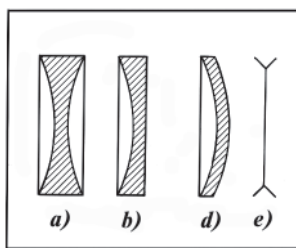
## 28- §. Linzalar. Yupqa linza formulasi

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.

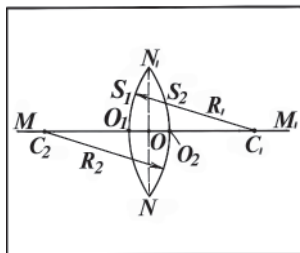


79- rasm.

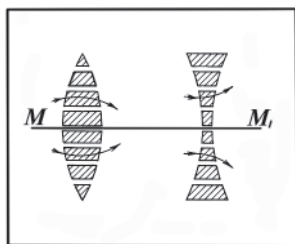


80- rasm.

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.

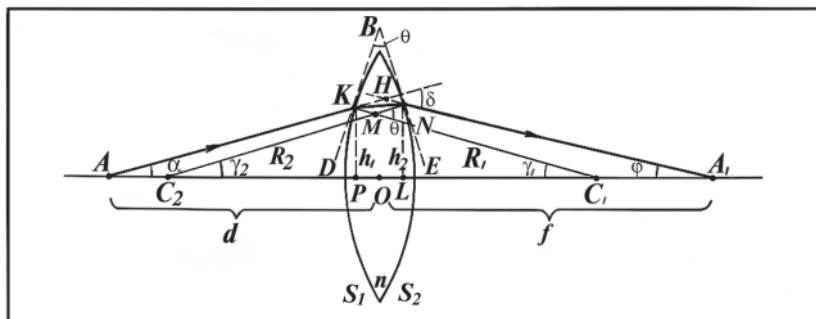
Linzaning optik markazi orqali burchak ostida o'tuvchi har qanday to'g'ri chiziqlar **linzaning qo'shimcha optik o'qlari** deyiladi.

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  $\alpha$  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  $\theta$  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:

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

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:

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

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.

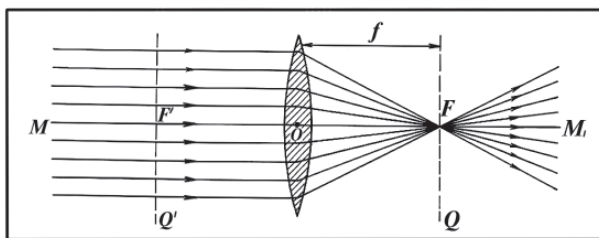
## 29- §. Linzaning fokusi va optik kuchi

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:

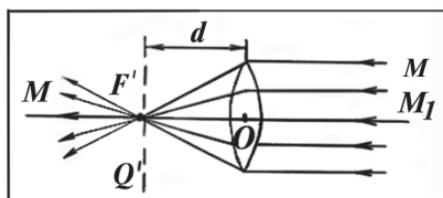
$$\frac{1}{f} = (n-1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (63)$$

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.

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

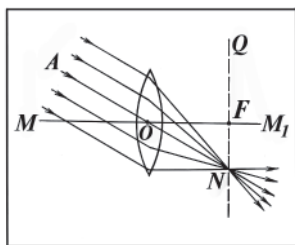
(64) dan ko‘rinadiki, linzaning fokus masofasi linza moddasining sindirish ko‘rsatkichi va sferik sirtlarning egrilik radiuslariga bog‘liq ekan. Bu holdan sindirish ko‘rsatkichi turlicha bo‘lgan shaffof moddalardan egriligi turlicha sferik sirtli linzalarni yasash yo‘li bilan kerakli linzalarni olish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

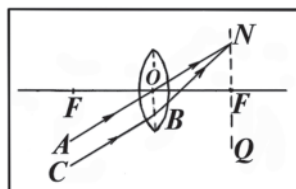
$$\frac{1}{F'} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right), \quad \text{bundan:} \quad F' = \frac{1}{(n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)} \quad (65)$$

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.

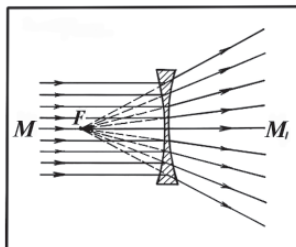
Linzalar fokus masofasidan tashqari **optik kuchi** deb ataladigan kattalik bilan ham xarakterlanadi. Linzaning  $D$  optik kuchi uning  $F$  fokus masofasiga teskari bo'lgan kattalikdan iborat, ya'ni:

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

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.

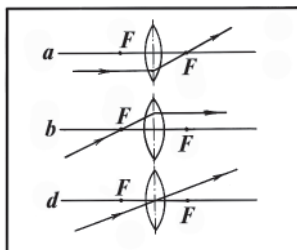
### 30- §. Linzalarda tasvir yasash. Linzaning kattalashtirishi

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);

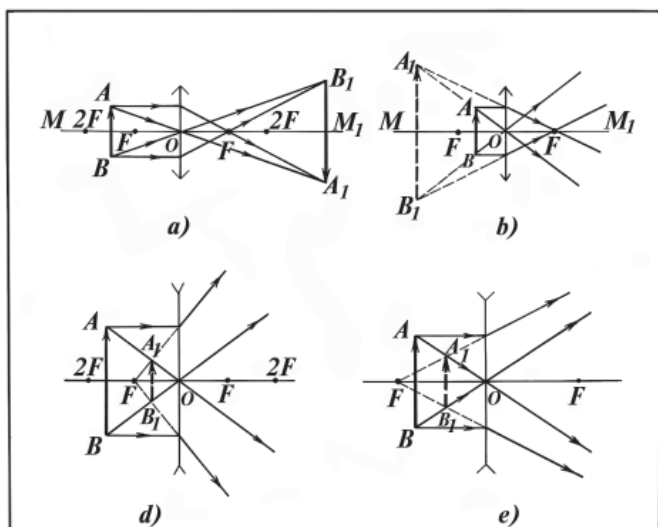
3)  $AB$  buyum botiq linzaga nisbatan har qanday joylashganda ham hamma vaqt mavhum, kichiklashgan va to‘g‘ri tasvir hosil bo‘ladi (90-  $d, e$  rasmlar).

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

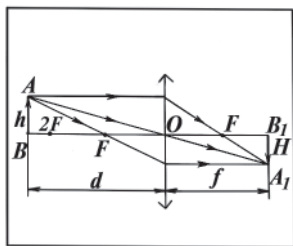
$$k = \frac{H}{h} = \frac{A_1B_1}{AB}, \quad (67)$$

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

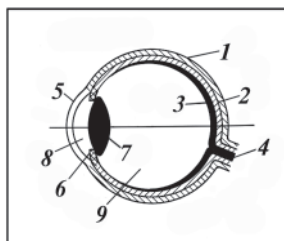
$$\frac{A_1B_1}{AB} = \frac{B_1O}{BO} = \frac{f}{d}$$



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

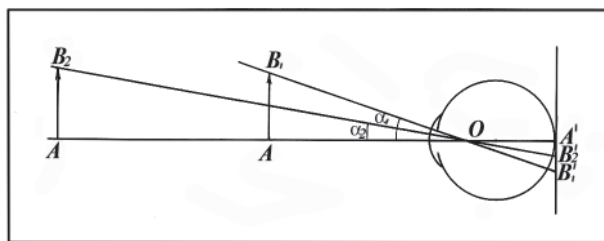
Ko'z optik sistema bo'lib, buyumning tasvirini ko'z soq-qasining yorug'likka sezgir bo'lgan to'rsimon pardasida hosil qiladi. Ko'z tashqi tomondan uchta parda bilan o'ralgan (92-rasm). Tashqi (1) parda **sklera** yoki **oqsil parda** deyiladi. Bu zich parda ko'zni tashqi ta'sirlardan saqlaydi. Oqsil 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) **xrustalcha (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'r-satkichi 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'r pardada 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'r pardadagi 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'r pardasida bu buyumlarning aniq tasviri hosil bo'lmaydi.

Masalan,  $O$  nuqta ko'zning optik markazi bo'lsin (93- rasmga qarang). To'r pardada  $AB_1$  buyumning  $A'B'_1$  tasvirini yasaymiz, bunda **ko'rish burchagi**  $\alpha_1$  bo'ladi. Buyum uzoqlashtirilganda ham ( $AB_2$  buyum), ko'z akkomodatsiyasi tufayli uning tasviri to'r pardada qoladi, ammo bu tasvir kichraygan bo'ladi ( $A'B'_2 < A'B'_1$ ). Shuningdek, ko'rish burchagi ( $\alpha_2$ ) 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.

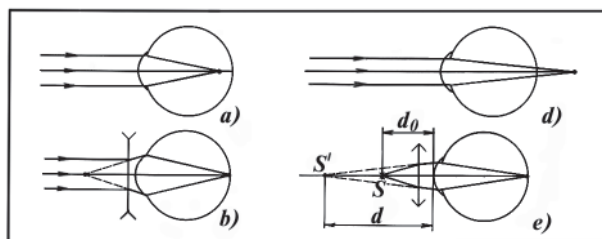
shu nuqtalarni ko'rish burchagi bir minutdan kichik bo'lmashligi kerak.

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 kamchiliklari. Ko'zoynak

Ko'zning akkomodatsiya qobiliyati buyumlarning to'r parda sir-tiga proyeksiyalanishini ta'minlaydi. Normal ko'z hech qanday zo'riqishsiz, har qanday masofadagi buyumlarni eng kichik masofa-ga 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 buyum-larni 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). Par-allel nurlar bunday linza orqali o'tar ekan, ko'z akkomodatsiyasin-ing eng uzoq nuqtasidan kelayotgandek ko'rinadi.

Uzoqdagi buyumning tasviri ko'zning to'r parda orqasiga tushi-shi 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 deganlari nima? 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 nima 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 nima 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:*

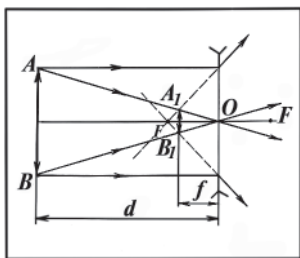
$$f = -(0,1-1) \cdot (0,24) \text{ m} = -(-0,99)(0,24) \text{ m} = 0,216 \text{ m};$$

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

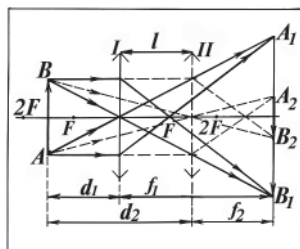
Tasvirni yasaymiz (95- rasm).

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.** Ekranda 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:

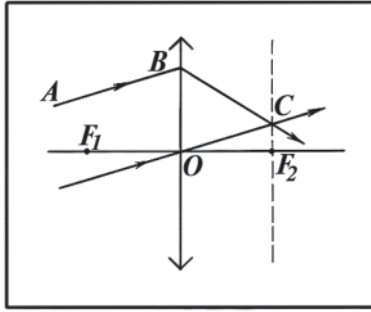
$$\frac{f_1 d_1}{f_1 + d_1} = \frac{f_2 d_2}{f_2 + d_2}; \quad \frac{k_1 d_1 d_1}{(k_1 + 1) d_1} = \frac{k_2 (d_1 + l)(d_1 + l)}{(k_2 + 1)((d_1 + l))},$$

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

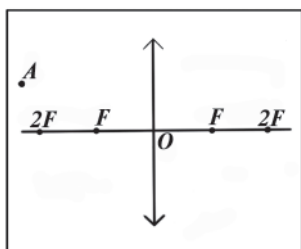
**52.** Optik o'qda yotgan nuqtaning qavariq va botiq linzalardagi tasvirini yasang.

**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.

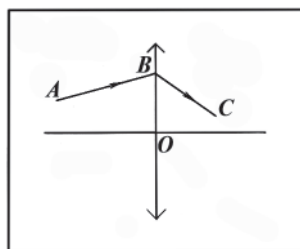
**54.** Linzaning optik kuchi 2 dioptriya ga teng bo'lsa, uning fokus masofasi qancha bo'ladi?

**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.

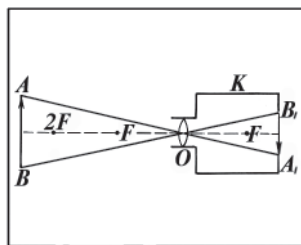
**68.** Optik kuchi 4 dioptriya bo'lgan ko'zoynak shishasining fokus masofasini toping.

**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. Proyeksiya 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 proyeksiya 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.

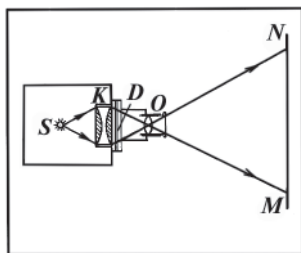


100- rasm.

**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



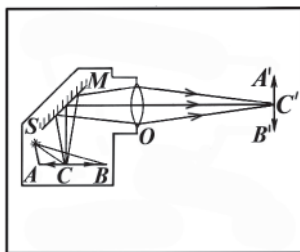
101- rasm.

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

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 fotoapparatlarning 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 asboblarda **diaskoplar** (grekcha «dia» — shaffof), shaffof bo'lmagan obyektlarni proyeksiyalash uchun mo'ljallangan asboblarda **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.

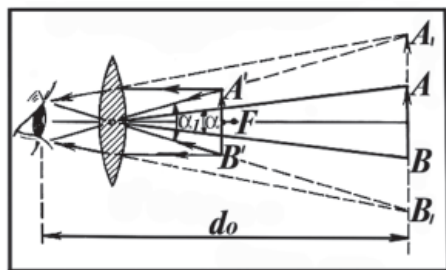
Proyeksion apparatda yorug'lik manbai sifatida elektr yoy lampalari yoki katta quvvatli maxsus cho'g'lanma proyeksion lampalar ishlatiladi.

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 asboblار **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



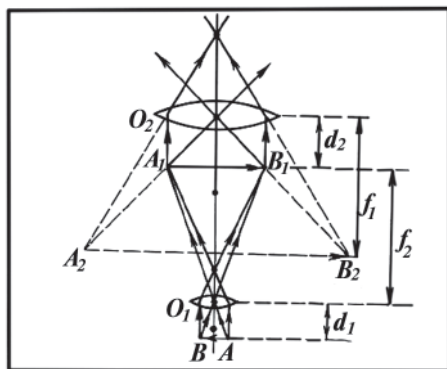
103- rasm.

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  $\alpha$  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  $\alpha$  burchakdan katta bo‘lgan  $\alpha_1$  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  $\alpha_1$  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 chiziqli 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 munosabatdan 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  $\delta$  uzunligiga teng (okulyarning old fokusi bilan obyektiv orasidagi  $\delta$  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.

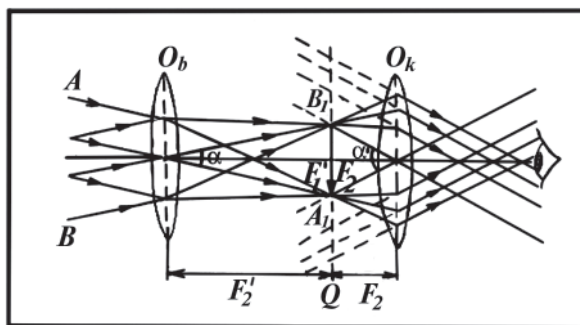
### 35- §. Ko'rish trubalari. Teleskoplar

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 obyektiv linza bo'lmay, balki katta diametrli parabolik botiq ko'zgudan 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 kattalashtirish mavhum tasvirini hosil qiladi.

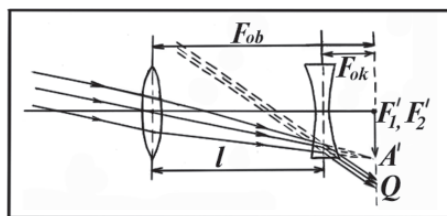
105-rasmdan ko'rinishicha, kuzatuvchi buyum tasvirini  $\alpha'$  burchak ostida ko'radi va  $\alpha' > \alpha$ . Kepler trubasining burchak kattalashtirishi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$k = \frac{F_1^1}{F_2} = \frac{F_{ob}}{F_{ok}}, \quad (70)$$

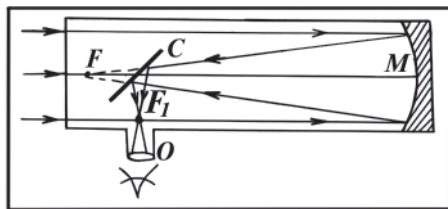
bunda:  $F_{ob}$  — obyektivning fokus masofasi;  $F_{ok}$  — okulyarning fokus masofasi. Demak, Kepler ko'rish trubasining kerakli burchak kattalashtirishiga erishish uchun imkoni boricha uzun fokusli obyektivdan va qisqa fokusli okulyardan foydalanish lozim bo'ladi.

**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  $F'_1A'$  tasvirni bergan bo'lar edi. Lekin ular sochuvchi linzada sinib, yana parallel nurlarga aylanadi. Trubaning okulyaridan qaralganda ko'z olisda buyumning kattalashtirish 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  $90^\circ$  ga burib beruvchi  $C$  yassi ko'zgu o'rnatiladi. Yoritkichning botiq ko'zgudagi tasvirini xuddi lupa kabi ishlaydigan  $O$  okulyar orqali kuzatiladi. Teleskopning trubasi ko'zguga chetki yorug'likning tushishidan himoya qiladi.

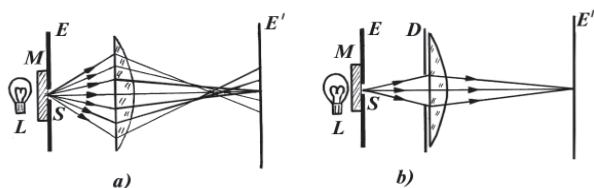
Teleskoplar astronomik kuzatishlarda juda muhim rol o'ynaydi.

### 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.

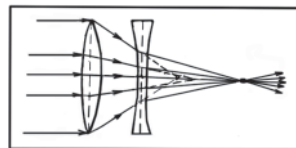
**1. Sferik aberratsiya.** Katta diametrli va qisqa fokusli yassi qavariq linza yordamida oddiy tajriba o'tkazib, bu nuqsonning qanday yuzaga kelishini ko'rish mumkin.

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.

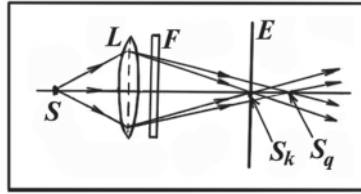
108- rasmdan ko'rinishicha, yorug'lik nurining keng dastasidan foydalanilganda linzaning chetlari nurlarni o'rta qismidagiga nisbatan kuchliroq sindiradi. Natijada katta diametrli linza  $E'$  ekranda yorituvchi nuqtaning nuqta ko'rinishidagi tasvirini emas, balki nuqsonli — yoyilib ketgan dog' ko'rinishidagi 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'liq uzunligiga bog'liq. Bu hodisani **dispersiya** deb



109- rasm.

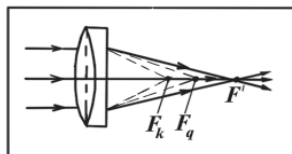


110- rasm.

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 gorizontaal 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 uzaytadi. 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'shilib 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;  $\delta$  — 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,  $\delta$  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:*  $k_l$  — ?

*Yechilishi.* Teleskopning kattalashtirishi obyektiv fokus masofasining okulyar fokus masofasi nisbatiga teng:

$$k_l = \frac{F_{ob}}{F_{ok}}.$$

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.** Spekrning 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:*  $\Delta l$  — ?

*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, efining 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.

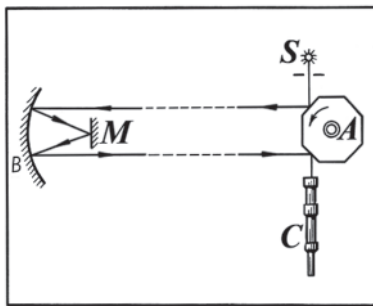
Bu ziddiyatni «dunyo efiri» haqidagi mexanik tasavvurlarga asoslanib hal qilish mumkin emas edi. 1881- yilda amerikalik olim Maykelson «dunyo efiri» mavjud emasligini tajribada isbot qildi.

1873- yilda ingliz fizigi J.Maksvell vakuumda 300 000 km/s tezlik bilan tarqaluvchi elektromagnit to'lqinlar tabiatda mavjud ekanligini nazariy ravishda isbot qildi. Bundan yorug'likning elektromagnit to'lqin ekanligi kelib chiqadi. Shunday qilib, XIX asrning oxirida yorug'likning tabiati haqida to'lqin 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'lqin 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'lqinlarning 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 prizma 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, kvars 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'liq uzunligi esa yorug'likning tarqalish tezligiga to'g'ri proporsional ravishda o'zgaradi. Shuning uchun ham faqat bitta aniq muhit uchungina elektromagnit to'liqlarni ularning to'liq uzunliklari orqali xarakterlash mumkin.

Bundan keyin elektromagnit to'liqlarni to'liq uzunliklari bo'yicha xarakterlaganda hamma vaqt bu to'liqlarning vakuumdagi to'liq uzunliklari nazarda tutiladi.

### 39- §. Yorug'lik interferensiyasi

Interferensiya hodisasi tabiati har qanday bo'lgan to'liq jarayonlarga xosdir. Binobarin, bu hodisa yorug'lik to'liqlarida ham kuzatiladi.

Mexanik to'liqlardagi kabi yorug'lik to'liqlari o'zaro kogerent bo'lgandagina, ya'ni tebranishlar chastotasi teng va fazalar farqi vaqt o'tishi bilan o'zgaras qolgandagina, ularning qo'shilishidan interferensiya kuzatiladi. Buning uchun to'liq manbalari kogerent bo'lishi kerak.

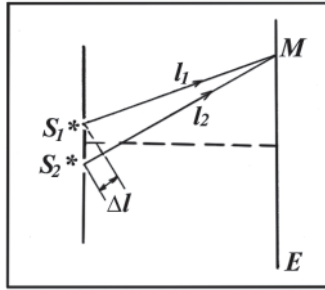
Maksvell nazariyasiga asosan va tajribalarning ko'rsatishicha, yorug'likning moddaga kimyoviy, fiziologik va boshqa ta'sirlariga elektr tebranishlari sabab bo'ladi. Shuning uchun yorug'lik to'liqini ifodalovchi formulalarni va nurni tasvirlovchi rasmlarni soddalashtirish maqsadida kelgusida faqat elektr tebranishlari haqida fikr yuritamiz 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'liq 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'liqlarining  $t$  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:

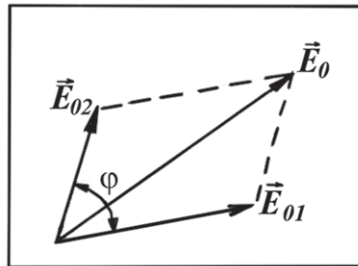
$$E_0^2 = E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2E_{01}E_{02} \cos \varphi \quad (73)$$

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:

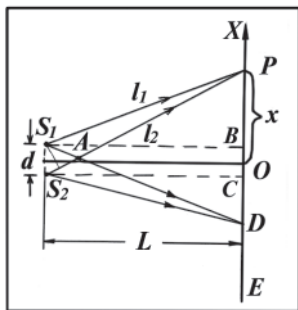
$$\Delta l = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (81)$$

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.*

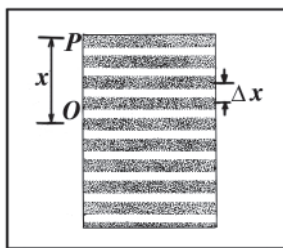
Ekranning  $M$  nuqtadan tashqari barcha nuqtalari uchun ham (79) maksimumlik va (81) minimumlik shartlari o'rinli bo'ldi (chunki  $M$  nuqta ixtiyoriy tanlangan).

## 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. Ekranning boshqa barcha nuqtalariga ham kogerent manbalardan yorug'lik tushadi va o'zaro interferensiyalanadi. Ekranda qanday manzara hosil bo'lishini ko'rib chiqaylik.

Agar nurlarning  $\Delta l$  optik yo'l ayirmasi maksimumlik shartini qanoatlantirsa, ekranning 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 ekranda 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:

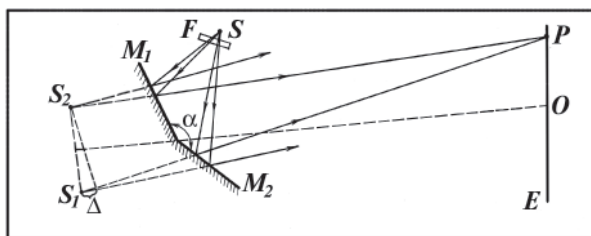
$$\Delta x = x_{k+1} - x_k = (k + 1) \frac{\lambda L}{d} - k \frac{\lambda L}{d} = \frac{\lambda L}{d}. \quad (85)$$

(85) dan ko'rinadiki,  $\Delta x$  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' yo'llar kamalak rangiga ega bo'ladi. Buni (79) va (81) shartlar  $\lambda$  ga bog'liqligi bilan tushuntirish mumkin. Haqiqatan ham interferensiyalar maksimumlar har bir to'liq 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'liqlardan 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'liqlar ikkinchi jismning barcha zarralari chiqarayotgan to'liqlardan 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».

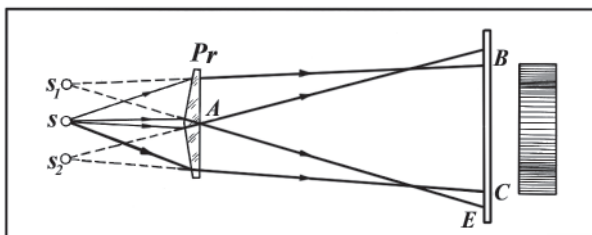


117- rasm.

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  $180^\circ$  ga yaqin burchak ostida o'rnatilgan ikkita yassi ko'zgudan 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.

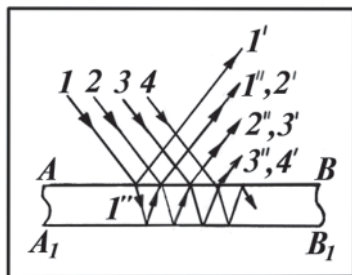
lari va minimumlarining o‘rinlari yorug‘likning rangiga qarab o‘zgarar ekan. Masalan, qizil yorug‘lik tushirilganda yorug‘ va qora yo‘llarning kengligi eng katta, binafsha yorug‘lik tushirilganda yorug‘ va qora yo‘llarning kengligi eng kichik bo‘ladi. Bu esa turli rangdagi yorug‘lik to‘lqinlarining uzunligi 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 interferensiyalar manzara kuzatiladi. Ekraning boshqa qismlari esa bir tekis yoritiladi.

## 42-§. Yupqa pardalarda yorug‘lik interferensiyasi

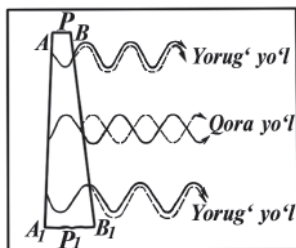
Yorug‘lik interferensiyasini, masalan, yupqa pardalarda ham kuzatish mumkin. Masalan, suv sirtiga to‘kilgan kerosin yoki neftning yupqa pardasidagi kamalak ranglarining tovlanishiga, havoga uchirilgan sovun pufagi ranglarning barcha turlari bilan jilolanishiga yorug‘likning interferensiyasi sababdir.



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

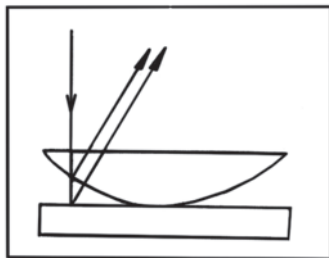


121- rasm.

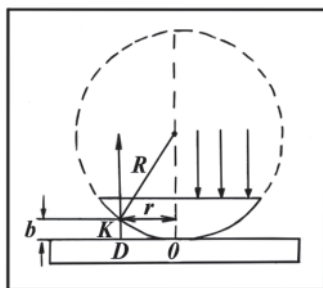
toq soniga teng boʻlib, biz pardaning sirtida pona qirrasiga parallel joylashgan qizil va qora yoʻllarni kuzatamiz (121- rasm). Sovun pardasidan suyuqlik asta-sekin oqib tushadi, vaqt oʻtishi bilan parda yoʻllarining joylashish oʻrni ham oʻzgaradi. Rangli va qora yoʻllar parda qalinligi kamaygan sari 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  $\pi$  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:

$$r_q = \sqrt{2k\frac{R\lambda}{2n}} = \sqrt{k\frac{R\lambda}{n}}, \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (90)$$

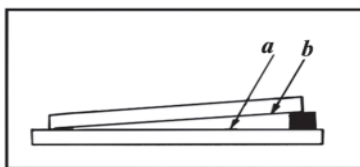
bo'ladi. O'tgan yorug'likda yorug' halqalarning radiusi (90) dan, xira halqalarning radiusi (89) dan aniqlanadi, chunki o'tgan yorug'likda yorug' va xira halqalarning joylashish tartibi qaytgan yorug'likdagiga nisbatan o'rin almashadi.

Linza sirtining egrilik radiusi  $R$  ma'lum bo'lsa, o'tgan yorug'likda xira halqalarning  $r_q$  radiusini eksperimental o'lchab, (90) formula-dan yorug'likning  $\lambda$  to'lqin uzunligini hisoblab topish mumkin.

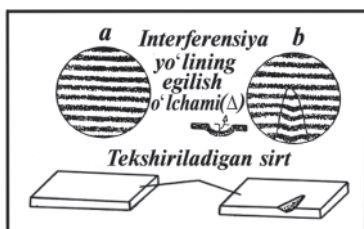
#### 44- §. Interferensiyaning texnikada qo'llanilishi

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 ishlash 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* sirtidan 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 hodisasidan 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

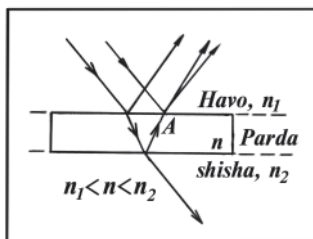
tushganda ham har bir sirtidan tushayotgan yorug'lik energiyasining 5–9 foizi qaytadi. Buning oqibatida hatto shunday bo'ladiki, asbob orqali asbobning o'ziga kelib tushadigan yorug'likning atigi 10–20 foizi o'tishi mumkin. Natijada ko'rilayotgan (yoki suratga olinayotgan) obyektlar tasvirlarining yorqinligi 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).  $\Delta l$  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:

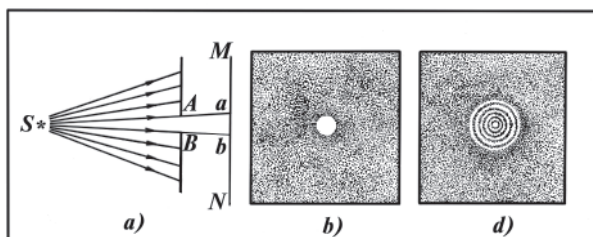
$$h = \frac{\lambda}{4n}. \quad (91)$$

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'lhovdosh 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,



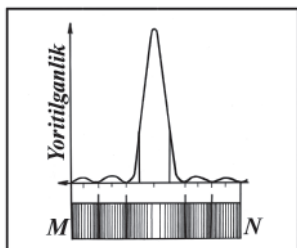
127- rasm.

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.

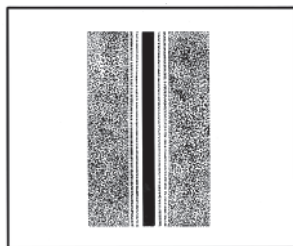
128- rasmda yorug‘likning tor tirqishdan o‘tishida kuzatiladigan difraksion manzara ko‘rsatilgan. Rasmning pastki qismida difraksiya natijasida hosil bo‘lgan yorug‘ va qora yo‘llarning joylashishi, yuqori qismida esa shu yo‘llarda yoritilganlikning taqsimlanishi keltirilgan.

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.

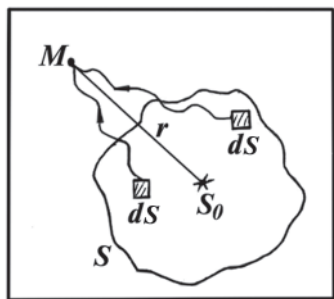
Difraksion manzaralar ko‘pincha tabiiy sharoitlarda yuzaga ke-ladi. Masalan, tuman yoki terlagan deraza oynasi orqali ko‘rinayotgan rangli halqalar yorug‘lik nurining juda kichik suv tomchilaridagi difraksiyasidan iboratdir. Bunday manzarani yorug‘likning ingichka manbayiga (elektr lampasining tolasiga, 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 oʻzaro kogerent, shuning uchun ular chiqarayotgan ikkilamchi toʻlqinlar bir-biri bilan ustma-ust tushganda interferensiyalanadi. Agar  $S$  qoʻshimcha sirt sifatida  $S_0$  manbadan tarqalayotgan yorugʻlikning toʻlqin sirti tanlab olinsa, hisoblashlar ancha osonlashadi, chunki bu holda barcha ikkilamchi manbalarning tebranishlari bir xil fazada sodir boʻladi.

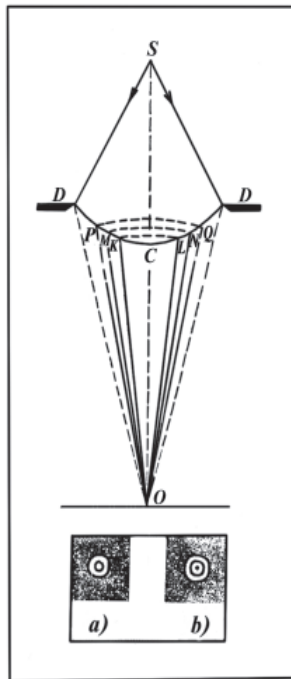
3.  $S_0$  manbaning toʻlqin sirti bilan ustma-ust tushuvchi  $S$  berk sirtning bir xil yuzali boʻlakchalarining ikkilamchi nurlanish quvvati bir xil boʻladi.

4. Ikkilamchi manbalarning  $M$  nuqtada uygʻotadigan tebranishlar amplitudasi boʻlakchalarning  $dS$  yuzasiga toʻgʻri proporsional,  $S_0$  manbadan shu  $M$  nuqtagacha boʻlgan  $r$  masofaga teskari proporsional boʻladi.

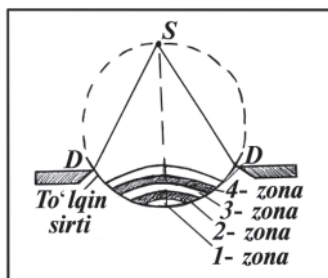
5. Agar  $S$  berk sirtning bir qismi noshaffof ekran bilan toʻsilgan boʻlsa, u holda ekran toʻsib qolgan ikkilamchi manbalar yorugʻlik chiqarmaydi, qolgan ikkilamchi manbalar esa xuddi ekran boʻlmaningandagidek yorugʻlik chiqaradi.

Gyuygens – Frenel prinsipiga asoslanib yorugʻlik difraksiyasi, shuningdek, yorugʻlikning toʻgʻri chiziq boʻylab tarqalishini quyidagicha tushuntirish mumkin.

Faraz qilaylik, yorugʻlik noshaffof ekraning  $DD$  dumaloq teshigiga tushayotgan boʻlsin (131- rasm). Fazoning biror  $O$  nuqtasida yoritilganlik qanday boʻlishini koʻraylik. Buning uchun  $O$  nuqtadan



131- rasm.



132- rasm.

sferik to' lqinning  $DCD$  sirti bilan kesishguncha  $OKL$ ,  $OM N$ ,  $OPQ$  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 zonalarining 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  $O$  nuqttagacha 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

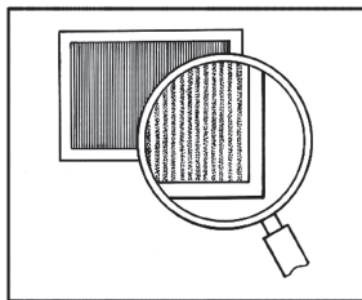
Frenel zonalarining soni toq bo'lsa, difraksion manzaraning markazida yorug' dog', uning atrofida navbatlashib kelgan xira va yorug' halqalar hosil bo'ladi (131- *a* rasmga qarang). Aksincha, zonalarining soni juft bo'lsa, u holda difraksion manzaraning markazida qora dog' va uning atrofida navbatlashib kelgan yorug' va xira halqalar paydo bo'ladi (131- *b* rasmga qarang).

Yuqorida yuritilgan mulohazalar kabi mulohazalar yuritib, barcha difraksion manzarani tushuntirish mumkin.

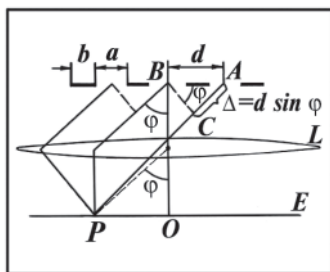
Gyuygens – Frenel prinsipi yorug'likning to'g'ri chiziq bo'yicha tarqalishini ham tushuntirib beradi. Agar yorug'likning to'lqin sirti to'la ochiq bo'lsa (hech qanday to'siqqa uchramasa), u holda unga joylashishi mumkin bo'lgan zonalarining soni cheksiz ko'p bo'ladi. Tegishli hisoblashlarning ko'rsatishicha, 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 chiziqli 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'liq uzunligi  $\lambda$  bo'lgan yassi monoxromatik nur tushayotgan bo'lsin. Tirqishlarni har birida yorug'lik difraksiyalanadi, ya'ni tirqishlardagi ikkilamchi manbalar barcha yo'nalishlarda tarqaluvchi yorug'lik to'liqlarini 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  $\varphi$  burchak ostida tarqaluvchi to'liqlarning bir-birini kuchaytiradigan shartni topamiz. Qo'shni tirqishlarning mos nuqtalaridan chiqayotgan to'liqlar orasidagi  $\Delta$  yo'l ayirmasi  $AC$  kesmaning uzunligiga teng. Agar bu kesmada butun sondagi to'liq uzunliklari yoki juft sondagi yarim to'liq uzunliklari joylashsa, barcha tirqishlardan shu  $\varphi$  yo'nalishda tarqaluvchi to'liqlar 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,  $\varphi$  burchakka ogʻgan toʻlqinlar qoʻshilayotgan nuqtada difraksion maksimum kuzatiladi. U holda quyidagi formulani yozish mumkin:

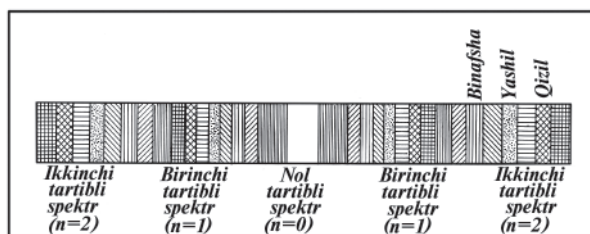
$$d \sin \varphi = 2k \frac{\lambda}{2} = k\lambda. \quad (92)$$

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,  $\varphi$  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  $\varphi$  burchaklar (odatda  $\varphi$  **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  $\lambda$  qancha katta boʻlsa,  $\sin \varphi$  ham shunchalik katta boʻladi, yaʼni bu toʻlqin maksimumi uchun  $\varphi$  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.

chekkasi (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:

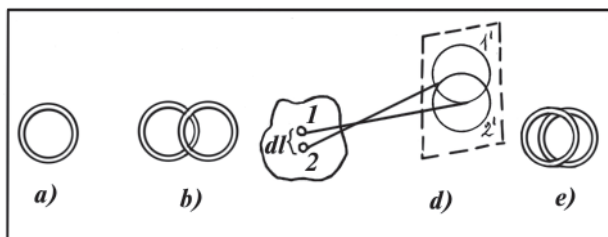
$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{k}. \quad (94)$$

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 tasvirlaydi. 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 asboblarning yordamida buyum tafsilotlarini farq qilish imkoniyatini cheklab qo'yadi.

Buyumning ikki nuqtasini alohida ko'rish mumkin bo'lgan eng kichik  $dl$  masofa (136- *d* rasimga 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.

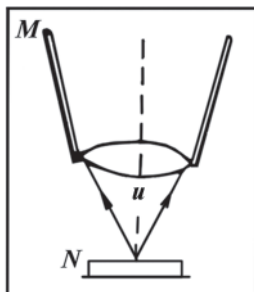
Hisoblashlarning ko'rsatishicha, ko'rish trubasi, durbin, teleskop va fotoapparatning ajrata olish qobiliyati quyidagi ifodaga teng bo'ladi:

$$R = \frac{D}{1,22 \lambda}, \quad (96)$$

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?

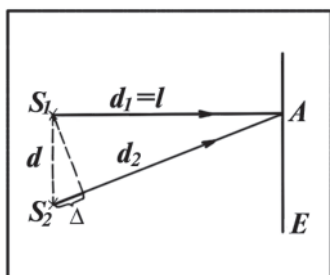
### **Masala yechish namunalari**

**1- masala.** Uzunligi  $0,5 \text{ mkm}$  bo'lgan to'lqinlarning ikkita  $S_1$  va  $S_2$  kogerent manbalari bir-biridan  $2 \text{ mm}$  masofada turibdi. Ulardan  $2 \text{ m}$  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 rasmi.

ayirmasiga toq sonli yarim to'liqlar joylashsa, qorong'ilik bo'ladi. Shu yo'l ayirmasi  $\Delta$  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:  $k = \frac{\Delta}{\lambda/2} = \frac{d^2}{\lambda l}$ .

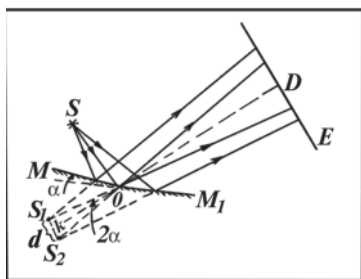
Hisoblash:  $k = \frac{(2 \cdot 10^{-3})^2 \text{ m}^2}{5 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot 2 \text{ m}} = 4$ .

To'liqlarning yo'l ayirmasi to'rtta yarim to'liqin 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'liqin uzunligi  $4,86 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ . 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:*  $\alpha$  — ?



138- b rasm.

*Yechilishi.* Frenel ko'zgusini va unda nurlarning yo'lini chizamiz (138- b rasm). Rasmda  $S$  — yorug'lik manbai,  $MM_1$  — Frenel ko'zgulari,  $E$  — ekran. Ko'zgular orasidagi  $\alpha$  burchakni topish kerak. Rasmdan  $S_1$  va  $S_2$  lar  $S$  manbaning ko'zgularidagi 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  $OD = l$ .  $\Delta S_1OK$  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.* Interferensiyon yoʻllarning kengligi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\Delta x = \frac{L}{d} \lambda. \quad (a)$$

(a) formuladan koʻrinadiki, yorugʻlikning toʻlqin uzunligi  $\lambda$  qancha kichik boʻlsa, interferensiyon polosalarning kengligi shuncha tor boʻladi.  $l$  masofaga joylashgan yorugʻ va xira polosalarning soni  $2k$  ta boʻladi. 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:

$$\Delta x_2 = \Delta x_1 \cdot \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{l}{2k_1} \cdot \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (e)$$

boʻladi. (e) dan  $\Delta x_2$  ning ifodasini (b) ga keltirib qoʻyib,  $k_2$  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 yorugʻlikda olib borilganda ikkinchi va uchinchi yorugʻ Nyuton halqalari orasidagi masofa 1 mm boʻlsa, yigirmanchi va yigirma birinchi yorugʻ 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 yorugʻlikda olib borilganda yorugʻ Nyuton halqalarining radiusi:

$$r_k = \sqrt{\frac{R\lambda}{2n}(2k-1)}$$

formuladan aniqlanadi, bunda:  $R$  — linzaning egrilik radiusi;  $\lambda$  — 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:

$$r_{21} - r_{20} = 6,40 \sqrt{\frac{R\lambda}{2}} - 6,24 \sqrt{\frac{R\lambda}{2}} = 0,16 \sqrt{\frac{R\lambda}{2}}. \quad (a)$$

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:

$$\sqrt{\frac{R\lambda}{2}} = \frac{r_3 - r_2}{0,51} \quad (b)$$

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:*  $\varphi$  — ?

*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  $\varphi$  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  $\lambda_2 = 4102$

$\text{\AA}$  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.

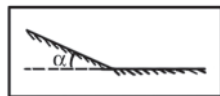
**83.** Agar yashil yorug‘lik filtrini ( $\lambda = 5,0 \cdot 10^{-5}$  sm) qizil yorug‘lik filtri ( $\lambda = 6,5 \cdot 10^{-5}$  sm)ga almashtirilsa, Yung tajribasida ekrandagi qo‘shni interferensiyon yo‘llar orasidagi masofa necha marta ortadi?

**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'yalik 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.

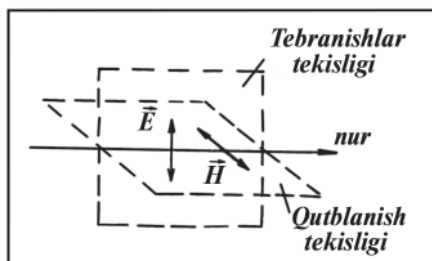
**94.** Yorug'lik manbayidan yorug'lik dastasi difraksion panjaraga normal tushadi. Ikkinchi tartibli spektrdagi chiziq ( $\lambda = 6,7 \cdot 10^{-7}$  m) uchinchi tartibli spektrdagi qaysi chiziq ustiga tushadi?

## 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.

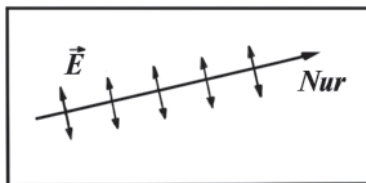
$\vec{E}$  elektr maydon kuchlanganlik vektorining tebranishlari yotadigan tekislikni **tebranishlar tekisligi** deb, tarixiy sabablarga ko‘ra

$\vec{H}$  magnit maydon kuchlanganlik vektorining tebranishlari yotadigan tekislikni **qutblanish tekisligi** deb ataladi (140- rasm).

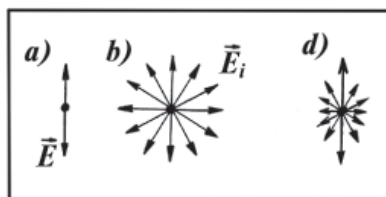
Tebranishlarining yo‘nalishi biror tarzda tartiblangan yorug‘lik **qutblangan yorug‘lik** deb ataladi. Agar yorug‘lik vektori ( $\vec{E}$  vektor, 39- § ga qarang)ning tebranishlari hamma vaqt birgina va faqat birgina tekislikda sodir bo‘lsa, bunday yorug‘likni **yassi** (yoki **to‘g‘ri chiziqli**) **qutblangan 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'liqini kuchli qutblangan tokni vujudga keltiradi va shuning uchun amalda to'la yutiladi (yorug'lik energiyasi to'la issiqlik energiyasiga aylanadi). Agar yorug'lik to'liqini 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.

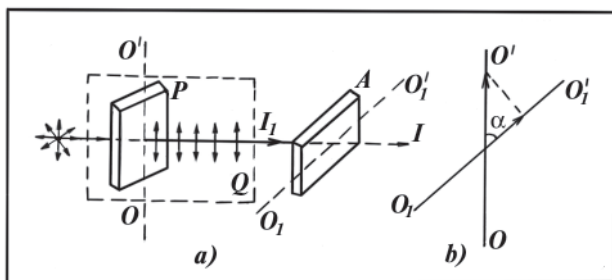
## 50- §. Malyus qonuni

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 kristalllarda 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:

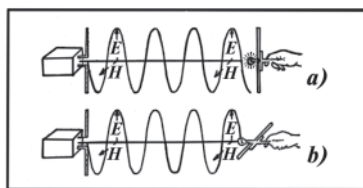
1)  $P$  polyarizator bilan  $A$  analizatorning optik o'qlari o'zaro parallel oriyentatsiyalanganda, ya'ni  $\alpha = 0^\circ$  bo'lganda (143-  $b$  rasm), yorug'lik analizatoridan o'tadi, faqat kristallda yutilishi hisobiga intensivligi biroz kamayadi;

2) polyarizator bilan analizator optik o'qlari orasidagi  $\alpha$  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'liqin 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).

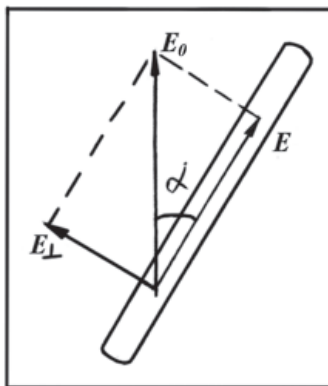
Agar antennani  $90^\circ$  ga bursak, u holda elektr maydon kuchlanganlik vektori o'tkazgichga perpendikulyar bo'ladi, o'tkazgichda tok vujudga kelmaydi, lampa yonmaydi (144- b rasm). Antenna-analizatorni *a* holatdan *b* holatda asta-sekin burib borilsa, u holda lampaning cho'g'lanishi *a* holatdagi 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'liqinda elektr vektorining tebranishlari  $E_0$  amplituda bilan vertikal tekislikda sodir bo'layotgan bo'lsin va dipol-analizatorning yo'nalishi tebranishlar tekisligi bilan  $\alpha$  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'liqin 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:

$$I = I_0 \cos^2 \alpha. \quad (100)$$

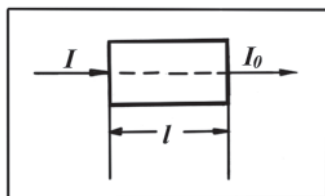
(100) formulani 1810- yilda fransuz fizigi Malyus aniqlagan va uning nomi bilan **Malyus qonuni** deb yuritiladi.

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:  $\alpha$  — **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  $I = \frac{1}{\alpha}$  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

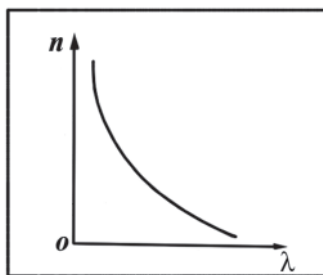
Muhit sindirish ko'rsatkichining  $n = \sqrt{\epsilon\mu}$  ifodasidan uning kataligi, asosan, shu muhitning xossalari bilan aniqlanadi. Biroq ma'lum darajada uning qiymatlari yorug'lik to'liqinining uzunligi (yoki chastotasi)ga ham bog'liqdir. Chunki turli uzunlikdagi to'liqinlar ayni shu muhitda turli tezliklar bilan tarqaladi. Shuning uchun bir muhitning o'zi turli monoxromatik (bir xil to'liqin uzunligidagi) nurlarni turlicha sindiradi.

Muhit sindirish ko'rsatkichining yorug'lik to'liqin uzunligiga bog'liqligiga **yorug'likning dispersiyasi** deyiladi. Rangsiz shaffof muhitlarda (ya'ni, yorug'likni kam yutuvchi muhitlarda) yorug'lik to'liqin uzunligi kamayishi bilan muhitning sindirish ko'rsatkichi ortadi (147- rasm). Sindirish ko'rsatkichining to'liqin uzunligiga bog'lanish egri chizig'iga **dispersiya egri chizig'i** deyiladi.

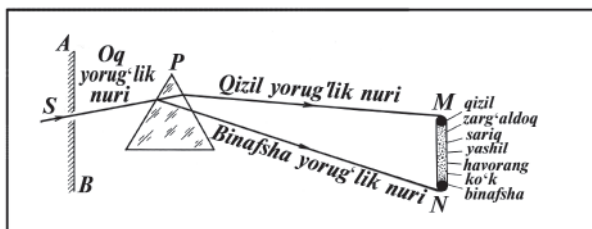
Faraz qilaylik,  $\lambda_1$  uzunlikdagi yorug'lik to'liqini uchun muhitning sindirish ko'rsatkichi  $n_1$  va  $\lambda_2$  uzunlikdagi yorug'lik uchun esa muhitning sindirish ko'rsatkichi  $n_2$  bo'lsin. Agar  $\lambda_1 > \lambda_2$  bo'lsa,  $n_1 < n_2$

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.

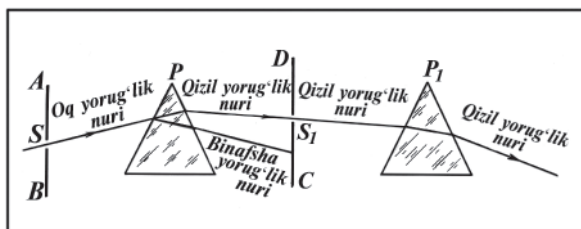


148- rasm.

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  $P_1$  prizmagacha 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, nurning prizmada og‘ish burchagi  $\delta$  prizma moddasining  $n$  absolyut sindirish ko‘rsatkichi va prizmaning sindirish burchagi  $\theta$  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  $\lambda$  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 nisbati-

ga 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.

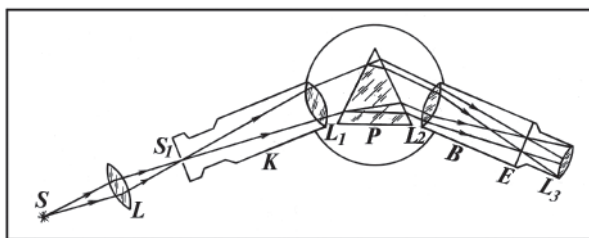
### 53- §. Spektral asboblari. Spektr turlari

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 prizmalik 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<sub>1</sub>* tirqish, ikkinchi uchida esa yig'uvchi *L<sub>1</sub>* linzadan iborat trubadir. Tirqish *L<sub>1</sub>* linzaning fokal tekisligida turadi. Shu sababli tirqish orqali *L<sub>1</sub>* linzaga tushuvchi nurlar dastasi linzadan parallel nurlar dastasi tarzida chiqib, *P* prizma tushadi. Prizmada turli to'lqin uzunlikdagi nurlar turlicha sinadi va spektrga ajraladi. Bu rangli nurlar *B* ko'rish trubasining *L<sub>2</sub>* yig'uvchi linzasiga tushadi. Linzaning fokal tekisligida *E* ekran joylashtirilgan. Ekran sifatida xira shisha yoki fotoplastinka olish mumkin. U vaqtda bu spektroskop spektrografta aylanadi. *L<sub>2</sub>* linza nurlarning parallel dastalarini shu ekranga fokuslaydi va ekranda spektr hosil bo'ladi. Bu spektrni *L<sub>3</sub>* 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* rasm

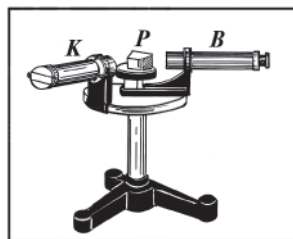
bunday spektrning mavjudligi nur chiqaruvchi ayrim atomlarning xossalrigagina bog'liq bo'lmagan, balki atomlarning o'zaro ta'siriga ko'proq bog'liqdir.

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.

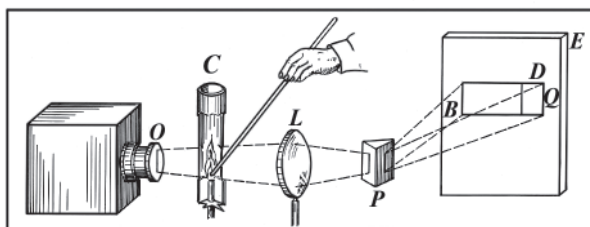
3. **Yo'l-yo'l spektr** alohida guruh bo'lib joylashgan ko'p sonli chiziqlardan tuzilgan va bitta yo'l deb qarash mumkin bo'lgan rangli yo'llardan iborat bo'ladi. Yo'l-yo'l spektrlar tarkibida atomlarga parchalanmagan molekulari bo'lgan gaz holatidagi moddalardan hosil bo'ladi. Masalan, oz siyraklangan 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 tirgishiga 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* tirgish 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

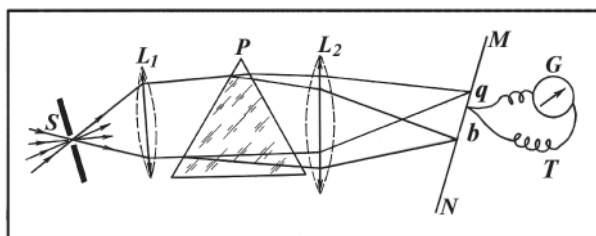
Quyosh spektrining sxemasini 153- rasmda ko'rsatilgan qurilma yordamida tekshirib ko'raylik. Sezgir  $G$  galvanometrغا ulangan  $T$  termoparani olamiz. Termoparaning kavsharlangan qoraytirilgan uchini  $MN$  ekrandagi spektr bo'ylab harakatlantiramiz. Termoparaga tushayotgan yorug'lik energiyasining 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 sohalar 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 pastdagisini 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,  $500^{\circ}\text{C}$  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.

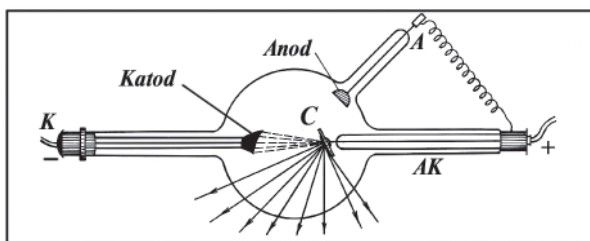
Ultrabinafsha nurlarga esa kuchli kimyoviy va biologik faollik xosdir. Shuning uchun ultrabinafsha nurlar fotoemulsiyani qoraytiradi, bo'yoqni rangsizlantiradi va boshqalar. Ultrabinafsha nurlarning biologik ta'siriga kishilarning Quyosh nuri ta'siridan qorayishi misol bo'la oladi. Shisha va suv bu nur 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'lalantiradi. 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.



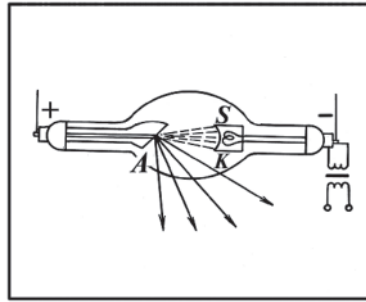
154- rasm.

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 eriymagan metallardan silindr shaklida yasalgan bo'lib, uning sirti trubkaning o'qiga nisbatan  $45^\circ$  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 tezlikkacha 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 sog'lom to'qimalarini zararlamagan holda kasal to'qimalarini yemirish yoki o'ldirish mumkin.

## 57- §. Gamma nurlanishlar haqida tushuncha. Elektromagnit to'qlinlar shkalasi

Tabiatda odatdagi rentgen nurlaridan ham ancha qisqa elektromagnit to'qlinlar mavjud. Bular radioaktiv moddalar chiqaradigan gamma-nur ( $\gamma$  – nur)lardir. 1896- yilda tabiiy radioaktivlik hodisasi kashf etilgandan so'ng gamma nurlarning mavjudligi aniqlandi. Gamma-nurlar tabiati rentgen nurlari bilan bir xil bo'lib, lekin ularidan qattiqligi ortiq bo'lishi jihatidan farq qiladi. Gamma-nurlarning kiruvchanlik qobiliyati eng kattadir. Masalan, ular qalinligi 1 sm bo'lgan qo'rg'oshin qatlamidan bimalol o'tib ketaveradi. Gamma-nurlarning to'qlin uzunligi juda qisqa bo'lib,  $10^{-8}$  sm dan  $10^{-11}$  sm gacha oraliqda yotadi.

Shunday qilib, radioto'qlinlar, infraqizil nurlar, yorug'lik to'qlinlari, ultrabinafsha nurlar, rentgen nurlari va gamma nurlar bilan tanishib chiqib, elektromagnit to'qlinlarning chastotalar va to'qlin uzunliklar diapazoni juda kengligini ko'rdik. Turli chastotali to'qlinlar xossalari jihatidan ham, hosil qilish usullari jihatidan ham bir-biridan ancha farq qiladi. Shuning uchun ham elektromagnit to'qlinlarni bir necha turlarga bo'lish qabul qilingan. Elektromagnit to'qlinlarning bunday bo'linishi quyidagi jadvalda keltirilgan:

| №  | Turlarning nomi            | To'qlin uzunligi (m)                     | To'qlin chastotasi (Hz)                  | Nurlanish manbayi                    |
|----|----------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. | Past chastotali to'qlinlar | $> 10^4$                                 | $\leq 3 \cdot 10^{-4}$                   | O'zgaruvchan tok generatori          |
| 2. | Radioto'qlinlar            | $10^4 \div 10^{-1}$                      | $3 \cdot 10^4 \div 3 \cdot 10^{10}$      | Teburanish konturi va Gers vibratori |
| 3. | Ultraradio to'qlinlar      | $10^{-1} \div 10^{-4}$                   | $3 \cdot 10^{10} \div 3 \cdot 10^{12}$   | Yalpi tarqatkich                     |
| 4. | Infraqizil nurlar          | $10^{-4} \div 7,7 \cdot 10^{-7}$         | $3 \cdot 10^{12} \div 4 \cdot 10^{14}$   | Lampalar                             |
| 5. | Yorug'lik 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.

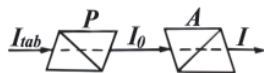
### Masala yechish namunalari

**1- masala.** Agar polarizator va analizator orqali o'tgan tabiiy yorug'likning intensivligi 4 marta kamaygan bo'lsa, polarizator bilan analizator bosh kesimlari orasidagi burchak nimaga teng? Yorug'likning yutilishini hisobga olmang.

Berilgan:  $I_{tab}/I = 4$ .

Topish kerak:  $\alpha$  — ?

**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;  $I_0$  — polarizator orqali o'tib analizatorga tushayotgan yassi qutblangan yorug'likning intensivligi (156- rasm);  $\alpha$  — polarizator 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 polarizatordan 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:  $I_{tab}$  — polarizatorga 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:

$$\cos \alpha = \sqrt{I \cdot \frac{2}{I_{\text{tab}}}} = \sqrt{\frac{1}{4} \cdot 2} = \sqrt{\frac{1}{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}, \text{ yoki } \alpha = 45^\circ.$$

**2- masala.** Shaffof plastinka unga tushayotgan yorug'likning yarmini o'tkazadi. Agar plastinkaning qalinligi 4,2 sm bo'lsa, yutilish ko'effitsiyentini 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:

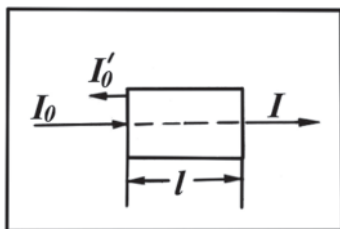
$$I = (I_0 - I'_0)e^{-\alpha l},$$

bunda:  $\alpha$  — yutilish ko'effitsiyenti;  $l$  — 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  $\alpha$  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  $\nu$  — 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  $60^\circ$  bo‘lgan polyarizator va analizatordan o‘tadi. Analizatordan boshlang‘ich yorug‘lik oqimining qancha qismi chiqadi?

**97.** Polyarizator va analizatorning bosh tekisliklari orasidagi burchak  $45^\circ$ . Bu burchakni  $60^\circ$  gacha orttirilganda analizatordan 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).

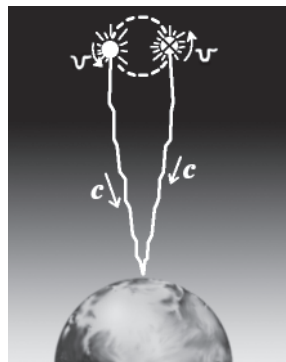
Bu nazariyadan kelib chiqadigan muhim xulosalardan biri vakuumda  $c$  yorug'lik tezligi bilan tarqaladigan elektromagnit to'lqinlarning mavjudligini bashorat qilinganligi edi. Shuningdek, elektromagnit to'lqinlar va yorug'lik tezliklarining o'zaro tengligiga asoslanib, Maksvell yorug'likning elektromagnit 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,  $\chi$  ergashtirish koeffitsiyenti muhitning  $n$  sindirish ko'rsatkichiga quyidagicha:

$$\chi = 1 - \frac{1}{n^2}$$

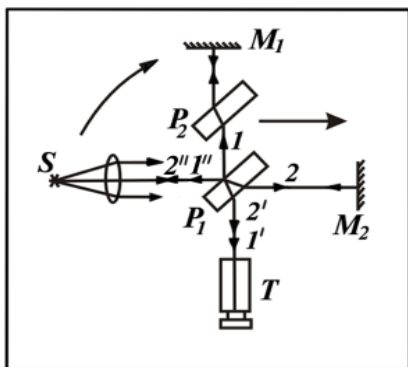
ko'rinishda bog'liq bo'lib chiqdi. Demak, bu ifodadan sindirish ko'rsatkichi birga teng bo'lgan muhitga efir ergashmaydi, degan xulosa kelib chiqadi.

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'zguga 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  $\Delta l$  hosil bo'ladi. Agar asbob  $90^\circ$  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  $-\Delta l$  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 postulatlari

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 postulatlarni 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'zgarmaslik 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.

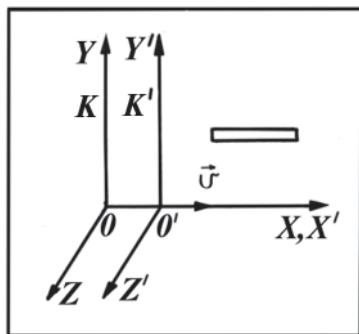
Eynshteynning maxsus nisbiylik prinsipiga asoslangan mexanika **relyativistik mexanika** deb ataladi.

## 61- §. Nisbiylik nazariyasidan kelib chiqadigan baʼzi natijalar

Nisbiylik nazariyasi postulatlaridan fazo va vaqt xossalari oʻld 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  $\tau_0$  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  $\tau$  vaqt quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (104)$$

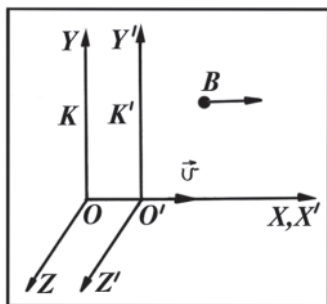
Bu formuladan  $\tau > \tau_0$  ekanligi ravshan. Demak, istalgan kuza-tuvchi harakatdagi soatlarning yurishi tinch turgan aynan shunday soatlarning yurishiga nisbatan  $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$  marta sekinlashganini sezadi, degan xulosa kelib chiqadi.

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.

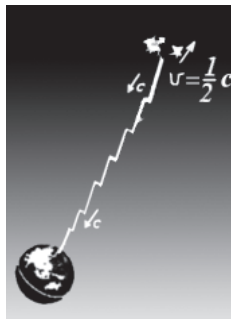


161- rasm.

$K$  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'lganayotgan yorug'lik tezligi bizdan tez uzoqlashayotgan jismdan kelayotganiga qaramay  $c$  ga teng ekan.

## 62- §. Jism massasining tezlikka bog'liqligi

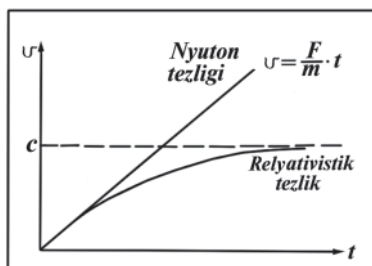
Klassik mexanikada jismning massasi barcha inersial sanoq sistemalarida o'zgarmas va jismning tezligiga bog'liq emas, deb hisoblanadi. Shunday ekanligini tajribalar ham tasdiqlaydi. Agar jismlarning harakat tezligi yorug'lik tezligidan juda kichik ( $v \ll c$ ) bo'lsa, jism massasining tezlikka bog'likligini 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, dinamaning 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 postulatlarini 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.

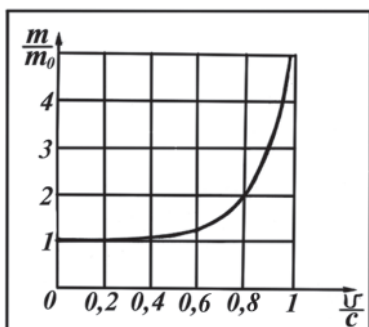
Bu masalani Eynshteyn to‘g‘ri hal qilib berdi. U dinamikaning asosiy qonunini shunday o‘zgartirish kerakki, uning xossalari maxsus nisbiylik nazariyasining xulosalariga mos kelsin, degan fikrga keldi. Bu masalani yechishda jismning massasi bir-biriga nisbatan harakatlanayotgan sanoq sistemalarida bir 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,  $F = \text{const}$  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- rasmga 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 energiyasining 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) xossalarini 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 energiyasi 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 energiyasi yangi hosil bo‘lgan zarralarning kinetik energiyasiga batamom aylanadi. Bu dalil tinchlik energiyasi 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 energiyasi bilan kinetik energiyasining 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  $\Delta m$  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  $\Delta E$  qo‘shimcha energiya berilsa, uning massasi ham

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} \quad (116)$$

ga o‘zgarishi kelib chiqadi.  $\Delta m$  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 oralig'lari 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?

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:

$$\frac{l_0 - l}{l_0} = 0,25, \text{ bundan } l = 0,75l_0. \quad (b)$$

(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:*  $\tau$  — ?

*Yechilishi.* Mezonning  $\tau_0$  «xususiy vaqti» unga biriktirilgan soat bo'yicha o'lchanadi. Yerdagi kuzatuvchi soati mezonga nisbatan harakatlanuvchi sistemaga biriktirilgan, shu sababli uning yordamida o'lchangan vaqt  $\tau$  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:*

$$\tau = \frac{1\text{s}}{\sqrt{1 - (0,95)^2}} = \frac{1}{0,31} \text{s} = 3,2 \text{s}.$$

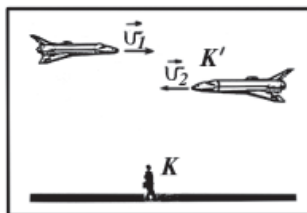
**3- masala.** Ikkita reaktiv samolyot bir-biriga tomon qarshi kurs bo'yicha uchib kelmoqda (165-rasm). Yerga nisbatan ularning tezliklari mos ravishda  $1500 \frac{\text{km}}{\text{soat}}$  va  $3000 \frac{\text{km}}{\text{soat}}$  ga teng bo'lsin. Ikkinchi samolyotdagi yo'lovchining hisoblashi bo'yicha 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:*  $v_2$  — ?



165- rasm.

*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:

$$v_2 = \frac{v_1 + v}{1 + \frac{v_1 \cdot v}{c^2}}.$$

*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?

*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  $\Delta E$  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;  $\Delta m$  — tezlatilgan elektron massasining orttirmasi (massa defekti). Bu ifodalardan:

$$\Delta m \cdot c^2 = eU \quad \text{va} \quad U = \frac{\Delta m \cdot c^2}{e} \quad (a)$$

munosabatni hosil qilamiz.  $\Delta m$  ning qiymatini:

$$\Delta m = m - m_0 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 \quad (b)$$

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 relativistik 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. Elektrning kinetik energiyasini klassik va relativistik 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.

### 64- §. Yorug'likning kvant nazariyasining vujudga kelishi. Yorug'lik kvantlari

XIX asrning oxirlarigacha yorug'lik hodisalari yorug'likning elektromagnit nazariyasi nuqtayi nazaridan tushuntirilib kelindi.

Yorug'likning elektromagnit tabiati haqidagi tasavvurlar olimlarni elektromagnit to'lqin energiyasining uzluksiz tarqalishiga o'xshab yorug'lik energiyasi ham uzluksiz uzatiladi, degan fikrga olib keldi. Ammo XIX asrning oxirlarida klassik elektrodinamika asosida tushuntirib bo'lmaydigan hodisalar aniqlandi. Bu yangi holat fiziklarni yana yorug'likning korpuskulyar tabiatiga murojaat etishga majbur qildi. Bular qanday hodisalar edi?

Ma'lumki, yorug'lik hodisalari yorug'likning modda bilan ta'sirlashishida namoyon bo'ladi. Bunday o'zaro ta'sirlar ham moddada, ham modda bilan o'zaro ta'sirda bo'lgan yorug'likda kechuvchi ma'lum o'zgarishlar bilan bir qatorda kuzatiladi. Yorug'lik qaytadi, sinadi va modda tomonidan yutiladi. Modda bilan yorug'likning o'zaro ta'sirlashishida kimyoviy va biologik reaksiyalar yuz beradi.

Yorug'likning modda bilan o'zaro ta'siri tufayli yuz beradigan hodisalarni, ular bo'ysunadigan qonunlarni o'rganish yorug'lik tabiatini, uning strukturasi va ichki mohiyatini chuqurroq bilish imkonini beradi. Yorug'likning tabiati haqidagi tasavvurlarni tub o'zgarishlarga olib kelgan yangi kashf etilgan va o'rganilgan hodisalar qatoriga issiqlik nurlanish, fotoelektrik effekt, atom va molekullarning nurlanishi, rentgen nurlanishi va shu kabilar kiradi.

**Issiqlik nurlanish** deb, *tayinli bir temperaturagacha qizdirilgan istalgan jismdan atrof fazoga nurlanadigan elektromagnit to'lqinlarga aytiladi.* U atom va molekullarning xaotik harakati energiyasi hisobiga amalga oshadi va jismning sovishiga olib keladi. Elektromagnit to'lqinlarning yutilishi, aksincha, jismning isishiga olib keladi. Issiqlik nurlanish jarayonida energiya yo'qotilishi energiya yutilishi bilan kompensatsiyalangan hollarda jism issiqlik muvozanatida bo'ladi.

Qizdirilgan jismlarning nurlanishi qadimdan ma'lum edi, ammo termodinamik muvozanatda bo'lgan qizdirilgan jismlarning issiqlik nurlanishi bo'yicha o'tkazilgan dastlabki tadqiqotlar XIX asrning

boshlariga to'g'ri keladi. Bu nurlanish jismning temperaturasi bog'liq bo'ladi.

XIX asr oxirida issiqlik nurlanish spektrida energiya taqsimoti muammosi yuzaga keldi. Issiqlik nurlanish tutash spektrga ega bo'lsa-da, ammo unda energiya taqsimoti temperaturaga bog'liq: past temperaturalarda nurlanish, asosan, infraqizil nurlanishdan, yuqori temperaturalarda esa ko'rinadigan va ultrabinafsha nurlanishdan iborat.

1859- yilda nemis fizigi G. Kirxgof issiqlik nurlanishning spektral xarakteristikalarini — *jismning nur chiqarish va nur yutish qobiliyatlari* tushunchalarini, shuningdek, nur chiqarish qobiliyati universal ahamiyatga ega bo'lgan **absolyut qora jism** tushunchasini kiritib, issiqlik nurlanish qonunini ochdi.

*Jismning birlik yuzasidan vaqt birligida birlik kenglikdagi chastotalar intervalida chiqargan elektromagnit energiyasiga **nur chiqarish qobiliyati** deb ataladi.*

Barcha jismlar o'ziga tushgan elektromagnit nurlanish energiyasini ozmi-ko'pmi yutadi. *Birlik vaqt davomida jismning birlik yuzasiga birlik kenglikdagi chastotalar intervalida tushayotgan elektromagnit nurlanish energiyasining qancha qismi jism tomonidan yutilishini xarakterlaydigan kattalik **nur yutish qobiliyati** deb ataladi.* Jismlarning nur chiqarish va nur yutish qobiliyatlari chastotaga, temperaturaga, jismning kimyoviy tarkibiga va sirtining holatiga bog'liq bo'ladi.

*Istalgan temperaturada o'ziga tushayotgan elektromagnit to'lqinlar energiyasini, ularning chastotalaridan qat'iy nazar, butunlay yutadigan jismi **absolyut qora jism** deyiladi.* Absolyut qora jismning nur yutish qobiliyati istalgan chastota va temperaturalarda birga teng bo'ladi, nur chiqarish qobiliyati esa chastota va temperaturaga bog'liq bo'ladi.

Bu bog'lanish qanday ko'rinishga ega ekanligini aniqlash maqsadida tadqiqotchilarning e'tibori absolyut qora jismning nurlanish qonunlarini, aniqrog'i, absolyut qora jism nurlanish spektrida energiyaning taqsimlanishini o'rganishga qaratiladi. Bir qator olimlar eksperimental ma'lumotlar asosida absolyut qora jism nurlanish qonunining xususiy ko'rinishlarini aniqladilar. Boshqa olimlar klassik fizikaning asosiy qonunlaridan kelib chiqqan holda absolyut qora jism nurlanish spektri bo'yicha energiyaning taqsimot qonunini keltirib chiqarishga urindilar, ammo ularning urinishlari muvaffaqiyatsiz yakunlandi. Maksvell elektrodinamikasi asosida absolyut qora jism spektrida energiya taqsimotining tajribada kuzatilgan qonuniyatlarini tushuntirish mumkin bo'lmay qoldi. Elektromagnit to'lqinlarning mavjudligini bashorat qilgan va ularning nurlanish hamda tarqalish

jarayonlarini tavsiflagan Maksvell elektrodinamikasi o'rnatilgan dalillar bilan yana qarama-qarshi bo'lib qoldi.

Qarama-qarshilikning mohiyati quyidagidan iborat edi. Elektromagnit nazariyaga asosan, qizigan jism elektromagnit to'lqinlarning nurlanishi tufayli absolyut nolgacha sovuishi kerak edi. Ammo kundalik tajriba bunday emasligini ko'rsatadi. Qizdirilgan jism o'z energiyasining bir qisminigina elektromagnit to'lqinlarni chiqarishga sarflaydi. Bundan tashqari qarama-qarshilikning mohiyati yana shundan iborat ediki, klassik fizikaga ko'ra oq nur chiqarish darajasigacha qizdirilgan absolyut qora jismning tutash spektrida eng ko'p energiya miqdori qisqa to'lqin uzunligi (yoki eng katta chastota)ga to'g'ri kelishi kerak edi. Amaliy o'lchashlar esa eng yuqori temperaturalarda energiyaning maksimal qiymati eng qisqa to'lqinlar sohasiga, ya'ni nurlanish spektrining ultrabinafsha qismiga to'g'ri kelmasligini ko'rsatadi.

Absolyut qora jism nurlanishi muammosini yechish 1890- yilda nemis fizigi M. Plankka nasib etdi.

Yuzaga kelgan qarama-qarshiliklardan qutulish yo'lini izlagan Plank yorug'lik to'lqinlarining uzluksizligi haqidagi klassik tasavvurlar noto'g'ri deb hisobladi. U *yorug'lik modda tomonidan uzluksiz emas, balki diskret, alohida porsiyalar tarzida nurlanadi*, degan prinsipial yangi gipotezani ilgari surdi. Plank bu porsiyalarni **energiya kvanti** yoki **kvantlar** deb atadi. U har bir porsiyaning energiyasi nurlanish chastotasiga proporsional, deb taxmin qildi:  $\epsilon = h\nu$ , bunda  $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  J · s — nurlanish chastotasiga bog'liq bo'lmagan doimiy kattalik bo'lib, keyinroq olimning sharafiga **Plank doimiysi** deb ataldi.

Plank absolyut qora jism spektrida topilgan energiyaning taqsimot qonuni haqida 1900- yilning 19- oktabrida Berlin fizika jamiyatining majlisida ma'ruza qildi va shu yilning 14- dekabrda uning nazariy asoslarini berdi. Bu kun fan tarixiga kvant nazariyaning tug'ilish kuni bo'lib kirdi.

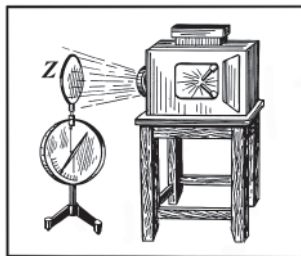
Plank nazariyasini rivojlantira borib, 1905- yilda A. Eynshteyn yorug'likning kvant nazariyasini yaratdi. Bu nazariyaga muvofiq, *yorug'lik moddaning atom va molekulalaridan kvantlarda chiqadi, tarqaladi va yutiladi*. Yorug'lik to'lqinlari energiyasi faqat kvant energiyasi  $\epsilon$  kattaligiga karrali miqdorda bo'lishi mumkin, ya'ni to'lqin eltayotgan energiya quyidagicha bo'lishi mumkin:

$$E = n\epsilon,$$

bunda  $n = 1, 2, 3, \dots$  qiymatlarni, ya'ni faqat butun son qiymatlarini qabul qiladi.

## 65- §. Fotoeffekt hodisasi

Fotoeffekt hodisasini nemis fizigi Gers kashf etdi. Bu hodisaning mohiyati quyidagidan iborat: elektrometrgra rux plastinkani oʻrnatib, uni manfiy zaryad bilan zaryadlaymiz (166- rasm). Plastinkani tarkibida ultrabinafsha nurlar boʻlgan kuchli yorugʻlik manbayi, masalan, elektr yoyi bilan yoritamiz, bunda plastinka oʻz zaryadini tez yoʻqotayotganini, yaʼni elektrometr strelkasi pasayganini sezamiz. Nurlarning yoʻliga ultrabinafsha nurlarni oʻtkazmaydigan qalin shisha plastinkani qoʻyib, tajribani takrorlaymiz, bunda plastinka oʻz zaryadini yoʻqotmaydi. Boshqa metallar, masalan, kaliy, natriy, rubidiy, seziydan qilingan plastinkalar



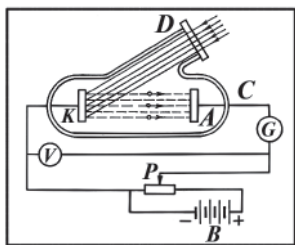
166- rasm.

oʻzidagi manfiy zaryadini ultrabinafsha nurlar taʼsiridagina emas, hatto koʻzga koʻrinadigan nurlar taʼsirida ham yoʻqotadi. Rux plastinkani musbat zaryad bilan maʼlum potentsialgacha zaryadlaymiz va elektr yoyi bilan yoritamiz, bu holda esa plastinka oʻz zaryadini yoʻqotmaganini, strelka holatining oʻzgarmaganligini koʻramiz. Bundan yorugʻlik manfiy zaryadlangan metallardan zarralarni urib chiqarishi kelib chiqadi. Ularning zaryadini 1898- yilda J.J. Tomson aniqlagan va bu zarralar elektronlardan iborat ekanligini koʻrsatgan.

Bu hodisa **fotoelektrik effekt** yoki qisqacha **fotoeffekt** deb ataladi. Agar elektron yoritilayotgan modda tashqarisiga chiqsa (butunlay ajralish) **tashqi fotoeffekt** deb ataladi. Agar elektronlar faqat «oʻz» atomlari va molekulalari bilan bogʻlanishni yoʻqotsa-yu, lekin yoritilayotgan moddaning ichida «erkin elektron»lar sifatida qolsa (qisman ajralishi) va shu bilan barcha moddaning elektr oʻtkazuvchanligini oshira borsa, u vaqtda bunday fotoeffekt **ichki fotoeffekt** deb ataladi.

Ichki fotoeffektni 1873- yilda amerikalik fizik U. Smitt kashf qilgan va yarimoʻtkazgichlarda, baʼzan dielektriklarda ham kuzatgan. Tashqi fotoeffektni 1887- yilda Gers kashf qilgan va 1888- yilda A.G. Stoletov tomonidan mufassal tekshirilgan. Tashqi fotoeffekt, asosan, metallarda kuzatiladi.

Fotoeffekt hodisasi metallarning kimyoviy tabiatidan tashqari ular sirtining holatiga ham bogʻliqdir. Sirtidagi ozgina ifloslik ham yorugʻlik taʼsirida boʻladigan elektronlar emissiyasiga taʼsir etadi.



167- rasm.

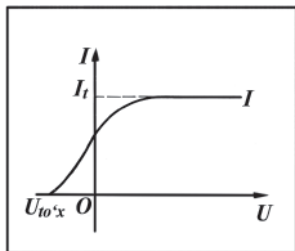
Shu sababli fotoeffektni o'rganish uchun anod va katod joylashtirilgan vakuumli shisha ballondan foydalaniladi.

Tashqi fotoeffektni tekshirishda Stoletov foydalangan qurilmaning prinsipial tuzilishi 167- rasmda ko'rsatilgan.

Havosi so'rib olingan *C* shisha ballonga ikkita elektrod — *A* anod va *K* katod o'rnatilgan. Katodga kvarsdan yasalgan *D* darcha orqali yorug'lik tushadi. *B* batareya yordamida elektrodlariga kuchlanish beriladi. Kuchlanishning qiymati *P* potensiometr yordamida o'zgartiriladi va *V* voltmetr yordamida o'lchanadi. Katod vazifasini ruxdan yasalgan plastinka o'taydi. Katodga yorug'lik tushmaganda elektr zanjirida tok hosil bo'lmaydi. Katod yorug'lik bilan yoritilganda yorug'lik undan elektronlarni urib chiqaradi. Bu elektronlar **fotoelektronlar** deb ataladi. Fotoelektronlar anodga tomon harakatlanadi va zanjirda tok hosil bo'ladi. Bu tokka **fototok** deb ataladi. Sxema katod va anod orasidagi kuchlanishning turli qiymatlarida katodni turlicha yoritish sharoitida fototok kuchini o'lchash imkonini beradi.

Fototokning anod kuchlanishiga bog'liqligi **fotoeffektning volt-ampere xarakteristikasi** deyiladi.

Tajribaning ko'rsatishicha, agar yorug'lik oqimini o'zgartirmay turib, elektrodlar orasidagi potensiallar ayirmasi orttirilsa, tok kuchayadi. Kuchlanish biror qiymatga erishganda tok kuchining qiymati eng katta bo'ladi, bundan keyin kuchlanish ortsa ham tok kuchi o'zgarmaydi (168- rasm). Tok kuchining bu eng katta  $I_t$  qiymatiga **to'yinish toki** deb ataladi. To'yinish tokining qiymati elektroddan sekundiga uzilib chiqqan elektronlar soniga bog'liq. Kichik kuchlanishlarda yorug'lik urib chiqargan elektronlarning ma'lum qismigina anodga yetib boradi (tokning qiymati kichik bo'ladi). Kuchlanishni oshirib borib, anodga yetib kelayotgan elektronlarning sonini ham ko'paytirib boriladi (tokning qiymati o'sib boradi), va, nihoyat, kuchlanishning ma'lum qiymatidan boshlab yorug'lik urib chiqargan elektronlarning hammasi anodga yetib boradi (tok maksimal — to'yinish qiymatiga erishadi).



168- rasm.

168- rasmda keltirilgan grafikdan ko‘rinib turibdiki, kuchlanish nol bo‘lganda ham fototokning kuchi noldan farq qiladi. Bu tok yorug‘lik katoddan urib chiqargan elektronlarning bir qismi anod kuchlanishi bo‘lmasa ham, anodga yetib borishidan hosil bo‘ladi. Agar batareyaning qutblari o‘zgartirilsa, tok kamayadi va biror kuchlanishda tok nolga teng bo‘lib qoladi. Bu esa barcha elektronlarning yana katodga qaytishini bildiradi. Bu vaqtdagi kuchlanish **to‘xtatuvchi** yoki **tormozlovchi kuchlanish** deyiladi. Tormozlovchi kuchlanishning qiymati yorug‘lik urib chiqargan elektronlarning maksimal kinetik energiyasiga bog‘liq bo‘ladi. Energiyaning saqlanish qonuniga asosan tormozlovchi kuchlanish quyidagi tenglamadan topiladi:

$$\frac{mv^2}{2} = eU_t \quad (117)$$

bunda:  $U_t$  — tormozlovchi kuchlanish;  $m$  — elektronning massasi;  $e$  — elektron zaryadi;  $v$  — fotoelektronlarning tezligi.

Bu tenglik bajarilganda elektr maydonining elektronni ko‘chirishda bajargan ishi elektron kinetik energiyasining o‘zgarishiga teng bo‘ladi. Binobarin, elektronning tezligi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$v = \sqrt{\frac{2eU_t}{m}}. \quad (118)$$

Shunday qilib, 167- rasmda ko‘rsatilgan sxemadan foydalanib, fototokning maksimal qiymati va fotoelektronlarning tezligini aniqlash mumkin.

## **66- §. Fotoeffekt qonunlari. Eynshteyn tenglamasi**

Tashqi fotoeffekt hodisasini har tomonlama o‘rganish uning quyidagi muhim qonunlarini ochishga olib keladi:

1. Metallni o‘zgarmas to‘lqin uzunlikdagi yorug‘lik bilan yoritilganda vaqt birligi ichida yorug‘lik urib chiqaradigan elektronlarning maksimal soni (ya’ni, to‘yinish fototoki) yorug‘lik oqimiga to‘g‘ri proporsionaldir.

2. Tushayotgan yorug‘lik chastotasi ortishi bilan fotoelektronlarning tezligi orta boradi, ammo bu yorug‘likning intensivligiga bog‘liq bo‘lmaydi.

3. Fotoeffekt yorug‘likning intensivligiga bog‘liq bo‘lmagan holda berilgan metall uchun fotoeffektning «**qizil chegarasi**» deb ataladigan aniq minimal chastotada boshlanadi.

Fotoeffektning ikkinchi va uchinchi qonunlarini yorug‘likning elektromagnit nazariyasi asosida tushuntirish mumkin emas. Haqiqatan ham bu nazariyaga ko‘ra intensivligi yetarlicha katta bo‘lgan istalgan chastotali yorug‘lik metallardan elektronlarni urib chiqarishi kerak, boshqacha aytganda, fotoeffektning «qizil chegarasi» mavjud bo‘lmazligi kerak. Bu xulosa fotoeffektning uchinchi qonuniga ziddir. So‘ngra yorug‘likning intensivligi qanchalik katta bo‘lsa, unda elektronlar shunchalik katta kinetik energiya bilan harakatlanishi, ya‘ni fotoelektronlarning tezligi yorug‘likning intensivligi ortishi bilan o‘sishi kerak edi; bu xulosa fotoeffektning ikkinchi qonuniga ziddir.

Tashqi fotoeffekt qonunlarini yorug‘likning kvant nazariyasi asosida osongina izohlash mumkin. Bu nazariyaga ko‘ra yorug‘lik oqimining kattaligi vaqt birligida metall sirtiga tushadigan yorug‘lik kvantlarining soni bilan aniqlanadi. Har bir yorug‘lik kvanti faqat bitta elektron bilan o‘zaro ta’sirlashadi deb qaralsa, fotoelektronlarning maksimal soni yorug‘lik oqimiga proporsional bo‘lishi kelib chiqadi (**fotoeffektning birinchi qonuni**).

Elektron yutgan yorug‘lik kvantining  $h\nu$  energiyasi elektronning metalldan chiqish ishini bajarishga saflanadi; bu energiyaning qolgan qismi fotoelektronning kinetik energiyasidan iborat bo‘ladi. Bunga ko‘ra energiyaning saqlanish qonunini quyidagicha yoza olamiz:

$$h\nu = \frac{mv^2}{2} + A, \quad (119)$$

bunda:  $A$  — elektronning chiqish ishi.

1905- yilda Eynshteyn taklif qilgan va keyinchalik tajribalarda tasdiqlangan bu formulani **Eynshteyn tenglamasi** deb ataladi.

Eynshteyn tenglamasidan bevosita ko‘rinib turibdiki, yorug‘lik chastotasi ortishi bilan fotoelektronning tezligi ortadi va yorug‘likning intensivligiga bog‘liq bo‘lmaydi. Bu xulosa fotoeffektning ikkinchi qonuniga mos keladi.

(119) formulaga muvofiq, yorug‘likning chastotasi kamayishi bilan fotoelektronlarning kinetik energiyasi ham kamayadi. Ma‘lumki, elektronlarning metalldan chiqish ishi ham bir metall uchun o‘zgarmas kattalikdir, binobarin, bu kattalik yorug‘lik chastotasiga bog‘liq emas. Biror yetarlicha kichik  $\nu = \nu_m$  chastotada fotoelektron-

ning kinetik energiyasi nolga teng bo'lib, bunda fotoeffekt to'xtaydi. Bu  $h\nu_m = A$  bo'lganda sodir bo'ladi, ya'ni yorug'lik kvantining hamma energiyasi elektronning chiqish ishiga sarflangan bo'ladi. U vaqtda:

$$\nu_m = \frac{A}{h} \text{ yoki } \lambda_m = \frac{hc}{A}. \quad (120)$$

Fotoeffektni kuzatish mumkin bo'lgan eng katta to'lqin uzunligi  $\lambda_m$  elektrod (katod)ning ayni shu materiali uchun fotoeffektning «qizil chegarasi» deb ataladi. (120) formuladan fotoeffektning «qizil chegarasi» elektronlarning chiqish ishining kattaligiga bog'liqligi kelib chiqadi. Turli metallar uchun chiqish ishining qiymati turlicha, binobarin, har bir metall uchun fotoeffekt hodisasi ma'lum bir minimal chastota (yoki maksimal to'lqin uzunligi)dan boshlab kuzatiladi. Bu xulosa fotoeffektning uchinchi qonuniga mos keladi.

Fotoeffekt deyarli noinersion hodisadir. Eynshteyn nazariyasi bo'yicha fotoeffektning noinersionligi yorug'likda kvant xossalari mavjudligi va yorug'likning modda bilan o'zaro ta'siri kvant xarakterga ega ekanligining isbotidan iboratdir. Fotoeffektning chiqish vaqti yorug'lik kvanti va metalldagi elektron orasidagi energiya almashinuvi bilan aniqlanadi. Bu vaqt  $10^{-13}$  s tartibidagi kattalikka tengdir. Agar fotoeffektni to'lqin nazariya nuqtayi nazaridan qaralsa, u holda yorug'likning berilgan intensivligida elektronning chiqish ishini bajarish uchun zarur bo'lgan energiyani elektromagnit to'lqin elektronga berishi uchun ma'lum vaqt talab qilinadi, degan xulosa chiqarish kerak bo'lar edi.

Shunday qilib, Eynshteyn o'zi rivojlantirgan tashqi fotoeffekt nazariyasi asosida yorug'likning kvant xossalari mavjudligi va yorug'likning modda bilan ta'sirlashishi kvant xarakterga ega ekanligi haqidagi g'oyasini tasdiqlay oldi.

## **67- §. Foton va uning xarakteristikalari**

Fotoeffekt hodisasi, absolyut qora jismning nurlanishi, fotokimyoviy reaksiyalar va boshqalar Eynshteynning elektromagnit nurlanish nafaqat porsiya (kvant)lar bilan chiqadi, balki elektromagnit maydonning alohida zarralari —  $\epsilon = h\nu$  energiyaga ega kvantlar ko'rinishida tarqaladi ham, modda tomonidan yutiladi ham, degan xulosasining to'g'riligini yorqin isbotlab berdilar. Agar Plank kvantlar haqidagi gipotezani ilgari surganda kvantni faqat yordamchi tushuncha

sifatida zarur, deb hisoblagan bo'lsa, Eynshteyn uzoqroqqa ketdi. U kvantda elektromagnit maydonning real mavjud zarrasini ko'rdi va bu zarrani keyinroq, 1929- yilda **foton** deb atadi.

Foton qator muhim xossalarga ega.

1. Fotonning energiyasi mos elektromagnit to'liqinning chastotasi (to'liqin uzunligi) orqali quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}. \quad (121)$$

2. Foton tinch tura olmaydi, u dunyoga kelishi bilan harakatlana boshlaydi. Uni to'xtatish mumkin emas. Foton  $m_0$  tinchlikdagi massaga ega emas. Fotonning moddani oddiy zarralaridan prinsipial farqi ham ana shunda. Fotonlarning tinchlikdagi massasi yo'qligining isboti shundaki, yorug'lik dastalari o'zaro kesishganda ularning har biri bir-biriga bog'liq bo'lmagan holda tarqalishda davom etadi.

3. Nisbiylik nazariyasiga binoan, massa va energiya o'zaro bog'liqlik qonuni bo'yicha  $E=mc^2$  edi. Shunga ko'ra fotonning massasini  $h\nu=mc^2$  tenglikdan aniqlash mumkin:

$$m_f = \frac{h\nu}{c^2} \quad \text{yoki} \quad m_f = \frac{h}{c\lambda}. \quad (122)$$

Bu massani elektromagnit maydon energiyaga ega bo'lganligi tufayli maydon massasi sifatida qaraladi. Fotonning massasini o'lchashning imkoni yo'q va undan tashqari hech bir eksperimental dalilda bu massa fotonning boshqa xarakteristikalaridan farq qilib, bevosita o'zini namoyon etmaydi. Lekin maydon massasi haqidagi tushunchadan bir qator hodisalarni, jumladan, elementar zarralarni tadqiq qilish bilan bog'liq hodisalarni tushuntirishda foydalaniladi.

4. Fotonlarning muhim xossalardan yana biri shuki, boshqa elementar zarralardan farqli o'laroq, ular nisbatan oson vujudga kelishi va yo'q bo'lishi mumkin (masalan, elektronlar va pozitronlarning vujudga kelishi va yo'q bo'lishi maxsus sharoitlarda sodir bo'ladi). Elektromagnit maydonning uyg'onishi sifatida foton moddasiz vujudga kela olmas edi, ammo modda bo'lmaganda foton cheksiz uzoq yashagan bo'lar edi.

5. Elektromagnit maydonning zarrasi bo'lgani holda foton hamma vaqt  $c$  yorug'lik tezligi bilan harakatlanadi. Yorug'likning struktura birligi bo'lib fotonlar elektromagnit maydonning energiyasi va massasini eltadi. Fotonlarning modda bilan o'zaro ta'sirida yorug'likning ta'siri namoyon bo'ladi.

6. Energiya va massadan tashqari foton  $p_f$  impulsiga ham ega. Fotonning impulsi uning massasi bilan tezligi orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$p_f = m_f c = \frac{h \nu}{c} = \frac{h}{\lambda}. \quad (123)$$

Foton impulsi vektor kattalik, uning yoʻnalishi yorugʻlik nuri yoʻnalishi bilan mos tushadi. Foton impulsining mavjudligi yorugʻlikning bosimi va moddada sochilishi boʻyicha oʻtkazilgan tajribalar bilan tasdiqlanadi.

(123) formula yorugʻlikning toʻlqin va kvant xossalari bir-biriga bogʻlovchi formula hisoblanadi. (122) va (123) formulalardan koʻrinadiki, nurlanish chastotasi ortishi bilan fotonning massasi va impulsi ham ortar ekan. Nurlanishlarning baʼzi turlari uchun fotonning energiyasi, massasi va impulsi jadvalda keltirilgan:

1- jadval

| Nurlanish turi         | $\epsilon$ , J        | $\nu$ , Hz           | $m_f$ , kg.          | $p_f$ , kg·m·s <sup>-1</sup> |
|------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|------------------------------|
| Koʻrinadigan yorugʻlik | $3,14 \cdot 10^{-19}$ | $5,14 \cdot 10^{14}$ | $4 \cdot 10^{-36}$   | $1,2 \cdot 10^{-27}$         |
| Ultrabinafsha nurlar   | $2 \cdot 10^{-18}$    | $3 \cdot 10^{15}$    | $2,2 \cdot 10^{-35}$ | $6,6 \cdot 10^{-27}$         |
| Qattiq rentgen nurlari | $5,3 \cdot 10^{-15}$  | $8 \cdot 10^{18}$    | $6 \cdot 10^{-32}$   | $1,8 \cdot 10^{-23}$         |
| Gamma nurlar           | $2 \cdot 10^{-13}$    | $3 \cdot 10^{20}$    | $2,2 \cdot 10^{-30}$ | $6,6 \cdot 10^{-22}$         |

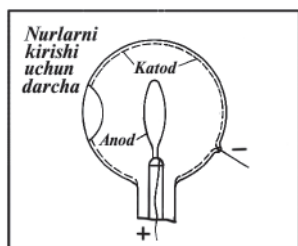
Jadvaldan koʻrinadiki, yorugʻlik fotonining massasi eng kichik ekan, biroq qattiq rentgen nurlari uchun fotonning massasi elektron massasi ( $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$  kg) bilan solishtirarli darajada, gamma nurlanishida esa hatto elektron massasidan katta ekan.

## 68- §. Fotoeffektning qoʻllanilishi

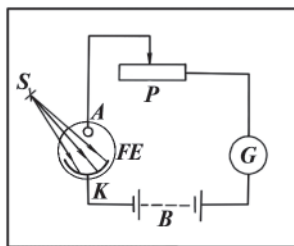
Fotoeffekt qonunlarini oʻrganish yorugʻlik haqidagi asosiy bilimlarimizni chuqurlashtirish uchun koʻp narsani beradi. Shuning uchun fotoeffekt hodisasi katta ilmiy ahamiyatga ega. Shu bilan birga fotoeffektning amaliy (texnik) ahamiyati ham katta. Ayniqsa fotoelementlar yaratilgandan keyin fotoeffektning turli-tuman qoʻllanish imkoniyati vujudga keldi.

Yorugʻlik energiyasini elektr energiyasiga aylantirib beruvchi asboblarda **fotoelementlar** deyiladi. A.G. Stoletovning qurilmasini fotoelement deyish mumkin. Hozirgi zamon fotoelementi ichki

yuzining bir qismiga chiqish ishi kichik bo'lgan metall qoplangan shisha ballondan iborat bo'lib (169- rasm), bu qatlam katod vazifasini o'taydi va manbaning manfiy qutbiga ulanadi. Ballon ichiga yorug'lik shaffof «darcha» orqali kiradi. Ballonga kavsharlangan metall halqa anod vazifasini o'taydi va manbaning musbat qutbiga ulanadi. Odatda ballonda vakuum hosil qilinadi, biroq ba'zida ballonga inert gaz, masalan, neon yoki argon kiritiladi. Vakuumli fotoelementlar o'ziga tushgan har bir lyumen yorug'lik hisobiga 5 dan 30 mikroampergacha tok beradi, holbuki gazli fotoelementlar esa har lyumenga 30 dan 700 mikroampergacha tok beradi. Bunday asboblarda fototok katod sirtidan urib chiqarilgan elektronlar ta'sirida gazning ionlashishi hisobiga ortadi.



169- rasm.



170- rasm.

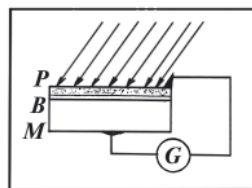
Fotoelementlarning zanjirga ulanish sxemasi 170- rasmda ko'rsatilgan. Agar katodga  $S$  manbadan yorug'lik tushayotgan bo'lsa, u elektronlar ajratib chiqaradi va bu elektronlar anodga qarab harakatlanadi; bu holda zanjirda tok hosil bo'ladi. Tok kuchini galvanometr bilan o'lchanadi. Anod bilan katod orasidagi kuchlanishni reostat yordamida o'zgartirish mumkin.

Ichki fotoeffektga asoslangan fotoelementlarni **yarimo'tkazgichli fotoelementlar** deb ataladi. Bunday yarimo'tkazgichli fotoelementlarni tayyorlashda selen, qo'rg'oshin (II)-sulfid, kadmiy sulfid va boshqa ba'zi yarimo'tkazgichlardan foydalaniladi. Yarimo'tkazgichli fotoelementlarning fotosezgiriligi vakuumli fotoelementlarning sezgirligidan ancha (yuzlarcha marta) katta.

Lekin yarimo'tkazgichli fotoelementlarning kamchiligi shundan iboratki, ular sezilarli darajada inersion, shuning uchun ularni tez o'zgaruvchan yorug'lik oqimlarini qayd qilishga ishlatib bo'lmaydi.

Berkituvchi qatlamli yarimo‘tkazgichli fotoelement yoki **ventilli fotoelementlar** ham ichki fotoeffektga asoslangan. Bu fotoelementning sxemasi 171- rasmda berilgan.

$G$  galvanometr ulangan tashqi elektr zanjirga  $M$  metall plastinka va uning ustiga surkalgan yarimo‘tkazgichning  $P$  yupqa qatlami ulangan. Yarimo‘tkazgichning metall bilan



171- rasm.

kontakt sohasida ventilli o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lgan  $B$  berkituvchi qatlam hosil bo‘ladi, bu qatlam elektronlarni faqat yarimo‘tkazgichdan metall tomonga o‘tkazadi. Yarimo‘tkazgichli qatlamni yoritganda ichki fotoeffekt tufayli unda erkin elektronlar paydo bo‘ladi. Bu elektronlar tartibsiz harakat jarayonida berkituvchi qatlam orqali metallga o‘tib, teskari yo‘nalishda siljish imkoniyati bo‘lmaganidan metallda ortiqcha manfiy zaryadni vujudga keltiradi. Elektronlarining bir qismini yo‘qotgan yarimo‘tkazgich musbat zaryadlanib qoladi. Metall va yarimo‘tkazgich orasida hosil bo‘ladigan potensiallar ayirmasi fotoelement zanjirida tokni vujudga keltiradi.

Shunday qilib, ventilli fotoelement yorug‘lik energiyasini bevosita elektr energiyasiga aylantiradigan tok generatoridan iboratdir.

Ventilli fotoelementda yarimo‘tkazgichlar sifatida selen, mis (I)-oksid, talliy sulfid, germaniy, kremniylardan foydalaniladi.

Toza kremniyni olish texnologiyasi murakkabligi sababli kremniyli fotoelementlar juda qimmat turadi. Lekin shunga qaramay shu narsa muhimki, kremniyli fotoelementlar yuqori temperaturalariga bardosh bera oladi, hatto sferik ko‘zgular vositasida quyosh energiyasi konsentratsiyasini ularga yuborish mumkin. Shu sababli ham kremniyli fotoelementlar **quyosh batareyalari** nomini olgan.

O‘zbekistonda yarimo‘tkazgichlar fizikasi sohasidagi ishlar XX asrning 30- yillarida avval Geliotexnik laboratoriyada olib borilgan, so‘ng fizika-texnika institutida davom ettirilgan va davom ettirilmoqda. Institutda o‘zbek olimlari tomonidan yarimo‘tkazgichlar ustida fundamental ilmiy tadqiqotlar olib borish bilan bir vaqtda, ulardan fan, texnika, qishloq xo‘jaligida foydalanish masalalari ham ko‘rib borilmoqda. Masalan, yuqori kuchlanishli selenli to‘g‘rilagichlarning sanoat texnologiyasi ishlab chiqilgan va seriyali ishlab chiqarish tashkil etilgan. Institutning izlanishlari asosida sanoatda o‘ta toza kremniyni ishlab chiqarish amalga oshirilgan, turli optoelektron asboblari yaratilgan va hokazo.

Fotoelementlarning qo'llanish sohalari juda turli-tumandir. Ovozli kino, tasvirlarni simlar orqali uzatish (fototelegraf), televideniye, avtomatika va telemexanikaga tegishli ko'p masalalar fotoelementlarni ishlatish tufayligina hal qilinadi. Fotometriyada darajalangan galvanometrga ulangan fotoelementlar samarali ravishda ishlatiladi. Bu asbobni *lyuksmetr* deb ataladi.

Yerning sun'iy yo'ldoshlari va kosmik kemalarda quyosh batareyalari ishlatiladi. Ular kema­dagi asboblarni elektr toki bilan ta'minlaydigan birdan-bir manba hisoblanadi. Masalan, Yerning uchinchi sun'iy yo'ldoshi «Soyuz-3» da quyosh batareyalari 12500 soat (691 kun, deyarli 2 yil) ishladi va kema­dagi butun radioap­paraturani tok bilan ta'minlab berdi. Buning uchun fotoelement­larning umumiy yuzasi yetarli katta bo'lishi kerak. «Soyuz-3» kosmik kemasida quyosh batareyalarining yuzi qariyb 14 m<sup>2</sup> ni tashkil qilgan edi.

Kosmik texnikadan tashqari kremniyli fotoelementlar akku­mulyatorlarni zaryadlashda, radiopriyomnik va peredatchiklarni, telefon stansiyalarni tok bilan ta'minlashda va hokazolarda xizmat qiladi.

«Agar Misr sirtiga tushayotgan yorug'lik energiyasining hech bo'lmaganda 10% dan foydalanish imkoni bo'lganda edi, insoniyat butun dunyoda ishlab chiqarilayotgan energiyaga teng energiyani olgan bo'lar edi», degan edi fransuz olimi F. Jolio-Kyuri.

### **Takrorlash uchun savollar**

1. *Issiqlik nurlanish qanday hodisa?*
2. *Jismning nur chiqarish va nur yutish qobiliyatlari qanday fizik kat­taliklar?*
3. *Absolyut qora jism qanday jism? Uning nur yutish qobiliyati nechaga teng?*
4. *Plank g'oyasining mazmuni nimadan iborat?*
5. *Energiya kvanti qanday formuladan aniqlanadi?*
6. *Fotoeffekt qanday hodisa? Qanday turlari mavjud?*
7. *Tashqi fotoeffekt qanday asbob yordamida o'rganiladi?*
8. *Fotoelektronlar, fototok, to'yinish toki, to'xtatuvchi potensial tushun­chalarining mazmunini ayting.*
9. *Fotoeffektning volt-ampere xarakteristikasi nimani ifodalaydi?*
10. *Tashqi fotoeffekt qonunlarini ta'riflang.*
11. *Fotoeffekt qonunlarini tushuntirishda qanday muammolar yuzaga keldi?*
12. *Fotoeffekt haqida Eynshteyn nazariyasining mohiyati nimadan iborat?*
13. *Fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasini yozing va fizik mohiyatini tushuntiring.*

14. Fotoeffektning «qizil chegarasi»ni qanday aniqlash mumkin? Formulasini yozing.
15. Foton qanday zarra? Qanday xossalarga ega?
16. Foton energiyasi, massasi va impulsi formulalari qanday ko‘rinishda? Izohlab bering.
17. Fotoelement qanday asbob? Qanday turlarini bilasiz?
18. Vakuumli fotoelementning tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring. U zanjirga qanday ulanadi?
19. Ventilli fotoelementning tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring. Nima uchun uni tok generatori deb ataladi?
20. Nima uchun kremniyli fotoelementlar «quyosh batareyalari» nomini olgan?

### Masala yechish namunalari

**1- masala.** Nikel uchun fotoeffektning «qizil chegarasi»ni aniqlang. Nikel uchun chiqish ishi 5 eV ga teng.

*Berilgan:*  $A=5 \text{ eV}=5,1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}=8 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ;  $c=3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ;  $h=6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ .

*Topish kerak:*  $\lambda_m$ —?

*Yechilishi.* Fotoeffektning «qizil chegarasi»ga mos kelgan yorug‘likning, ya’ni fotonning hamma energiyasi metall dan elektronning chiqish ishiga sarflanadi. Shuning uchun  $h\nu_m = A$ ,  $\nu_m = \frac{c}{\lambda_m}$

ekanligini nazarga olsak,  $h \cdot \frac{c}{\lambda_m} = A$  bo‘ladi, bundan  $\lambda_m = \frac{hc}{A}$ .

*Hisoblash:*

$$\lambda_m = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{8 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 2,475 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 2475 \text{ \AA}.$$

**2- masala.** To‘lqin uzunligi 300 mmk bo‘lgan ultrabinafsha nurlar bilan yoritilgan rux plastinkadan uchib chiqqan fotoelektronlarning tezligini toping. Rux uchun elektronning chiqish ishi 4 eV ga teng.

*Berilgan:*  $\lambda=300 \text{ mmk}=3 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ ;  $A=4 \text{ eV}=6,4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ;  $m=9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ;  $c=3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ;  $h=6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ .

*Topish kerak:*  $v$ —?

*Yechilishi.* Fotoeffekt hodisasi uchun Eynshteyn formulasini yozamiz:

$$h\nu = \frac{m v^2}{2} + A \quad \text{yoki} \quad \frac{hc}{\lambda} - A = \frac{m v^2}{2}.$$

Bundan fotoelektronning  $v$  tezligini topamiz:

$$v = \sqrt{\frac{2}{m} \left( \frac{hc}{\lambda} - A \right)}.$$

*Hisoblash:*

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{\frac{2}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}} \left( \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{3 \cdot 10^{-7} \text{ m}} - 6,4 \cdot 10^{-19} \text{ J} \right)} = \\ &= \sqrt{\frac{0,44 \cdot 10^{12} \text{ J}}{9,1}} \approx 0,21 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 210 \frac{\text{km}}{\text{s}}. \end{aligned}$$

**3- masala.** Agar sirt to'liq uzunligi  $\lambda = 10^{-12} \text{ sm}$ , quvvat zichligi  $N = 20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$  bo'lgan gamma nurlar oqimi bilan nurlatilsa, shu sirtning  $S = 10 \text{ sm}^2$  li yuzasiga  $t = 15$  sekund davomida nechta nurlanish kvanti tushadi?

$$\text{Berilgan: } \lambda = 10^{-12} \text{ sm} = 10^{-14} \text{ m}; \quad N = 20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2};$$

$$S = 10 \text{ sm}^2 = 10^{-3} \text{ m}^2; \quad t = 15 \text{ s}; \quad h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}.$$

*Topish kerak:*  $n$ —?

*Yechilishi.* Nurlanish kvantlarining soni sirtga tushayotgan nurlanish energiyasining bitta nurlanish kvant energiyasiga nisbati bilan aniqlanadi, ya'ni:

$$n = \frac{W}{\varepsilon}.$$

Sirtga tushayotgan nurlanish energiyasi  $W = NSt$  ga teng.

Nurlanish kvantining energiyasi  $\varepsilon = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$ . Binobarin:

$$n = \frac{NSt\lambda}{hc}.$$

*Hisoblash:*

$$n = \frac{20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot 15 \text{ s} \cdot 10^{-14} \text{ m}}{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 1,5 \cdot 10^8 \text{ ta} = 15 \cdot 10^7 \text{ ta}.$$

**4- masala.** Agar chiqish ishi 4 eV ga teng bo'lsa, to'liq uzunligi 300 mmk bo'lgan nurlar bilan yoritilayotgan katoddan uchib chiqayotgan fotoelektronlarni batamom tormozlash uchun katod bilan anod orasidagi potentsiallar ayirmasi kamida qancha bo'lishi kerak?

*Berilgan:*  $A=4 \text{ eV}=6,4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ;  $\lambda=300 \text{ nm}=3 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ ;  
 $e=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

*Topish kerak:*  $U - ?$

*Yechilishi.* Fotoelektronlar anodga yetib bormasligi uchun katod bilan anod orasidagi potensiallar ayirmasi shunday bo'lishi kerakki, bu potensiallar ayirmasida fotoelektronlarni katoddan anodga ko'chirishda elektr kuchlariga qarshi bajarilgan ish katoddan elektronlarning uchib chiqishida olgan kinetik energiyasiga teng bo'ladi, ya'ni:

$$eU = \frac{m v^2}{2}.$$

bunda:  $e$  — elektron zaryadi;  $m$  — massasi,  $v$  — tezligi.

Bunda elektron manfiy zaryadga ega bo'lgani uchun anodning potentsiali manfiy bo'lishi kerak. Yuqoridagi ifodadan anod bilan katod orasidagi potensiallar ayirmasi  $U$  ni topamiz:

$$U = \frac{m v^2}{2e}.$$

Elektronning kinetik energiyasi Eynshteyn tenglamasidan foydalanib aniqlanadi, ya'ni:

$$\frac{m v^2}{2} = h \nu - A = h \frac{c}{\lambda} - A.$$

Binobarin:

$$U = \frac{\frac{hc}{\lambda} - A}{e}.$$

$$\text{Hisoblash: } U = \frac{\frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{3 \cdot 10^{-7} \text{ m}} - 6,4 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 0,12 \text{ V}.$$

### Mustaqil yechish uchun masalalar

**116.** 168- rasmda fotoeffektning volt-ampere xarakteristikasi berilgan. 1. Tushayotgan nurlanish chastotasi ortganda. 2. Tushayotgan yorug'lik oqimi ortganda volt-ampere xarakteristikalarini chizing.

**117.** Qizil ( $\lambda_q=700 \text{ nm}$ ) va yashil ( $\lambda_{ya}=500 \text{ nm}$ ) yorug'lik nurlari fotonining energiyasini toping.

**118.** Platinada fotoeffekt hodisasi kuzatilishi uchun yorug'lik to'liqining eng katta uzunligi qancha bo'lishi kerak? Chiqish ishi  $5,3 \text{ eV}$ .

**119.** Fotonning energiyasi  $4,4 \cdot 10^{-19}$  J bo'lgan yorug'lik to'lqinining biror muhitdagi uzunligi  $3 \cdot 10^{-7}$  m; shu muhitning absolyut sindirish ko'rsatkichini aniqlang.

**120.**  $5 \cdot 10^{-7}$  m to'lqin uzunligiga to'g'ri keladigan kvant energiyasini toping.

**121.** Foton massasi elektron massasiga teng bo'lishi uchun u qanday energiyaga ega bo'lishi kerak?

**122.** Rentgen ( $\lambda_1 = 0,25 \text{ \AA}$ ) va gamma nurlari ( $\lambda_2 = 1,24 \cdot 10^{-2} \text{ \AA}$ ) fotonining massasini toping.

**123.** Yorug'lik to'lqinida  $5 \cdot 10^{-19}$  J energiyali fotonga mos kelgan maydon kuchlanganligining tebranish chastotasi qanday?

**124.** Rentgen trubkasi chiqaradigan nurlanishning to'lqin uzunligi eng kamida  $10 \text{ \AA}$  ga teng bo'lishi uchun u qanday kuchlanishda ishlashi kerak?

**125.** Energiyasi 1 eV bo'lgan fotonning impulsi qancha? Bunda chiqadigan nurning to'lqin uzunligi qancha?

**126.** To'lqin uzunligi  $5,2 \cdot 10^{-7}$  m li nurlanish fotonining impulsiga teng impulsiga ega bo'lgan elektron qanday tezlik bilan harakatlanishi kerak?

**127.** To'lqin uzunligi  $\lambda = 3,3 \cdot 10^{-7}$  m bo'lgan yorug'lik bilan yoritilayotgan seziydan chiqayotgan elektronlarning eng katta tezligini aniqlang. Chiqish ishi  $3,2 \cdot 10^{-19}$  J.

## **69- §. Geliotexnika elementlari. Quyosh energiyasidan foydalanish**

Geliotexnika fizikaning bir bo'limi bo'lib, u quyosh nurlanishini o'rganish va bu nurlanishni o'zlashtirish bilan shug'ullanadi.

Olimlar insoniyat oxir-oqibatda energiyaning Yerdagi asosiy manbai Quyoshga murojaat etishi kerak, degan fikrni oldindan aytib kelganlar.

Bir yil davomida Yer Quyoshdan taxminan  $60 \cdot 10^{16}$  kW·soat nurlanish energiyasini oladi, bu butun insoniyat hozirgi vaqtda sarflayotgan energiyadan 20 ming martadan ko'proqdir. Uning 0,001 qismidan kamrog'idan o'simlik va odamlar foydalanadilar.

Energiyaning nurlanish manbai sifatida Quyosh turli-tuman to'lqinlarni chiqaradi. Quyosh energiyasining katta qismi spektrning infraqizil sohasiga, deyarli yarmi spektrning  $4 \cdot 10^{-7}$  m dan  $7 \cdot 10^{-7}$  m

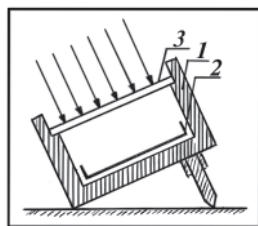
gacha to'liq uzunliklari sohasiga to'g'ri keladi. Bu energiya Yer yuziga ko'rinuvchan yorug'lik ko'rinishida yetib keladi.

Yorug'lik energiyasidan foydalanish imkonini beradigan gelioqurilmalar yaratilgan. Ularni past temperaturali va yuqori temperaturali gelioqurilmalarga ajratiladi.

### **I. Past temperaturali gelioqurilmalar**

Ko'pchilik sanoat va qishloq xo'jalik ishlab chiqarishlarda temperaturasi  $100^{\circ}\text{C}$  gacha bo'lgan suv va havo kerak bo'ladi. Odam hayotiy zaruriyati (hammom, dush, kirxona) uchun uncha yuqori bo'lmagan temperaturali suvni ishlatadi. Bu maqsadda quyosh nurlanish energiyasidan muvaffaqiyatli foydalanish mumkin. Quyosh radiatsiyasi (nurlanish energiyasi) suvni tuzsizlantirishda, meva va sabzavotlarni quritishda, issiqxona — parnik xo'jaliklarini va binolarni isitishda qo'llanilishi mumkin. Bunda past temperaturali quyosh qurilmalaridan foydalaniladi. Shulardan ba'zilari bilan tanishib chiqaylik.

**1. Havo va suv isitkich.** Turli ko'rinishdagi past temperaturali isitkichlarning samaradorligini ilmiy o'rganish «qaynoq quti» deb nomlangan isitkich eng manfaatlilikini ko'rsatdi. «Qaynoq quti»ning tuzilishi 172- rasmda keltirilgan. Quti (1) yog'ochdan yasalgan bo'lib, uning ichiga (2) qoraytirilgan qoplama joylashtirilgan va (3) shisha plastina (deraza oynasi) bilan yopilgan.

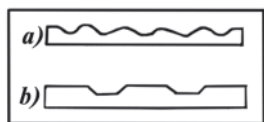


172- rasm.

«Qaynoq quti»da jarayon quyidagicha ketadi: quyosh nurlari spektrining qisqa to'liqlik sohasi qoraytirilgan qoplama tomonidan yutiladi, qutining tubi esa issiq uzun to'liqlik nurlarni chiqaradi, (3) shisha plastina bu nurlarni tashqariga o'tkazmaydi. Natijada qutidagi havo isiydi, termoizolyator yordamida qutining devorlari va tubidan befoyda issiqlik sarfi kamaytiriladi. Qutini shunday joylashtirish kerakki, shisha qopqoqning sirtiga quyosh nuri tik tushsin.

Yozda bunday qutida temperaturani  $70\text{--}75^{\circ}\text{C}$  gacha yetkazish mumkin. Agar 2—2,5 sm oraliq bilan ikkinchi shisha qopqoq qo'yilsa, temperatura  $95^{\circ}\text{C}$  gacha ko'tariladi. Shisha qatlami 8 ta bo'lganda  $210^{\circ}\text{C}$  gacha temperaturani olish mumkin.

Agar bunday qutini gorizontal joylashtirib, ichiga qoraytirilgan tunukadan yasalgan tova qo'yilsa va unga suv quyilsa, suvning temperaturasi  $60^{\circ}\text{C}$  gacha ko'tarilishi mumkin.



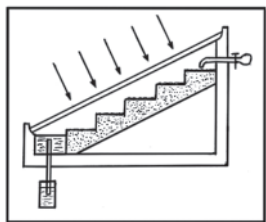
173- rasm.

O'zbekiston Respublikasi FA ning Fizi-ka-texnika institutida gofirovka qilingan va yassi taram-taram qozonli quyosh isitkich qurilmasining konstruksiyasi yaratilgan. 173- *a* rasmda gofirovka qilingan va 173- *b* rasmda yassi taram-taram suv isitkichning ko'ndalang kesimi tasvirlangan. Tajribalarning ko'rsatishicha, bu isitkichlar kichik issiqlik inersiyasiga ega, shu sababli ularning samaradorligi boshqa isitkichlarnikidan 10—15% ga yuqori ekan.

**2. Quyoshli tuzsizlantirgich.** Aniqlanishicha, cho'l va yarimcho'l maydonlarning yarmi yer osti suv zaxirasiga ega ekan. Suv uncha chuqurda emas, uni chiqarish oson. Fizika-texnika institutining geliobazasida yaratilgan quyoshli batareya bilan ishlaydigan qurilmadan foydalanib yer osti suvni chiqarish mumkin. Lekin bu suvning sho'rliigi tufayli ishlatib bo'lmaydi. Okean va dengiz suvlari ham shunday.

Suv yaxshi erituvchi hisoblanadi. Okean va dengiz suvlarida o'rtacha  $35\frac{g}{l}$  gacha turli xil tuzlar bor. Qoraqumdagi yer osti suvida  $22\frac{g}{l}$  gacha tuz erigan. Odam sho'rliigi  $(1-1,5)\frac{g}{l}$  bo'lgan suvni iste'mol qila oladi. Shuning uchun sho'r suvni tuzsizlantirish katta ahamiyatga ega, chunki chuchuk suv zaxirasi sezilarli kamayib bormoqda.

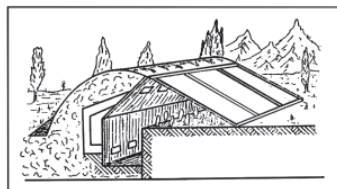
Suvni tuzsizlantirishning asosiy usuli dastlab uni bug'lantirib, so'ng kondensatsiyalash (ya'ni, suvni haydash)dan iborat. Buning uchun ko'p yoqilg'i talab etiladi, shu sababli tuzsizlantirish qimmatga tushadi. Hozirgi vaqtda tuzsizlantirgichlarning turli konstruksiyalari ishlab chiqilgan, ularda issiqlik energiyasi sifatida quyosh radiatsiyasidan foydalaniladi. 174- rasmda qiya-pog'onali tuzsizlantirgichning prinsipial tuzilishi tasvirlangan. U «qaynoq quti»dan iborat bo'lib, quti ichidagi mayda toshli beton pog'ona bo'yicha suv jildirab oqadi. Toshli pog'ona suvning bug'lanish sirtini, binobarin, qurilmaning unumdorligini oshiradi.



174- rasm.

**3. Quyosh issiqxonasi.** Xalqni yil bo'yi yangi sabzavotlar bilan ta'minlab turishda, issiqlikka talabchan sitrus o'simliklarni (apelsin, limon, mandarinlarni) yetishtirishda quyosh issiqxonasi muhim ahamiyatga ega.

Issiqxonalarni yoqilg'i bilan isitish qimmatga tushadi, daromadning 60–70% i faqat isitish uchun sarf bo'ladi. Shu sababli quyosh radiatsiyasi yil bo'yi yuqori bo'lgan tumanlarda issiqxonalarni quyosh energiyasidan foydalanib isitish maqsadga muvofiq bo'ladi.



175- rasm.

Issiqxonaning FIK ni ko'tarish uchun, albatta, geliotexnika talablariga amal qilish lozim. Issiqxonaga tushayotgan yorug'lik energiyasidan to'laroq foydalanish uchun: a) issiqxonaning oynaklangan tomoni aniq janubga qaratilgan bo'lishi kerak; b) romlarning qiyaligini joyning geografik kengligiga teng qilib olish kerak; d) issiqxonada kunduzi to'plangan quyosh issiqligidan kechki va tungi vaqtlarda foydalanish lozim.

175- rasmda tuproq issiqxona tuzilishi ko'rsatilgan. Issiqxonaning ichidan qazib olingan tuproq uning shimol tomoniga to'kiladi, janub tomoni esa oyna solingan yoki shaffof parda bilan qoplangan romlar bilan berkitiladi. Ortiqcha issiqlik tuproq orqali o'tuvchi zovurlar yordamida tuproqda to'planadi.

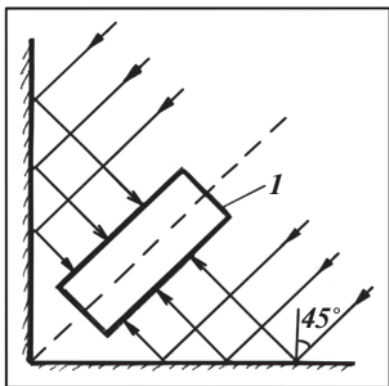
Parniklar ham issiqxonaga o'xshagan, lekin ularda sabzavot ko'chatlari yetkaziladi va sabzavotlarni erta yetkazib berish uchun mavsumi kelganda bu ko'chatlar ochiq maydonga ekiladi.

## II. Quyosh konsentratorlari.

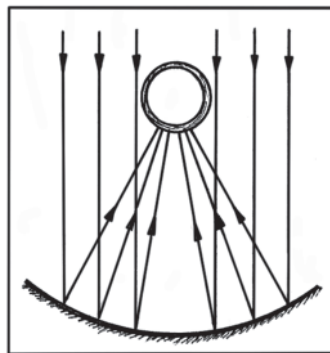
Xalq xo'jaligida va turmushda nisbatan yuqori temperaturali hamda bosimli issiqlik energiyasi talab qilinadi. Masalan, ovqat pishirish uchun 100°C dan yuqori temperatura kerak; payvandlash va ba'zi metallarni eritish uchun 1000–2000°C, keramikani eritish uchun esa yanada yuqoriroq temperatura kerak bo'ladi. Bunday hollarda quyosh energiyasidan foydalanish uchun uni konsentratorlar yordamida to'plashga to'g'ri keladi.

Quyosh energiyasi konsentratorlari turli xil ko'zgular: silindrik, sferik, parabolasilindrik yoki konus shaklidagi ko'zgulardan, shuningdek, ko'zgu bo'lakchalaridan tashkil topgan faset ko'zgulardan iborat. Ba'zi hollarda konsentratorlarga quyosh energiyasi geliostat deb nomlangan yassi ko'zgular yordamida yo'naltiriladi. Quyosh konsentratorlardan ba'zilari bilan tanishib chiqaylik.

1. Konus shaklidagi konsentrator ichki sirti ko'zgu qilib yasalgan va cho'qqisi to'g'ri burchakli konusdan iborat bo'lib, to'g'ri burchakning diagonal bo'yicha 1 silindrik qozon joylashtirilgan (176-rasm). Quyosh nurlari konusning ichki ko'zgu sirtiga 45° burchak ostida



176- rasm.



177- rasm.

tushib, undan qaytgach, qozon devoriga perpendikulyar tushadi. Konusli konsentrator parallel nurlarni bir nuqtaga emas, balki qozon bo'yicha fokal chiziq deb ataladigan chiziqda to'playdi.

2. Parabolasilindrik konsentrator ichki sirti ko'zgusimon qaytaruvchi silindrik sirtning bir qismidan iborat. Bunday konsentratorda ham fokus nuqta bo'lmaydi (177- rasm), yorug'lik fokal chiziq bo'yicha to'planadi.

### III. Quyosh energiyasi bilan payvandlash.

Quyosh energiyasidan materiallarni payvandlash va kavsharlashda ham keng foydalanish mumkin. Payvandlashning klassik usullariga, masalan, gaz alangasida va elektr yoyda payvandlashga qaraganda quyosh energiyasida payvandlash mutloq sterilliligi bilan, payvandlanayotgan buyumlarning elektr va magnit xossalari bog'liq emasligi bilan farq qiladi. Payvandlash quyosh qurilmalarining ishlash prinsipi juda oddiy: aniq paraboloid sirt yordamida konsentra-tsiyalangan quyosh energiyasi buyumlarning tutashgan joyiga yuboriladi va qirralarning erishi hisobiga chok hosil bo'ladi. Amaliy va ilmiy-amaliy ahamiyatga ega bo'lgan ana shunday ishlar Fizika-texnika institutida akademik S.A. Azimov, muxbir a'zo G.E. Umarovlarning bevosita rahbarligida olib borilgan va ularning shogirdlari tomonidan olib borilmoqda. O'zbek olimlarining ilmiy izlanishlari natijasida 1000 kW quvvatga ega bo'lgan yirik geliotexnik qurilma — Katta quyosh pechi yaratildi va 1987- yilda Toshkent viloyatining Parkent tumanida ishga tushirildi. Qurilmaning fokusida 2700–3000°C gacha temperaturaga erishildi. Bu pechda fan hamda texnika uchun kerakli o'ta toza keramik mahsulot olish mumkin.

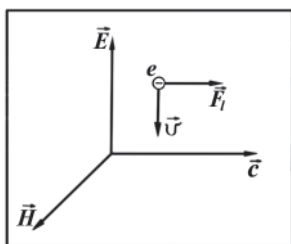
## 70- §. Yorug'likning bosimi. Lebedev tajribasi

Quyosh nurlari ta'sirida kometa dumining og'ishini kuzatishlar asosida yorug'lik bosimi haqidagi gipotezani o'z vaqtida Kepler aytgan edi. Bu hodisaga ilmiy yondoshgan birinchi olim Maksvell bo'ldi. 1873- yilda o'zining yorug'likka oid elektromagnit nazariyasi asosida u jism sirtiga tushayotgan yorug'lik unga bosim berishini ko'rsatdi. Shu bilan birga Maksvell yorug'lik bosimi  $\vec{E}$  elektr va  $\vec{H}$  magnit maydon kuchlanganliklarining tebranishlari tufayli yuzaga kelishini nazariy isbotlab berdi. Ko'pgina olimlar yorug'likning bosimini o'lchashga urinib ko'rdilar. Ammo bu bosim shu darajada kichikki ( $\sim 10^{-8}$  Pa), olimlarning urinishlari hech qanday natija bermadi. Maksvellning yorug'lik bosimi bo'yicha amalga oshirgan nazariy hisoblashlariga katta shubha bilan qarashdi. Xususan mashhur fizik V. Tomson (lord Kelvin) ularga qarshi bo'lib chiqdi.

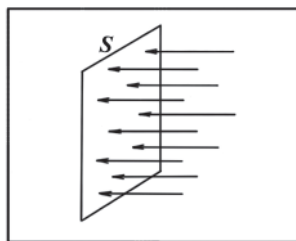
Yorug'lik to'lqinining elektr maydoni ta'siri ostida jismlardagi elektronlar elektr maydon kuchlanganligining yo'nalishiga qarshi yo'nalishda harakatga keladi. Batartib harakatlanayotgan elektronlarga yorug'lik to'lqinining magnit maydoni xuddi elektr tokiga ta'sir qilgani kabi to'lqinning yo'nalishi tomon yo'nalgan Lorens kuchi bilan ta'sir etadi (178- rasm). Bu kuch yorug'likning bosim kuchi bo'lib, uning jismning yuza birligiga to'g'ri kelgan qiymati yorug'lik bosimini beradi.

Yorug'likning kvant nazariyasidan ham yorug'lik uchragan to'siqqa bosim ko'rsatish xossasi borligi kelib chiqadi. Bu nazariya asosida yorug'lik bosimini yorug'likni fotonlar oqimidan iborat deb qarab hisoblash oson.

Faraz qilaylik, chastotasi  $\nu$  va intensivligi  $I$  bo'lgan monoxromatik yorug'lik dastasi biror  $S$  yuzaga normal tushayotgan bo'lsin (179- rasm). Birlik yuzaga vaqt birligida tushayotgan barcha fotonlarning



178- rasm.



179- rasm.

energiyasi yorug‘lik intensivligini xarakterlaydi. Bitta fotonning energiyasi  $h\nu$  ga teng bo‘lgani uchun:

$$I = N h \nu \quad (124)$$

bo‘ladi, bunda  $N$  — birlik yuzaga vaqt birligida tushayotgan fotonlar soni.

Impulsning saqlanish qonuniga asosan, fotonning sirtga beradigan kuch impulsi fotonning sirtga «urilishdan» oldingi va keyingi impulslarning ayirmasiga teng. Agar sirt yorug‘likni to‘la yutsa, u vaqtda bu impuls quyidagi ifodaga teng bo‘ladi:

$$\frac{h\nu}{c} - 0 = \frac{h\nu}{c},$$

(fotonning urilishidan keyingi impulsi nolga teng, chunki foton yutilgandan keyin yo‘qoladi).

Agar yorug‘lik sirtidan to‘la qaytsa, foton unga

$$\frac{h\nu}{c} - \left(-\frac{h\nu}{c}\right) = 2\frac{h\nu}{c}$$

impulsni beradi (fotonning tushishdagi va qaytishdagi impulsi qarama-qarshi ishoraga ega bo‘ladi).

Birlik yuzaga vaqt birligi ichida ta’sir ko‘rsatadigan kuch impulsi shu yuzaga bo‘lgan bosimni beradi. Shuning uchun birlik yuzaga ega bo‘lgan sirtning vaqt birligi ichida barcha  $N$  fotonlardan olgan to‘la impulsi yorug‘lik bosimi  $p$  ga teng bo‘ladi. Binobarin, yorug‘lik bosimi yutuvchi sirt uchun  $p = N \frac{h\nu}{c}$ , qaytaruvchi sirt uchun  $p = 2N \frac{h\nu}{c}$  bo‘ladi. U vaqtda (124) formulani e’tiborga olgan holda quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$p = \frac{I}{c} \quad (125)$$

yutuvchi sirt uchun va

$$p = 2\frac{I}{c}. \quad (126)$$

qaytaruvchi sirt uchun.

Maksvellning elektromagnit nazariyasiga asosan yorug‘likning bosimi quyidagiga teng:

$$p = (1 + k) \frac{I}{c}, \quad (127)$$



## 71- §. Yorug'likning kimyoviy ta'siri

Yorug'lik nurlanishi yoritilayotgan jismga turlicha ta'sir ko'rsatadi. Jumladan: 1. *Yorug'likning issiqlik ta'siri*. Bunda yorug'likning jism tomonidan yutilishi natijasida yorug'lik energiyasining ichki energiyasiga aylanishi ro'y beradi. 2. *Yorug'likning fotoelektrik ta'siri*. Bunda yorug'lik ta'sirida moddadan elektronlar chiqariladi. 3. *Yorug'likning mexanik ta'siri* — yorug'lik bosim ko'rsatadi. 4. *Yorug'likning kimyoviy ta'siri* — yorug'lik energiyasining kimyoviy energiyaga aylanishi natijasida fotokimyoviy reaksiyalar ro'y beradi va hokazo. Yorug'likning issiqlik, fotoelektron, mexanik ta'sirlarini ko'rib chiqqan edik. Endi yorug'likning kimyoviy ta'sirini ko'rib chiqaylik.

Yorug'lik ta'siri ostida bir qancha kimyoviy reaksiyalar ro'y beradi. *Yorug'lik ta'sirida vujudga keladigan reaksiyalarni fotokimyoviy reaksiyalar deb ataladi.*

Fotokimyoviy reaksiyalar juda turli-tumandir. Yorug'lik nuri ta'sirida murakkab molekulalar tarkibiy qismga ajraladi, masalan,  $\text{NH}_3$  ammiak azot va vodorodga yoki  $\text{AgBr}$  kumush bromid kumush va bromga ajraladi. Murakkab molekulalar ham hosil bo'lishi mumkin, masalan, xlor va vodorod aralashmasini yoritganda vodorod xlorid  $\text{HCl}$  hosil bo'ladi.

Yorug'likning uzoq vaqt kimyoviy ta'sirida bo'lgan jism bo'yoqlarining o'zgarganligini ko'ramiz. Bo'yoqlarning buzilishi bo'yoq moddasining havo tarkibidagi kislorod bilan yorug'lik ta'sirida oksidlanishi natijasida sodir bo'ladi.

Fotokimyoviy reaksiyalarning ko'pchiligi tabiat va texnikada muhim ahamiyatga ega. Eng katta ahamiyatga ega bo'lgan reaksiya — bu *fotosintezdir*.

**Fotosintez** noorganik moddalar (suv va karbonat anhidrid)ning organik modda (uglevod)larga aylanishidir. Fotosintez daraxtlar va o'tlarning yashil barglarida, ignabarglarda va ko'pgina mikroorganizmlarda yuz beradi. Barglar havodan karbonat anhidrid ( $\text{CO}_2$ ) ni yutib, uni tarkibiy qismlarga — uglerod va kislorodga ajratadi. Rus biologi K.A. Timiryazov aniqlaganidek, bu jarayon xlorofill (yashil barglardagi pigment) molekulalarida quyosh spektrining qizil nurlari ta'sirida sodir bo'ladi. O'simliklar uglerod atomlaridan iborat reaksiya zanjiriga ildizlar vositasida yerdan oladigan boshqa elementlarning atomlarini qo'shib olib, inson va hayvonlar uchun oziq oqsil, yog' va uglevodlarning molekulalarini

hosil qiladi. Taxminiy hisoblarga qaraganda Yer sharidagi quruqlik va suv o'simliklari har yili fotosintez vositasida 450 mlrd tonnaga yaqin organik moddalar hosil qilar ekan.

Shunday qilib, fotosintez organik moddalar hosil qilib, atmosferani karbonat angidrid gazidan tozalaydi va kislorod bilan boyitadi. Shu yo'l bilan fotosintez Yerdagi organik hayotning uzoq vaqt mavjud bo'lishi uchun zarur bo'lgan uglerodning tabiatda aylanishini ta'minlab turadi.

Ko'rinib turibdiki, odam, hayvon va o'simliklar uchun yorug'lik zarur hayot omilidir, chunki uning yetmasligi yoki bo'lmasligi organizmning normal faoliyatini buzadi; yorug'lik yetishmasligini boshqa hech qanday ta'sirlar (isitish, ovqatlanish va shunga o'xshashlar) bilan kompensatsiyalab bo'lmaydi.

Fotokimyoviy jarayonlar quyidagi miqdoriy qonunga bo'ysunadi: *fotokimyoviy reaksiyada qatnashgan moddaning m massasi yutilgan yorug'likning energiyasiga proporsionaldir*:

$$m = k W t, \quad (128)$$

bunda:  $W$  — yutilgan yorug'lik quvvati;  $t$  — yoritish vaqti;  $k$  — proporsionallik koeffitsiyenti, uning kattaligi ro'y berayotgan fotokimyoviy reaksiyaning tabiatiga bog'liqdir.

Fotokimyoviy jarayon fotokimyoviy o'zgarish natijasida hosil bo'lgan mahsulotlarning kimyoviy faolligi tufayli yuzaga keladigan sof kimyoviy reaksiyalar — ikkilamchi reaksiyalarni sodir qiladi. (128) formula fotokimyoviy reaksiyaga tegishli, ya'ni birlamchi jarayongina yutilgan yorug'likning energiyasi hisobiga o'tadi, barcha ikkilamchi jarayonlarda kimyoviy o'zgarishlar natijasidagi, ya'ni sistemaning ichki energiyasining o'zgarishi natijasidagi aylanishlar bilan ish ko'riladi. 1905- yilda Eynshteyn yorug'lik kvantlari gipotezasini aytib, fotokimyoviy (birlamchi) jarayonlar uchun xos bo'lgan juda sodda qonunni kashf etdi: *yutilgan har bir hv kvantga yorug'likni yutgan bir dona molekulaning o'zgarishi mos keladi*. Bu qonunni **Eynshteynning ekvivalentlik qonuni** deb ataladi.

Eynshteyn qonuniga ko'ra bir dona fotonning yutilishi bir dona molekulaning o'zgarishiga olib kelsa, u holda to'liqlar orasida  $h\nu$  energiyasi birlamchi jarayon (masalan, yorug'likni yutgan molekulaning dissotsiylanishi) uchun zarur bo'lgan  $E_a$  aktivatsiya energiyasidan katta bo'lgan to'liqlargina fotokimyoviy reaksiyani yuzaga keltira oladi:

$$h\nu \geq E_a. \quad (129)$$

Bu ifodadan fotokimyoviy reaksiyaning uzun to‘lqinli chegarasi («qizil chegarasi») mavjudligi kelib chiqadi: agar yorug‘likning chastotasi

$$\nu < \nu_o = \frac{E_a}{h}$$

munosabatni qoniqtirsa, fotokimyoviy reaksiya ro‘y bermaydi. Har bir berilgan fotokimyoviy reaksiya uchun  $\nu_o$  chegaraviy chastota o‘zining qiymatiga ega bo‘ladi.

Ko‘rish qobiliyatining asosida ham fotokimyoviy jarayon yotadi.

Ko‘zning optik sistemasi ko‘rilayotgan buyumning tasvirini to‘r pardaga tushiradi (31- § ga qarang). To‘r parda xili va vazifasi turlicha bo‘lgan nerv hujayralarining bir necha qatlamidan iborat murakkab struktura bo‘lib, uning oxirgi qatlamida joylashgan reseptor hujayralar, ya‘ni kolbacha va tayoqchalar yorug‘likni bevosita sezadi. Tekshirishlar tayoqchalarning yorug‘lik nuriga sezgirroq ekanligini va qorong‘i (g‘ira-shira)da ko‘rish sezgisi tayoqchalarning ta’sirlanishi sababli paydo bo‘lishini ko‘rsatadi. Kolbachalarning sezgirliги kamroq bo‘lib, ular rangli ko‘rish uchun javobgardir. Tayoqchalarning uchlari ko‘rish purpuri deb nomlanadigan alohida pigment bilan bo‘yalgan bo‘lib, u yorug‘lik ta’sirida parchalanadi. Parchalanish mahsuloti tayoqchalarga kimyoviy ta’sir ko‘rsatadi. Bunday ta’sirlanish nervni qo‘zg‘atadi va miyaga uzatiladi. Ko‘rish nervining qo‘zg‘alishi to‘r pardadagi tasvir xarakteri haqida, demak bu tasvirning manbayi bo‘lgan tashqi fazodagi manzara haqida fikrlashga, tasavvur hosil qilishga imkon beradi.

## 72- §. Fotografiya

Hozirgi zamon fotografiyasi fotokimyoviy jarayonning muhim amaliy qo‘llanishidir. Bu yerda birlamchi fotokimyoviy jarayon ham, keyingi ikkilamchi kimyoviy reaksiyalar ham bo‘ladi.

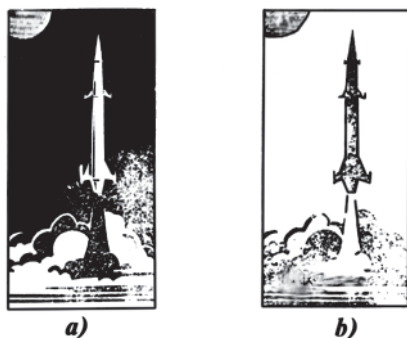
Fotografiya qilish jarayoni fotoplastinkaning sezgir qatlamini yoritish va keyin plastinkani kimyoviy ishlash (ochiltirish)dan iborat. Fotoplastinka (yoki fotoplyonka)ning sirti jelatinadagi yorug‘likka sezgir AgBr kumush bromid emulsiyasi bilan qoplangan bo‘ladi. Fotoplastinka unga tushayotgan yorug‘lik kvanti ta’sirida bo‘layotgan fotokimyoviy reaksiya natijasida kumush bromid molekulasida

parchalanib, kumush atomini yoki metall ko‘rinishidagi kumush mayda zarralarini ajratib chiqaradi.

Kumush atomining paydo bo‘lishini quyidagicha tushuntirish mumkin: yorug‘lik sezuvchi qatlam tarkibiga kirgan kumush tuzlari (xususan,  $\text{AgBr}$ ) da kumush ionlari bor. Yorug‘lik ta‘sirida fotoelektrik hodisasi ro‘y beradi, shu hodisa natijasida ajralgan elektronlar kumushning musbat ionlarini neytrallashtirib atomlarga aylantiradi. Natijada ayrim atomlar yoki metall kumushning mayda zarralari hosil bo‘ladi. Ana shu kumush metall fotoplastinkani qoraytiradi. Hosil bo‘lgan kumush zarralarining soni tushayotgan yorug‘likning intensivligiga va tushish vaqtiga proporsional bo‘ladi. Fotoplastinkani sezilarli darajada qoraytirish uchun juda kuchli yorug‘lik bilan uzoq vaqt yoritish zarur bo‘ladi.

Agar amalda ko‘p uchraydigan qisqa muddatli ekspozitsiyalar (yoritish) qo‘llansa, plastinkaning shunday yoritilgan qismida yorug‘likning ta‘sirini sezish mumkin emas. Birlamchi fotokimyoviy ta‘sir jarayonning boshi bo‘lib, fotoplastinkaning yorug‘lik ta‘sir qilgan joylarini kumushni tezlikda ajralib chiqishiga tayyorlaydi, buyumning yashirin tasvirini vujudga keltiradi.

Keyinchalik plastinkaga tegishli kimyoviy reaktivlar bilan ta‘sir qilib, (ya‘ni, fotoplastinkani ochiltirgich deb ataladigan gidroksinon, metol yoki boshqa moddalar eritmasiga botirib), kumush bromidning ayrim molekulalari parchalangan kristallidan metall kumushni ajratib olish mumkin.  $\text{AgBr}$  molekulalari bo‘lgan kristallar ochiltirgich bilan reaksiyaga kirishmaydi. Fotoplastinkaning qaysi joyi qanchalik ko‘p yoritilgan bo‘lsa, sof kumushning tiklanish darajasi shunchalik katta bo‘ladi, demak surat ochiltiriladi, obyektning **negativ tasviri** hosil bo‘ladi. Bu tasvirda obyektning oq joylari qora, qora joylari esa oq bo‘ladi (181- a rasm).



181- rasm.

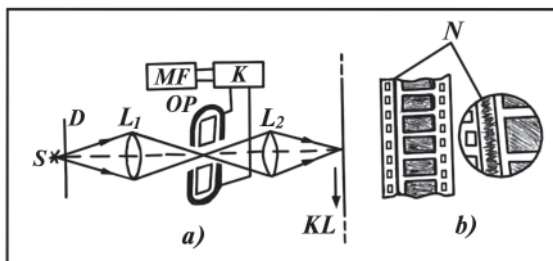
Surat ochiltirib bo'lgandan so'ng parchalanmagan kumush bromid qoldiqlarini  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  giposulfatning eritmasida eritib va suvda yuvib tashlanadi. Shunday qilib, fotoplastinka yorug'likning bundan keyingi ta'sirlaridan ehtiyot qilinadi (fiksatsiyalanadi) va negativni tayyor holga keltiriladi.

Fotosurat olish uchun negativ ostiga fotoqog'ozni qo'yib, negativ ustidan yoritiladi va yuqorida qayd etilgan usulda kimyoviy ishlov berib, **pozitiv tasvir** hosil qilinadi. Pozitivda obyektning ranglari to'g'ri, ya'ni oq joylari oq va qora joylari qora bo'ladi (181- b rasm).

Fotografiya fan va texnikada nihoyatda keng qo'llaniladi. Jumladan, fotografiyadan: 1) ko'z bilan bevosita kuzatish mumkin bo'lmagan ultrabinafsha va infraqizil nurlarni qayd etishda; 2) juda qisqa muddatda o'tadigan (elektr uchqun, lazer impulslari, zaryadlangan zarralarning uchishi kabi) jarayonlarni qayd etishda; 3) intensivligi juda sust bo'lgan, shuning uchun uzoq vaqt ekspozitsiya talab etiladigan jarayonlarni suratga olishda; 4) reproduksiya olish texnikasida; 5) astronomiya va astrofizikada ilmiy-tadqiqot ishlarda; 6) kinematografiyada va hokazo juda ko'p sohalarda foydalaniladi.

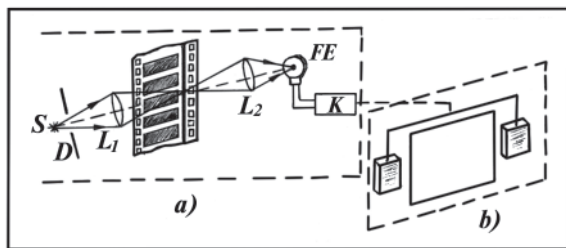
### 73- §. Kinoda ovoz yozib olish va uni eshittirish

Kinematografiyada ovoz yozib olish va uni qayta eshittirishda fotografiyadan foydalaniladi. Bu jarayonning fizik mohiyati quyidagicha: tovush tebranishlari elektr toki tebranishlariga aylantiriladi, elektr toki tebranishlaridan kintasmada tovush yo'llari, ya'ni «tovush fotografiyasi» hosil qilish uchun foydalaniladi. So'ng «tovush fotografiyasi» yorug'lik bilan yoritilib, undan o'tgan yorug'lik dastasi fotoelementga tushiriladi va tovush qayta tiklanadi.



182- rasm.

Ovoz yozib olish asboblari murakkab. 182- *a* rasmda ovoz yozish qurilmasining prinsipial sxemasi keltirilgan. Bunda tovush tebranishlari *MF* mikrofon yordamida elektr toki tebranishlariga aylantiriladi. Elektr toki tebranishlari *K* kuchaytirgichda kuchaytirilib, *OP* sistema orqali o'tkaziladi. *OP* magnit sistema qutblari orasida bir-biriga juda yaqin joylashtirilgan ikki metall plastinkadan iborat bo'lib, plastinkalar orasidagi tirqish orqali *KL* kinotasmaning ovoz yo'liga *S* manbadan *D* diafragma, *L*<sub>1</sub> va *L*<sub>2</sub> linzalar yordamida yorug'lik dastasi tushiriladi. Agar metall plastinkalarga elektr toki tebranishlari uzatilayotgan bo'lsa, u holda magnit qutblari orasidagi magnit maydon ta'sirida tokli plastinkalar elektr toki tebranishlariga mos tebranma harakatga keladi. Buning natijasida plastinkalar orasidagi tirqish kengligi o'zgarib turadi: u goh kattalashadi, goh kichiklashadi. Boshqacha aytganda, *OP* sistema o'ziga xos «optik pichoq» vazifasini o'taydi, u tasmaga tushayotgan yorug'lik oqimini tovush tebranishlariga moslab boshqarib turadi, natijada tovush kengligi o'zgaruvchan *N* qora yo'l ko'rinishida yozib olinadi (182- *b* rasm), «tovush fotografiyasi» hosil bo'ladi.



183- rasm.

183- rasmda tovushni qayta eshittirish uchun foydalaniladigan asbobning prinsipial sxemasi tasvirlangan. Bunda fotoelement «tovush fotografiyasi»ni tovushning o'ziga aylantirib beradi. Bu narsa quyidagicha amalga oshiriladi: kinoapparatda tasmadagi tovush yo'li yorug'likning ingichka shu'lasini yoritiladi, undan o'tgan yorug'lik *FE* fotoelementga tushadi (183- *a* rasm). Tovush yo'lidagi qorong'i sohalar yorug'lik oqimining bir qismini yutadi. Kinotasma harakatlanayotganda tovush yo'li orqali o'tayotgan yorug'lik oqimining kattaligi uzluksiz ravishda o'zgarib turadi, shuning uchun fotoelement zanjiridagi tok ham o'zgaradi. Hosil bo'layotgan elektr toki tebranishlari avval zarur quvvatgacha kuchaytiriladi, shundan

so'ng reproduktorlarga uzatiladi (183- b rasm) va u yerda elektr tebranishlari qayta tovush to'qlinlariga aylanib, tovush tiklanadi.

## **74- §. Yorug'likning korpuskulyar-to'qlin dualizmi**

Ushbu bobda elektromagnit nurlanish (jumladan, yorug'lik) elektromagnit maydon zarralari — fotonlar ko'rinishida chiqarilishi, tarqalishi va modda tomonidan yutilishiga guvoh bo'ladigan bir qator hodisalar — fotoeffekt, issiqlik nurlanishi kabi hodisalar bilan tanishdik. Tajribadan olingan dalillar yorug'likning kvant tabiatiga ega ekanligini tasdiqlaydi va uning kvant nazariyasini yaratish uchun asos bo'lib xizmat qiladi.

Boshqa hodisalar, masalan, yorug'likning interferensiyasi, difraksiyasi, dispersiyasi va qutblanishi bizni elektromagnit nurlanish to'qlin xarakterga ega, deb ishontiradi. «Interferensiya sohasida to'qlin nazariya ulkan g'alabaga erishdi», deb aytgan edi mashhur ingliz fizigi Sh. Reley. Ingliz fizigi L. Bregg esa: «Nahotki dushanba, seshanba va chorshanba kunlari fotoeffekt va Kompton effekti bilan tajriba o'tkazayotganimizda yorug'lik korpuskulalardan tashkil topgan deb, va payshanba, juma va shanba kunlari difraksiya va interferensiya hodisalari bilan ishlayotganimizda yorug'lik to'qlinlardan iborat, deb tasavvur qilishimiz kerak», degan savolni qo'yadi. L. Bregg tomonidan bu tarzda qo'yilgan savolni quyidagicha ifodalash mumkin: yorug'lik o'zi nimadan iborat? Manbadan nurlanayotgan uzluksiz elektromagnit to'qlinlarmi yoki manbadan tartibsiz chiqarilayotgan va vakuumda  $c$  tezlik bilan harakatlanadigan diskret fotonlar oqimimi?

Yorug'likka, bir tomondan, kvant, korpuskulyar xossalarni, ikkinchi tomondan, to'qlin xossalarni berish zaruriyati yorug'lik haqidagi bilimlarimiz mukammal emas, degan taassurot qoldirishi mumkin. Eksperimental dalillarni tushuntirishda turlicha, lekin shu bilan birga, go'yo bir-birini inkor etuvchi tasavvurlardan foydalanish zaruriyati sun'iydek tuyuladi. To'qlinlar va zarralarning qator belgilari haqiqatan ham qarama-qarshidir. Masalan, harakatdagi zarra (foton)lar fazoning aniq sohalarida bo'ladi, tarqalayotgan to'qlinni esa fazoda «yoyilgan» to'qlin sifatida ko'rish kerak va yuguruvchi to'qlinning fazoning biror aniq sohasidagi manzili haqida gapirish mumkin emas.

XX asrda fizikaning eng ulkan yutuqlaridan biri yorug'likning to'qlin va kvant xossalarini bir-biriga qarama-qarshi qo'yishga intilish

xato ekanligiga asta-sekin ishonch hosil qilishdan iborat bo'ldi. Elektromagnit to'liqlarga xarakterli bo'lgan uzluksizlik xossalari yorug'lik kvantlari — fotonlarga xarakterli bo'lgan diskretlik xossalarni inkor etmaydi. *Yorug'lik to'liq ham, zarra ham emas, u murakkab tabiatga ega bo'lib, bir vaqtning o'zida ham uzluksiz elektromagnit to'liqlar xossaloriga, ham diskret fotonlar xossaloriga ega.* Shunday qilib, yorug'lik bu ikki qarama-qarshi xossalarning dialektik birligidan iboratdir.

Haqiqatan ham qator hollarda, masalan, yorug'likning bosimi, sinishi, qaytishi kabi xossalarni to'liq nuqtayi nazaridan ham, kvant tasavvurlar nuqtayi nazaridan ham bir xilda yaxshi tushunish va tushuntirish mumkin. Shuningdek, yorug'likning interferensiya va difraksiya hodisalarini bayon qilishda to'liq tasavvurlarni qo'llagan holda, interferensiyon va difraksiyon manzaralarni fotoelement yordamida qayd qilishda biz yorug'likning to'liq xossalarni oshkor qilish uchun uning kvant xossalardan foydalanishimizning o'zi yorug'lik ikki yoqlama xossaga ega ekanligiga ishonch hosil qiladi. Yorug'likning ham to'liq, ham korpuskulyar xossalarga egalik dalilini **korpuskulyar-to'liq dualizmi** deb ataladi.

Yorug'likning to'liq va kvant xossalarining birligi kvant fizikaning asosiy formulalari:

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad \text{va} \quad p_f = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

da ham o'z aksini topgan. Bu formulalarda  $\varepsilon$  energiya,  $p_f$  impuls va  $h$  Plank doimiysi yorug'likni fotonlar oqimi sifatida xarakterlaydi,  $\nu$  chastota va  $\lambda$  to'liq uzunlik esa to'liq sifatida xarakterlaydi. Yorug'likning kvant va to'liq xossalari bir-birini inkor etmaydi, aksincha, bir-birini o'zaro to'ldiradi.

Elektromagnit nurlanish (yorug'lik)ning tashqi ko'rinishidan bunday bir-biriga zid xossalari juda qiziq va juda muhim qonuniyat bor: to'liq uzunlik qancha kichik bo'lsa, kvant qonuniyatlar shuncha yorqin va, aksincha, to'liq uzunlik qancha katta bo'lsa, nurlanishning to'liq xossalari shuncha yorqin namoyon bo'ladi. Elektromagnit to'liqlar shkalasi bo'yicha uzun to'liqlar sohasidan qisqa to'liqlar sohasiga siljib borilsa, elektromagnit nurlanishning to'liq xossalari borgan sari yorqin namoyon bo'lib borayotgan kvant xossaloriga asta-sekin o'z o'rnini beradi.

Shunday qilib, yorug‘lik tabiatining ikkiyoqlamaligini materiyaning turli-tuman xossalarini aks ettiradigan obyektiv reallik deb qabul qilish kerak.

### **Takrorlash uchun savollar**

1. *Geliotexnika nima bilan shug‘ullanadi?*
2. *Yerga Quyoshdan energiya qanday ko‘rinishda keladi?*
3. *Gelioqurilmalar qanday asboblari? Past temperaturadagi gelioqurilmalar qanday maqsadda ishlatiladi?*
4. *Yuqori temperaturali gelioqurilmalarda temperaturani ko‘tarish uchun qanday usullardan foydalaniladi?*
5. *Quyosh energiyasi bilan payvandlashning afzalligi nimalardan iborat?*
6. *Nima uchun kometalar dumi hamma vaqt Quyoshdan teskari tomonga yo‘nalgan?*
7. *Lebedev g‘oyasini, eksperimental qurilmasining sxemasini va tajriba natijalarini tushuntiring.*
8. *Kvant nazariyasiga asoslanib yorug‘lik bosimining formulasini keltirib chiqaring.*
9. *Maksvell nazariyasiga asosan yorug‘lik bosimi qanday formuladan aniqlanadi?*
10. *Lebedev tajribalarining natijalari yorug‘lik uchun qanday ahamiyatga ega bo‘ldi?*
11. *Fotokimyoviy reaksiyalar qanday sodir bo‘ladi?*
12. *Nima uchun fotosintez hayot uchun muhim bo‘lgan kimyoviy reaksiya hisoblanadi?*
13.  *$m = kWt$  formula nimani ifodalaydi?*
14. *Eynshteynning ekvivalentlik qonunini ta’riflang.*
15. *Ko‘zning ko‘rish qobiliyatini tushuntiring.*
16. *Fotoplastinkada buyumning yashirin tasviri qanday hosil bo‘ladi?*
17. *Yashirin tasvirdan negativ tasvir, negativ tasvirdan pozitiv tasvir qanday hosil qilinadi?*
18. *«Tovush fotografiyasi» nima? Uni qanday hosil qilinadi? Qurilmani chizib, tushuntiring.*
19. *Tovushni tiklash uchun qanday qurilmadan foydalaniladi?*
20. *Yorug‘likning korpuskulyar-to‘lqin dualizmi nima haqida? Qanday isbotlar mavjud?*

### **Masala yechish namunalari**

**1- masala.** Yuzasi  $10 \text{ sm}^2$  bo‘lgan sirtga intensivligi  $10^{18} \frac{1}{s}$  bo‘lgan fotonlar dastasi tushadi. Tushayotgan yorug‘likning to‘lqin uzunligi  $5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ . Agar sirtning qaytarish koeffitsiyenti 0,7 bo‘lsa, sirtga ko‘rsatilayotgan yorug‘lik bosimini toping.

*Berilgan:*  $S=10 \text{ sm}^2=10 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ ;  $n=10^{18} \frac{1}{\text{s}}$ ;  $\lambda=5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ ;  $k=0,7$ .

*Topish kerak:*  $p$  — ?

*Yechilishi.* Yorug‘likning elektromagnit nazariyasiga ko‘ra yorug‘likning bosimi:

$$p = \frac{I}{c}(1 + k),$$

bunda:  $I$  — sirtga tushayotgan yorug‘likning intensivligi. Intensivlik sirtning birlik yuzasiga birlik vaqtda tushgan fotonlarning energiyasiga teng ekanligini e‘tiborga olsak, u holda:

$$I = \frac{n \cdot h\nu}{S} = \frac{nhc}{S\lambda}$$

deb yoza olamiz. Binobarin, yorug‘likning bosimini:

$$p = \frac{n \cdot hc}{S\lambda} \cdot \frac{1}{c}(1 + k) = \frac{nh}{S\lambda}(1 + k)$$

formuladan hisoblab topish mumkin.

*Hisoblash:*

$$p = \frac{10^{18} \frac{1}{\text{s}} \cdot 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{10 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}} (1 + 0,7) = 2,25 \cdot 10^{-6} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}.$$

**2- masala.** Yuzasi  $100 \text{ sm}^2$  bo‘lgan sirtga har minutda  $63 \text{ J}$  yorug‘lik energiyasi tushadi. 1) yorug‘likni to‘la qaytaradigan; 2) yorug‘likni to‘la yutadigan sirtga ko‘rsatiladigan yorug‘lik bosimini toping:

*Berilgan:*  $S=100 \text{ sm}^2=10^{-2} \text{ m}^2$ ;  $t=1 \text{ min}=60 \text{ s}$ ;  $W=63 \text{ J}$ .

*Topish kerak:*  $p_1$  — ?  $p_2$  — ?

*Yechilishi.* 1. Yorug‘likni to‘la qaytaradigan sirt uchun  $k=1$ ,

binobarin, yorug‘likning bosimi  $p = 2 \frac{I}{c}$  bo‘ladi.

Intensivlikning ta‘rifiga ko‘ra:

$$I = \frac{W}{St}$$

bo‘lgani uchun bosim formulasi quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$p = \frac{2W}{cSt}.$$

*Hisoblash:*

$$p = \frac{2 \cdot 63 \text{ J}}{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \cdot 60 \text{ s}} = 7 \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 7 \cdot 10^{-7} \text{ Pa}.$$

2. Yorug'likni to'la yutuvchi sirt uchun  $k=0$ . U holda yorug'likning bosimi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$p = \frac{I}{c} = \frac{W}{c \cdot St}.$$

*Hisoblash:*

$$p = \frac{63 \text{ J}}{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \cdot 60 \text{ s}} = 3,5 \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 3,75 \cdot 10^{-7} \text{ Pa}.$$

### Mustaqil yechish uchun masalalar

**128.** Yorug'lik yassi plastinkaga  $\alpha \neq 0$  burchak ostida tushadi. a) agar plastinkaning sirti hamma yorug'likni yutsa; b) agar uning sirti yorug'likni ko'zgudek qaytarsa, unda plastinka qaysi yo'nalishda itariladi?

**129.** Jismning sirtiga har sekunda 100 J ga teng yorug'lik energiyasi tushadi. Agar yorug'likning to'lqin uzunligi  $5 \cdot 10^{-5}$  sm bo'lsa, shu sirtga 15 sekund davomida nechta yorug'lik kvanti tushadi?

**130.** Quvvati 9 W bo'lgan yorug'lik oqimi qaytarish koeffitsiyenti 0,8 bo'lgan  $10 \text{ m}^2$  yuzali sirtga normal yo'nalishda tushadi. Bunda sirtga qanday bosim ko'rsatiladi?

**131.** 100 W li elektr lampochka devoriga beradigan yorug'lik bosimini toping. Lampochka kolbasining radiusi 5 sm bo'lgan sferik idishdan iborat. Lampochka devori o'ziga tushayotgan yorug'likning 10% ni qaytaradi. Iste'mol qilingan barcha quvvat nurlanishga sarflanadi deb hisoblang.

**132.** To'lqin uzunligi  $4900 \text{ \AA}$  bo'lgan yorug'lik dastasi sirtga perpendikulyar holda tushib, unga  $5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$  bosim beradi.

Yorug'likning sirtidan qaytish koeffitsiyenti 0,25 ga teng. Shu sirtning birlik yuzasiga bir sekunda qancha foton tushadi?

### **75- §. Atom tuzilishi. Tomsonning atom modeli**

Moddaning tuzilishi haqidagi dastlabki fikrlar qadimgi yunon falsafasida uchraydi. Eramizdan avvalgi V asrda atom haqidagi birinchi tushunchani yunon olimi, faylasuf-materialist Demokrit kiritgan. Demokritning fikricha, materiya juda ko'p sonli mayda bo'linmas zarralar — atomlardan tashkil topgan, ular bir-biri bilan birikib va bo'linib tabiatdagi cheksiz turli-tuman narsalarni hosil qiladi. Atomlar abadiy va o'zgarmas, ular «yo'qdan bor bo'lmaydi va bordan yo'q bo'lmaydi», ular shakli va o'lchami bilan bir-biridan farqlanadi, degan fikrni ilgari surgan. Demokritning atomistik falsafasi hozirgi zamon tabiiy bilishning asosi bo'lib qoldi.

Taxminan o'sha davrda Empedokl modda tuzilishi to'g'risidagi boshqa nazariyani ko'tarib chiqqan, uni keyinroq (eramizdan avvalgi IV asrda) tabiiy bilish rivojiga ta'siri uzoq vaqt davom etgan Aristotel rivojlantirgan. Bu olimlarning fikricha, modda mayda zarralardan — barcha jismlar uchun bir xil bo'lgan birlamchi materiya («il» va «ilem» deb nomlangan materiya)dan tuzilgan bo'lib, birlamchi materiyaga to'rt element: olov, tuproq, havo va suv ta'sir etishi natijasida moddalar ma'lum sifat kasb etadi, ular ana shu sifatlarga qarab bir-biridan farq qiladi.

O'rta asr alkimyosi shu fikrga asoslanadi. Alkimyogarlarning maqsadi oddiy metallarni nodir metallar — oltin va kumushga aylantirishdan iborat bo'lganligidan, ular moddalardan yuqorida aytilgan to'rt elementni chiqarib tashlab, sof birlamchi materiya olishga urindilar.

Lekin ularning urinishlari samarasiz bo'ldi va inqirozga yuz tutdi. Shundan so'ng yana atom nazariyasi birinchi o'ringa chiqib oldi. XIX asr boshlarida bu nazariya Dalton va Lomonosovning buyuk xizmatlari tufayligina muhim ahamiyat kasb etdi. Dalton turli elementlarni o'zaro ta'sir qildirib kimyoviy birikmalar hosil qilish usullarini kuzatib, har bir element atomlardan tuzilgan, atom esa moddaning bo'linmas birligidir, degan xulosaga keldi. Bir xil kimyoviy elementning atomlari boshqa xil kimyoviy elementning atomlaridan farq qiladi.

1869- yilda rus olimi D.I. Mendeleyev tomonidan elementlarning davriy sistemasi kashf etildi. Mendeleyevning xizmatlari shundan iboratki, u birinchi bo‘lib, elementlarning individual xossalari tashuvchilarini o‘rnatdi. Bu tashuvchilar atomlardir.

U atomlar kimyoviy ma’noda bo‘linmas dedi, ammo qo‘rqmasdan atomlar hosil bo‘lganda energiya ajraladi va ularning massalari o‘zgaradi, deb faraz qildi. Mendeleyev «atomlar dunyosi osmon yoritkichlari dunyosi o‘zining quyoshi, sayyora va yo‘ldoshlari bilan qanday tuzilgan bo‘lsa, shunday tuzilgan», degan g‘oyani sezgan edi. Fanning keyingi rivoji bu ulug‘ g‘oyaning to‘g‘riligini isbotladi.

XIX asr oxiridagi eksperimental izlanishlar bilan hozirgi zamon fizik atomistikasining yangi bosqichiga qadam qo‘yildi. Bu bosqich Rentgen va Bekkerel kashfiyotlaridan boshlandi. 1895- yilning oxirida nemis fizigi V.K. Rentgen rentgen nurlarini (56- § ga qarng), 1896- yilda fransuz fizigi A.A. Bekkerel radioaktivlikni kashf etdilar (97- § ga qarang). Bu ikkala hodisa atom ichida ro‘y beruvchi noma‘lum jarayonlar bilan albatta bog‘liqligi olimlarga ma‘lum bo‘lib qoldi.

Va, nihoyat, 1897- yili ingliz fizigi J. Tomson katod nurlarining tabiatini o‘rganish jarayonida atom tarkibiga kiruvchi birinchi elementar zarra — elektronni kashf etdi. Elektr zaryadini tashuvchi elementar zarra — elektronning mavjudligini nemis olimi Gelmgols nazariy aytib o‘tgan edi.

Shunday qilib, jismlarning ishqalanishida elektrlanishini o‘rganish, elektroliz, gazlarning ionlanishi, katod nurlari, fotoeffekt, rentgen nurlari va radioaktivlikni tadqiq qilish atomlar ichida manfiy elektr xossalari ega bo‘lgan juda kichik zarra — elektron mavjud ekanligini, binobarin, atom bo‘linmas zarra emas, balki murakkab ichki strukturaga ega ekanligini isbot qildi.

Fizika va kimyo sohasidagi ko‘pgina tadqiqotlar barcha moddalarning molekullari hamda atomlari elektr jihatidan neytral (ya’ni, ortiqcha elektr zaryadiga ega emas) degan xulosaga olib keladi. Shunday ekan, atomning ichida zaryadlarining yig‘indisi shu atom tarkibidagi barcha elektronlar zaryadlarining yig‘indisiga teng bo‘lgan musbat zaryadlangan zarralar bo‘lishi kerak, deb o‘ylash tabiiydir.

Olimlar oldida: Atom qanday tuzilgan? Atomning ayrim qismlari nimalardan iborat? Ular bir-biriga nisbatan qanday joylashgan?

degan va shunga o'xshash ko'plab savollar tug'ildi. Shu tufayli turli atom modellari muhokama qilina boshlandi.

1903- yilda J. Tomson o'zining atom modelini taklif qildi. Ushbu modelga asosan atom butun hajmi musbat elektr zaryadi bilan bir xil zichlikda zaryadlangan shardan iborat bo'lib, elektronlar o'sha musbat elektr «bulutida» go'yo suzib yuradi. Shardagi musbat zaryadlar yig'indisi elektronlarning manfiy zaryadlari yig'indisiga teng bo'ladi. Atom bir butun holatda elektr jihatdan neytraldir. Atomning yorug'lik chiqarishiga elektronlarning muvozanat holatdagi kichik tebranishlari natijasi deb qaraldi.

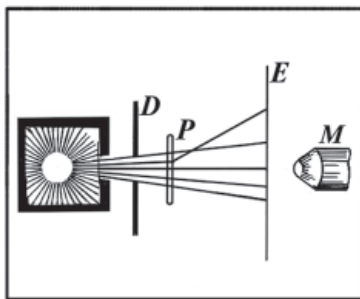
Bu modelda ko'p tushunmovchiliklar mavjud edi. Musbat zaryadlangan atom massasi nimadan iborat? Bu modelni atomlarning radioaktiv nurlarni chiqarishi bilan qanday bog'lash mumkin? Atomda musbat zaryadlangan zarralar bormi? Nihoyat, Tomson taklif qilgan atom modeli to'g'rimi? Axir, u bu modelni taxmin va farazlar asosida qurgan-ku! Bu taxmin va farazlarni tajribada tasdiqlash zarur edi.

Tomson o'z modelini yaratayotgan vaqtda unga qarama-qarshi hodisalar mavjudligiga qaramasdan, bu model atom tuzilishi haqidagi tushunchalarning rivojlanish bosqichlarida kerakli rol o'ynadi. Eng avvalo Tomson atomning murakkab sistema ekanligini birinchi marta isbotladi. Atomning elementarligi haqidagi ko'p asrlik tasavvurlarni buzdi. Tomson modeli fizika nuqtayi nazaridan elementlarning davriy sistemasini va kimyoviy reaksiyalarni tushuntirib berishi katta ahamiyatga ega edi. Tomson kimyoviy reaksiyalar elektronlar hisobiga sodir bo'lishini ham isbotlab berdi. Ammo yangi tajriba natijalari ko'proq va yana ko'proq Tomsonning atom modelini inkor qila boshladi.

## **76- §. Rezerford tajribasi. Rezerford formulasi**

Ko'p tajriba va nazariy tekshirishlar natijasida atom tuzilishi nazariyasi yaratildi. Bu nazariyani yaratishda ingliz olimi Rezerford tomonidan o'tkazilgan tajribalar muhim ahamiyatga ega bo'ldi.

Katod nurlarining elektr va magnit maydonlarda og'ishini kuzatish elektronlarning bu maydondagi harakat tezligini hisoblashga va ular zaryadining massasiga nisbati ( $e/m$ ) ni aniqlashga imkon berdi. Elektronning zaryadi elektroliz qonunlari asosida hisoblab topildi va so'ngra bevosita o'lchandi. Elektronning zaryadini va



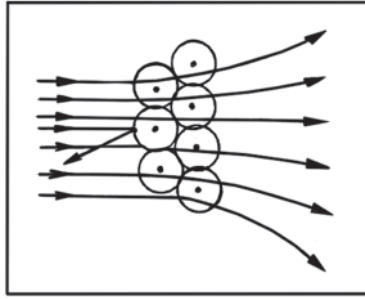
184- rasm.

uning zaryadining massasiga nisbatini bilgan holda elektronning massasini hisoblash mumkin bo'ldi. Elektronning massasi vodorod atomi massasidan 1836 marta kichikdir.

Elektronlarning massasi atomlarning massasidan bir necha ming marta kichikligidan atomning asosiy massasi uning musbat zaryadli qismiga to'g'ri keladi, degan fikr kelib chiqadi.

Atom ichida musbat zaryadning va binobarin, massasining taqsimlanishini tadqiq qilish uchun Rezerford va uning shogirdlari  $\alpha$ -zarralarning yupqa metall plastinka — folgalar orqali o'tganda uchish yo'nalishlari o'zgarishi (sochilishi)ni o'rgandilar.  $\alpha$ -zarralar ba'zi moddalarning radioaktiv yemirilishi (parchalanishi) paytida juda katta tezlik bilan ajratib chiqaradigan musbat zaryadli zarralari bo'lib, ular o'z tabiatiga ko'ra gely ionlaridan iboratdir. Bu zarralarning massalari elektron massasidan taxminan 8000 marta katta, musbat zaryadi esa absolyut kattaligi jihatidan elektron zaryadidan ikki marta kattadir. Radioaktiv moddadan  $\alpha$ -zarralarning uchib chiqish tezligi  $10^4$  km/s tartibida bo'ladi.

Rezerford tajribasi quyidagicha amalga oshirilgan (184- rasm). Qo'rg'oshindan maxsus yasalgan kovak ichiga radioaktiv modda kiritilgan bo'lib, u  $\alpha$ -zarralar manbayi bo'lib xizmat qiladi.  $\alpha$ -zarralar qo'rg'oshin qatlamida kuchli tormozlanishi sababli ular tashqariga faqat ingichka tirqish orqali chiqa oladi. Shu usul bilan hosil qilingan  $\alpha$ -zarralarning ingichka dastasi uning yo'liga qo'yilgan tekshirilayotgan modda (masalan, oltin, mis)dan yasalgan yupqa folga  $P$  ga tushadi.  $\alpha$ -zarralar folgadan o'tganida boshlang'ich harakat yo'nalishidan turli burchakka og'adi, ya'ni  $\alpha$ -zarralar folgada sochiladi. Sochilgan  $\alpha$ -zarralar rux sulfid surtilgan  $E$  ekranga borib urilib hosil qilgan chaqnash (ssintillyatsiya)lar  $M$  mikroskop orqali kuzatiladi.



185- rasm.

Qurilma ichidan havosi soʻrib olinadi. Folga boʻlmaganda  $E$  ekranda  $\alpha$ -zarralarining ingichka shuʻlasi hosil qilgan chaqnashlardan iborat yorugʻ yoʻl hosil boʻladi. Biroq shuʻlaning yoʻliga folga qoʻyilganda  $\alpha$ -zarralarning sochilishi tufayli ekranning katta qismida chaqnashlar vujudga keladi.

Kuzatishlarning koʻrsatishicha: 1)  $P$  folgaga tushayotgan  $\alpha$ -zarralarning soniga nisbatan unda sochilgan zarralarning soni ancha kam; 2) katta burchak ostida, hatto  $180^\circ$  burchak ostida sochilgan  $\alpha$ -zarralar ham bor (185- rasm); 3) sochilish burchagining ortishi bilan sochilgan  $\alpha$ -zarralarning soni keskin kamayib ketadi.

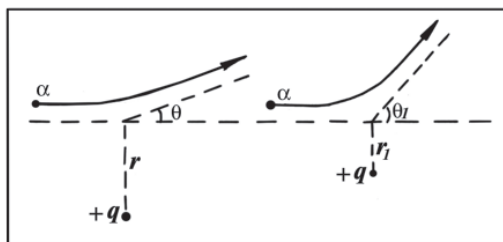
$\alpha$ -zarralarning modda orqali oʻtganda bunday sochilishiga sabab, ularga moddani tashkil etuvchi zarralarning taʼsir etishidir, deb oʻylash tabiiydir.  $\alpha$ -zarraning katta burchakka ogʻishi modda atomining musbat zaryadli va uning massasini oʻziga mujasamlantirgan qismi bilan oʻzaro taʼsiri (toʻqnashishi)dan kelib chiqadi. Chunki yengil elektronlar nisbatan oʻzidan ogʻir va juda tez  $\alpha$ -zarralarning harakatini sezilarli darajada oʻzgartira olmaydi. Bundan Rezerford atomning yadrosi haqidagi gʻoyaga keldi. *Atom yadrosi atomning deyarli butun massasi va butun musbat zaryadi yigʻilgan juda kichik oʻlchamli qismidir.*

Agar folganing  $1 \text{ sm}^2$  yuzasiga  $1 \text{ s}$  da tushgan  $\alpha$ -zarralarning soni  $N$ , folganing  $1 \text{ sm}^3$  hajmdagi atomlar soni  $n$ ,  $P$  folga markazidan  $E$  ekrangacha boʻlgan masofa  $l$ , folganing qalinligi  $b$  boʻlsa, u holda  $1 \text{ sm}^2$  yuzadan  $1 \text{ s}$  da  $\theta$  burchak ostida sochilayotgan  $\alpha$ -zarralarning  $\Delta N$  soni:

$$\Delta N = \frac{nNb}{l^2} \left( \frac{2Ze^2}{m_\alpha \cdot v^2} \right)^2 \frac{1}{4 \sin^4 \frac{\theta}{2}} \quad (130)$$

formuladan aniqlanishini Rezerford hisoblab ko'rsatdi, bunda:  $m_\alpha$  —  $\alpha$ -zarraning massasi;  $v$  —  $\alpha$ -zarraning tezligi;  $q=Ze$  — atom yadrosining zaryadi; ( $q_\alpha=2e$  —  $\alpha$ -zarraning zaryadi).

(130) formulani **Rezerford formulasi** deyiladi.  $\alpha$ -zarralarning sochilishiga doir tajribalar Rezerford formulasini to'la tasdiqlaydi.



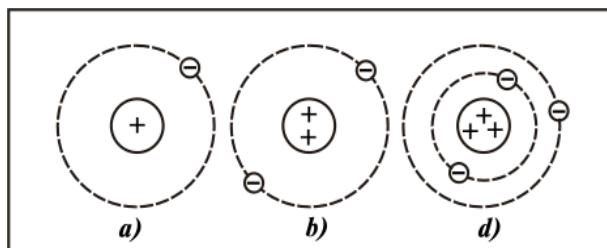
186- rasm.

Turli xil burchaklar ostida sochilgan  $\alpha$ -zarralarni sanab (186-rasm), Rezerford yadro o'lchamini aniqlay oldi. Yadroning diametri  $10^{-15}$  m tartibida ekanligi ma'lum bo'ldi. Keyinchalik yadroning  $q=Ze$  zaryadi ham aniqlandi, bunda:  $e$  — elementar zaryadning absolyut qiymati;  $Z$  — mazkur kimyoviy elementning Mendeleyev davriy sistemasidagi tartib nomeri.

## 77- §. Atomning planetar modeli va uning kamchiliklari

Ko'pgina tajribalar natijalarini tahlil qilib, 1911- yilda Rezerford atom tuzilishining **planetar modelini** yaratdi. Bu modelga muvofiq atomning markazida uning deyarli butun massasiga teng massali va musbat zaryadga ega bo'lgan yadro joylashgan. Yadro atrofida elektronlar tayinli orbitalar bo'ylab harakat qiladi (elektronlar atom ichida tinch holatda tura olmaydi, bu holda ular yadroga qulab tushgan bo'lar edi). Bu harakat yadro tomonidan ta'sir qiluvchi kulon kuchi natijasida yuz beradi. Yadroning o'lchami  $10^{-15}$  m tartibida, atomning o'lchami esa elektronlar orbitasining o'lchami bilan aniqlanadi va  $10^{-10}$  m ga yaqin ekanligi ma'lum. Butunicha olib qaralganda atom neytral bo'lgani uchun atom ichidagi elektronlar soni yadro zaryadi singari elementning Mendeleyev davriy sistemasidagi tartib nomeriga teng bo'ladi.

Shunday qilib, har bir kimyoviy elementning atomi yadro va uning atrofida harakatlanuvchi elektronlardan iborat. Bu elektronlar atomning **elektron qobig'ini** tashkil etadi.



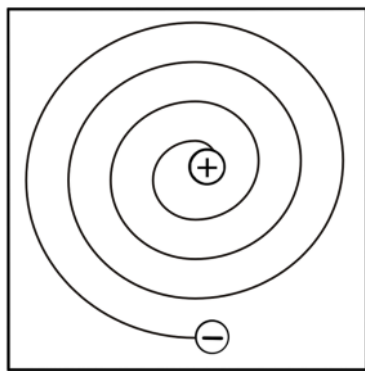
187- rasm.

Eng sodda atom vodorod atomi bo'lib, uning yadrosi atrofida faqat bitta elektron harakatlanadi. Vodorod atomining yadrosi absolyut kattaligi jihatidan elektron zaryadiga teng bo'lgan musbat zaryadga va elektron massasidan taxminan 1836 marta katta bo'lgan massaga ega. Bu yadro **proton** deb ataladi va elementar zarra sifatida qaraladi. Qolgan atomlar ancha murakkab tuzilishga egadir. Elementning davriy sistemasidagi tartib nomeri orta borgan sari atomdagi elektronlar soni orta boradi. Masalan, vodorod atomining yadrosi atrofida 1 elektron, geliy atomining yadrosi atrofida 2 elektron, litiy yadrosi atrofida 3 elektron aylanadi va hokazo, nihoyat, 104- o'rinda turgan kurchatoviy atomining yadrosi atrofida 104 elektron aylanadi. 187- rasmda vodorod (a), geliy (b) va litiy (d) atomlarining modellari tasvirlangan.

Shunday qilib, atomning sodda va yaqqol planetar modelining bevosita eksperimental asosi bor. Ammo atom tuzilishining bu klassik modeli kamchiliklardan xoli emas.

Biz 53- paragrafda yorug'lik to'lqinlarining manbayi moddalarining atomlari ekanligini va atomar holatdagi moddalarning nurlanish spektri chiziqli spektr ekanligini ko'rib o'tgan edik. Xo'sh, atomlar qanday qilib nur sochadi? Bu savolga atom tuzilishining planetar modeliga asosan quyidagicha javob topish mumkin.

Atomda elektron yadro atrofida berk orbitalar bo'ylab tezlanish (markazga intilma tezlanish) bilan harakat qiladi, shu sababli klassik elektrodinamika qonunlariga muvofiq elektron o'zgaruvchan elektromagnit maydon hosil qiladi. Shuning uchun atom elektromagnit to'lqinlar manbayi bo'lishi va elektronning yadro atrofida aylanish chastotasiga teng chastotali to'lqinlarni uzluksiz nurlab turishi kerak. Ammo elektron yadro atrofida istagan chastota bilan aylanishi mumkin. Shunday ekan, berilgan modda atomlarining



188- rasm.

nurlanish spektrida turli uzunlikdagi to‘lqinlarning bo‘lishi, binobarin, modda atomlarining nurlanishi tutash spektrni berishi kerak.

Atom nurlanishining mexanizmi haqidagi savolga berilgan bunday javob tajriba natijalariga mutlaqo ziddir. *Birinchidan*, atomlarning nurlanish spektri tutash bo‘lmay, balki chiziqli chiziqli. *Ikkinchidan*, bu chiziqlarga mos elektromagnit to‘lqinlarning chastotalari elektronlarning yadro atrofida aylanish chastotasiga mutlaqo bog‘liq emas. *Uchinchidan*, agar elektron yadro atrofida aylanib, elektromagnit to‘lqinlarni to‘xtovsiz chiqarib tursa, atomning energiyasi uzluksiz kamayib borishi kerak. Buning natijasida elektron spiral bo‘yicha harakatlanib, asta-sekin yadroga yaqinlashib borishi va oxiri elektr tortishish kuchlari ta’sirida yadroga tushishi lozim (188- rasm). Nyuton mexanikasi va Maksvell elektrodinamikasiga asoslangan hisoblar elektronning  $10^{-8}$  sekund tartibidagi juda qisqa vaqt ichida yadroga qulashi lozim ekanini ko‘rsatadi. Bunga ko‘ra atom o‘zining elektron qobig‘ini, shu bilan birga o‘ziga xos fizik va kimyoviy xossalarini yo‘qotadi. Tajribalar esa atomlarning juda ham turg‘un sistema ekanligini va qo‘zg‘atilmagan holatda hech qanday elektromagnit to‘lqinlar chiqarmasdan cheksiz uzoq muddat yashay olishini ko‘rsatadi.

Atomlar nurlanishga energiya sarf qilishi natijasida muqarrar halokatga uchrashi haqidagi tajribaga muvofiq kelmaydigan xulosa klassik fizika qonunlarini atom ichida bo‘ladigan hodisalarga tatbiq qilish natijasidir. Bundan atom masshtabidagi hodisalarga klassik fizika qonunlarini qo‘llash mumkin emas, degan xulosa kelib chiqadi.

## 78- §. Bor postulatları. Energetik sathlar

77- § da atomning planetar modeli (uni *yadro modeli* deb ham yuritiladi) klassik mexanika va elektrodinamika bilan birgalikda na atomning turg'un sistema ekanligini, na atom spektrining xarakterini tushuntirishga qodir emas ekanligini ko'rdik.

Bu ziddiyatlarni hal qilish yo'lini 1913- yilda daniyalik fizik Nils Bor topgan edi. Bunda u Plank gipotezasiga va Eynshteynning yorug'lik kvantlarining mavjudligi haqidagi g'oyalariga tayanib, tabiat jarayonlari haqidagi kvant tasavvurlarni yanada rivojlantirdi. Biroq Bor atomning izchil nazariyasini bermay, balki yangi nazariyaning asosiy qoidalarini postulatlar tariqasida ifodalab berdi. Shu bilan birga Bor klassik fizika qonunlarini ham shaksiz rad etmay, balki o'zining postulatları bilan klassik nazariya qo'llanishlariga ba'zi cheklanishlar qo'yadi, xolos.

Borning qilgan farazi u ta'riflagan quyidagi ikki postulatda o'z mazmunini topdi:

1. Atom sistemasi faqat maxsus statsionar yoki kvant holatlarda bo'la oladi, bu holatlarning har biriga muayyan  $W_n$  energiya mos keladi. Statsionar holatda atom yorug'lik chiqarmaydi ham, yutmaydi ham.

2. Atom bir statsionar holatdan ikkinchisiga o'tganda yorug'lik chiqaradi (yoki yutadi). Nurlangan (yoki yutilgan) fotonning energiyasi statsionar holatlar energiyalarining ayirmasiga teng:

$$h\nu_{mn} = W_m - W_n, \quad (131)$$

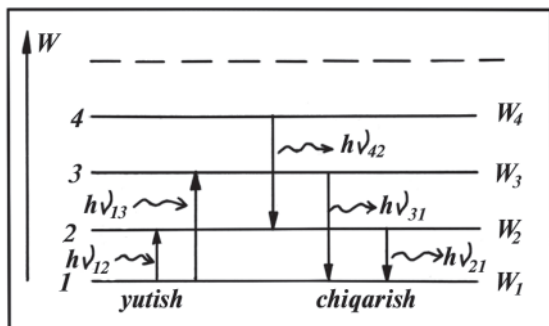
bunda:  $m$  va  $n$  — butun sonlar;  $W_m$  va  $W_n$  — mos ravishda atomning  $m$  va  $n$ -statsionar holatlari energiyasi.

(131) formuladan atomning  $m$ -statsionar holatdan  $n$ -statsionar holatga o'tganida nurlanish chastotasi quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$\nu_{mn} = \frac{W_m - W_n}{h} = \frac{W_m}{h} - \frac{W_n}{h}. \quad (132)$$

Shunday qilib, atom chiqaradigan elektromagnit to'lqinlar chastotasi atomning statsionar holatlariga mos keladigan energiya farqi bilan aniqlanar ekan.

Atomning har bir statsionar holatiga mos keladigan energiya qiymatlarini grafik usulda ma'lum energetik balandliklarda joylashgan sathlar tarzida gorizontalar chiziqlar bilan tasvirlash



189- rasm.

mumkin (189- rasm). Bu gorizontali chiziqlarni **energiya sathlari** yoki **energetik sathlar** deyiladi. Bunda eng chuqur (eng past) sath energiyaning eng kichik ( $W_1$ ) qiymatiga mos keladi. Atomning bunday energiya bilan xarakterlanadigan holati **normal holat**, energetik sathni esa **normal energetik sath** deyiladi. Normal sathdan yuqorida yotgan barcha sathlarni **uygʻongan sath** deb, unga mos atomning holatini esa **uygʻotilgan holat** deb ataladi. Atomning bir energetik sath (statsionar holat)dan ikkinchi energetik sath (statsionar holat)ga oʻtishida nurlanishini yoki nur yutishini shu ikki sathni birlashtiruvchi strelkali chiziqlar bilan tasvirlanadi.

Atom yuqori energetik sathlardan quyi energetik sathlarga oʻz-oʻzidan oʻtish ehtimoli koʻp, bunda u elektromagnit toʻlqinlarni nurlaydi. Ammo atom normal sathdan uygʻotilgan sathga oʻz-oʻzidan oʻtishi mumkin emas. Bunday oʻtishni amalga oshirish uchun atomga tashqaridan maʼlum miqdorda energiya berishi kerak, yaʼni atomni **uygʻotish** kerak. Bunda atom energiya yutadi va yutilgan energiyaga mos kelgan chastota ham (132) formula bilan aniqlanadi. Atomni uygʻotilgan holatga keltirish uchun zarur boʻladigan eng kam energiya **uygʻotuvchi energiya** deb ataladi.

Shunday qilib, atom tamomila aniq chastota (uzunlik)li elektromagnit toʻlqinlarnigina chiqarishi yoki yutishi mumkin. Atom spektrining chiziqli-chiziqli ekanligi ham shu bilan bogʻlangan.

Borning birinchi postulati klassik mexanikaga ziddir. Klassik mexanikaga asosan harakatlanayotgan elektronning energiyasi har qanday boʻlishi mumkin.

Borning ikkala postulati Maksvell elektrodinamikasiga ham ziddir, chunki birinchi postulat elektronlar elektromagnit toʻlqinlar

chiqarmagan holda tezlanish bilan harakatlanishini va ikkinchi postulat nurlangan yorug'likning chastotasi elektronlar harakatining xarakterini emas, balki atom energiyasining o'zgarish kattaligini ko'rsatadi.

Bor postulatlarini, asosan, Rezerfordning atom tuzilishi planetar modelini saqlash bilan birga, uni 77-§ da ko'rsatib o'tilgan va tajribaga zid bo'lgan kamchiliklardan xoli qildi.

## **79- §. Vodorod atomi uchun Borning elementar nazariyasi**

Bor o'z postulatlarini eng sodda atom — vodorod atomining nazariyasini yaratish uchun qo'lladi. Vodorod atomi bitta proton (vodorod atomining yadrosi) va bitta elektrondan iborat. Yadroning massasi elektron massasidan 1836 marta katta bo'lgani uchun yadroni qo'zg'almas deb hisoblash mumkin. Bor elektron yadro atrofida doiraviy orbitalar bo'yicha harakatlanadi, deb faraz qildi. Asosiy vazifa vodorod chiqarayotgan elektromagnit to'lqinlarning chas-totalarini aniqlashdan iborat bo'ldi.

Bu chastotalarni ikkinchi postulatdan foydalanib topish mumkin, lekin buning uchun atom energiyasining statsionar qiymatlarini aniqlash metodini bilish kerak. Boshqacha aytganda, *energiyani kvantlash qoidasini* bilish zarur. Bu qoidani ham Bor postulat tarzida berdi.

Atomning to'liq  $W$  energiyasi elektronning yadro bilan bo'ladigan o'zaro ta'sirining potensial energiyasi bilan elektronning orbital harakatidagi kinetik energiyasi yig'indisiga tengdir:

$$W = \frac{m_0 v^2}{2} + \left( -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \right) = \frac{m_0 v^2}{2} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}, \quad (133)$$

bunda:  $m_0$  — elektronning massasi;  $v$  — uning orbita bo'yicha harakat tezligi;  $r$  — orbita radiusi;  $\epsilon_0$  — elektr doimiysi, minus ishora o'zaro ta'sirlashayotgan zarralar (elektron va proton)ning zaryadlari qarama-qarshi ishorali ekanligidan (bunda potensial energiya manfiy bo'ladi) kelib chiqadi.

Ravshanki, elektronni radiusi  $r$  bo'lgan orbitada tutib turuvchi markazga intilma kuch elektron bilan yadroning o'zaro tortishishidagi Kulon kuchidan iboratdir, ya'ni:

$$\frac{m_0 v^2}{r} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}. \quad (134)$$

Tezlikning bu munosabatdan topilgan qiymatini (133) formulaga qo'yib,  $W$  energiyani topamiz:

$$W = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r}. \quad (135)$$

Borning birinchi postulatiga ko'ra energiya faqat tayinli  $W_n$  qiymatlarga qabul qilishi mumkin. Shuning uchun (135) formulaga muvofiq vodorod atomidagi orbitalarning radiuslari ham ixtiyoriy bo'la olmaydi. Borning kvantlash qoidasi orbitalarning mumkin bo'lgan radiuslari uchun:

$$r_n = n^2 \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m_0 e^2}, \quad (136)$$

ifodani va elektronning orbita bo'yicha harakat tezligi uchun

$$v_n = \frac{e^2}{2\epsilon_0 h} \cdot \frac{1}{n} \quad (137)$$

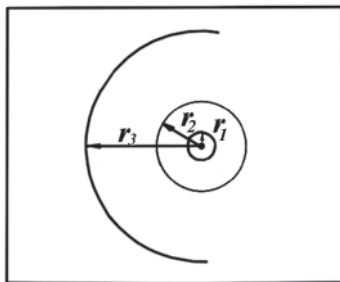
ifodani beradi, bunda  $n=1,2,3, \dots$  qiymatlarni oladi.

(136) formula mumkin bo'lgan orbitalarning radiuslarini hisoblashga imkon beradi. Bor postulati bo'yicha bu orbitalarni **ruxsat etilgan** yoki **Bor orbitalari** deb ataladi. Bor orbitalarining radiuslari  $n$  soni o'zgarishi bilan uzlukli (diskret) ravishda o'zgaradi.

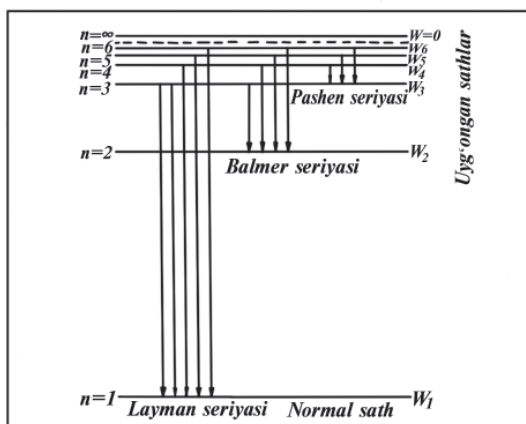
Bor orbitasining eng kichik radiusi uchun  $n=1$  bo'ladi, binobarin:

$$r_1 = \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m_0 e^2} = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \cdot (6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})^2}{3,14 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2} = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ m}.$$

Bu kattalik atom radiusining kattaligi tartibida (77- § ga qarang) ekanligi ko'rinib turibdi. Demak, Bor nazariyasi atomning o'lchamini to'g'ri ko'rsatib beradi. Ruxsat etilgan elektron orbitalari 190- rasmda tasvirlangan.



190- rasm.



191- rasm.

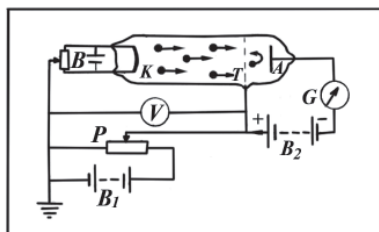
Elektron orbitalari radiuslarining (136) ifodasini (135) formulaga keltirib qo'yib, atomning statsionar holatlari energiyalarining qiymatlarini topamiz:

$$W_n = -\frac{m_0 e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2}. \quad (138)$$

191- rasmda vodorod atomining (138) formula bo'yicha hisoblangan energetik sathlari diagrammasi tasvirlangan. (136) va (138) formulalarga binoan, atomning statsionar orbitalari radiusi va statsionar holatlari energiyasi **kvant soni** deb ataladigan  $n$  sonining qiymatiga bog'liq. Energiyaning manfiy ishorasi atomdan elektronni olish uchun tashqi kuchlar ish bajarishi kerakligini bildiradi.

Elektronning eng kam  $W_1$  energiyasi atomning normal holatdagi statsionar orbitasining  $r_1$  radiusiga mos keladi. Binobarin, atomning normal holati shundayki, unda elektron yadroga eng yaqin orbita bo'ylab harakatlanadi. Atom bu holda nur chiqara olmaydi, chunki elektronning bu orbitadan yadroga yanada yaqinroq orbitaga o'tishining imkoni yo'q.

Shunday qilib, (138) formulaga ko'ra elektron yadroga eng yaqin ( $n=1$ )  $r_1$  radiusli orbitada harakatlanganda atom minimal ( $W_1$ ) energiyaga, elektron eng uzoq ( $n=\infty$ )  $r_\infty$  radiusli orbitada harakatlanganda esa maksimal ( $W_\infty$ ) energiyaga ega bo'ladi. Biroq  $n \rightarrow \infty$  da  $r_n \rightarrow \infty$  va  $W_\infty \rightarrow 0$  bo'ladi. Bu esa elektronning yadrodan cheksiz uzoqlashganini va yadro bilan bog'lanishni uzganini bildiradi. Demak, bu holda atom elektronini yo'qotadi va musbat ionga



192- rasm.

aylanadi. Elektronni  $n=1$  orbitadan (normal holatdan)  $n=\infty$  orbitaga (cheksiz uzoqlikka) o'tkazish uchun zarur bo'lgan energiyani atomning **ionlashish energiyasi** deyiladi.

Borning ikkinchi postulatiga va (138) formulaga muvofiq, vodorod atomi nurlanishining mumkin bo'lgan chastotalari quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\nu_{mn} = \frac{W_m}{h} - \frac{W_n}{h} = \frac{m_0 e^4}{8 \epsilon_0^2 h^3} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (139)$$

bunda:  $m > n$ ,  $m$  va  $W_m$  — atomning boshlang'ich (nur chiqarish-gacha) holatiga mos kelgan kvant soni va energiyasi;  $n$  va  $W_n$  — atomning oxirgi (nur chiqargandan keyingi) holatiga oid xarakteristiklari.

Vodorod atomining nazariyasi **vodorodsimon atomlar** deb ataluvchi ionlashgan atomlarga, (masalan, geliy  $\text{He}^+$ , litiy  $\text{Li}^{++}$ , berilliy  $\text{Be}^{+++}$  ionlariga) ham qo'llaniladi. Ammo bu holda formulalarni chiqarishda yadro zaryadini  $e$  ga emas, balki  $Ze$  (bunda  $Z$  elementning atom raqami)ga teng deb olish kerak. U holda Borning (139) spektral formulasini vodorodsimon atomlarga tatbiq qilinganda u quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\nu_{mn} = \frac{m_0 Z^2 e^4}{8 \epsilon_0^2 h^3} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right). \quad (140)$$

Bor nazariyasida spektral chiziqlar chastotalari uchun topilgan (139) va (140) formulalar tajriba bilan juda mos kelishi aniqlandi.

## 80- §. Frank va Gers tajribasi

Atomning diskret energetik sathlarining mavjudligi 1913- yilda nemis fiziklari D. Frank va G. Gerslar tomonidan o'tkazilgan tajribalar bilan tasdiqlangan. Tajriba asosida quyidagi g'oya yotadi.

Yadro atrofida aylanayotgan elektron o'zining energiyasini asta-sekin bir tekis o'zgartira olmaydi. Atomning boshqa atom yoki elektron bilan o'zaro ta'siri natijasida olishi mumkin bo'lgan minimal energiya miqdori atomning normal holati va birinchi uyg'ongan holatidagi energiyalarining ayirmasiga teng bo'lishi kerak.

Bundan shunday xulosa chiqadi: agar gaz orqali har birining energiyasi atomning birinchi uyg'ongan va normal holatlari energiyalari farqidan kichik bo'lgan elektronlar oqimi o'tkazilsa, u holda bu elektronlar atomlar bilan elastik to'qnashishlari kerak, ya'ni to'qnashishda elektronlarning energiyasi o'zgarmaydi, faqat harakat yo'nalishi o'zgaradi.

Agar oqimdagi elektronlarning energiyasini oshirsak, u holda energiyaning bu farqqa teng qiymatida elektronlar atomlar bilan to'qnashganda o'zlarining kinetik energiyasini atomlarni uyg'otish uchun bera oladi, elektronlarning kinetik energiyasi atomlarning uyg'otish energiyasiga aylanadi, atom bilan elektron noelastik to'qnashadi. Birinchi bo'lib elektronlarning simob atomlari bilan noelastik to'qnashishlarini Frank va Gers o'z tajribalarida qayd qilganlar.

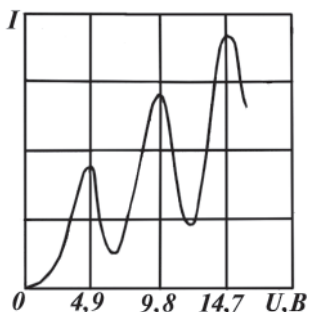
Frank va Gers tajribalarida foydalanilgan qurilmaning sxemasi 192- rasmda keltirilgan. Bu tajribada uchta elektron ( $K$  — katod,  $T$  — to'r va  $A$  — anod) bo'lgan va taxminan 1 mm sim. ust. bosimda simob bug'lari bilan to'ldirilgan shisha nay ishlatilgan.  $K$  katod elektr toki bilan qizdiriladi. Katoddan uchib chiqqan elektronlar katod va  $T$  to'r orasidagi elektr maydonda tezlashadi. Ularning to'rga yetgandagi kinetik energiyasi elektr maydonning ishiga teng:

$$\frac{mv^2}{2} = eU,$$

bunda:  $e$  — elektron zaryadi;  $U$  — katod bilan to'r orasidagi kuchlanish.  $T$  to'rning potentsiali  $A$  anodning potentsialidan 0,5 V yuqori, shuning uchun to'rga yetib kelgan elektronlar to'r bilan anod orasidagi maydonda tormozlanadi.

Frank va Gers tajribasida anod zanjiridagi tok kuchining katod hamda to'r orasidagi kuchlanishga bog'liqligi o'rganilgan. To'rning potentsiali anod potentsialidan 0,5 V yuqori bo'lgani uchun anodga faqat kinetik energiyalari 0,5 eV dan yuqori bo'lgan elektronlarga yetib bora oladi.

193- rasmda anod zanjiridagi ( $G$  galvanometr bilan o'lchanayotgan)  $I$  tok kuchining ( $V$  voltmetr bilan o'lchanayotgan)  $U$  kuchla-



193- rasm.

nishga qanday bog‘lanishda ekanligi tasvirlangan. Tok kuchi avval monoton o‘sib borib,  $U=4,9$  V da maksimumga erishadi, shundan keyin  $U$  ning yana ortib borishi bilan keskin kamayib, minimumga tushadi va yana yangidan o‘sa boshlaydi. Tok kuchining maksimumlari  $U$  kuchlanishning 9,8 V; 14,7 V va hokazo qiymatlarida takrorlanadi.

Grafikning bunday ko‘rinishda bo‘lishi energetik sathlarning diskretligi natijasida atomlar energiyani faqat ma‘lum porsiylar tarzida qabul qila olishi bilan tushuntiriladi. Agar  $W_1, W_2, W_3, \dots$  lar 1-, 2-, 3- va hokazo statsionar holatlarning energiyalari bo‘lsa, atom  $\Delta W_1 = W_2 - W_1$ ,  $\Delta W_2 = W_3 - W_1$  yoki  $\Delta W_3 = W_4 - W_1$  va hokazo energiyalarnigina qabul qilishi mumkin.

Elektronning energiyasi  $\Delta W_1$  dan kichik bo‘lguncha elektron bilan simob atomining o‘zaro to‘qnashuvi elastik xarakterda bo‘ladi. Elektronlarning bir qismi to‘rga kelib tushadi, qolganlari anodga yetib borib, galvanometr zanjirida tok hosil qiladi. Elektronning katod — to‘r oralig‘ida erishgan energiyasi  $\Delta W=4,9$  eV ga yetganda (bu hol  $U=4,9$  V da ro‘y beradi) yoki undan ortib ketganda to‘qnashish noelastik bo‘ladi, elektronlar  $\Delta W_1$  energiyani atomlarga beradi, keyin ancha kichik tezlik bilan harakatlanishni davom ettiradi. Shuning uchun anodga yetib keluvchi elektronlarning soni, demak tok kuchi kamayadi. So‘ng kuchlanishning ortishi bilan tok kuchi yana o‘sib boradi, maksimumga erishadi, keyin noelastik to‘qnashishdan so‘ng keskin kamayib ketadi va hokazo.

Keyingi noelastik to‘qnashuvlar  $U=9,8$  V da (ikki marta),  $U=14,7$  V da (uch marta) sodir bo‘ladi.

Demak, tajriba natijalaridan simob atomlarining ichki energiyasi  $\Delta W=4,9$  eV dan kichik qiymatga o‘zgarishi mumkin emas, degan xulosa kelib chiqadi. Shunday qilib, atomning ichki energiyasi ixtiyoriy qiymatlar qabul qila olmaydi va ixtiyoriy qiymatlarga o‘zgarishi mumkin emas. Bu hol atomning diskret energetik sathlarining (statsionar holatlarning diskret to‘plami) borligini tasdiqlaydi.

Bunday xulosaning to‘g‘riligi yana shu bilan tasdiqlanadiki, katod va to‘r orasidagi kuchlanish 4,9 V dan kam bo‘lganda naydagi

simob bug‘lari yorug‘lik sochmaydi. Bunday kuchlanishga erishganda esa simob bug‘lari nurlana boshlaydi:

$$\nu = \frac{\Delta W_1}{h} = \frac{4,9 \text{ eV}}{h}$$

formula bo‘yicha hisoblangan nurlanishlar chastotasi eksperimental kuzatilgan chastotaga muvofiq keladi. Bu esa noelastik to‘qnashishlar natijasida simobning uyg‘ongan atomlari keyin quyi energetik holatlarga o‘tib, Borning ikkinchi postulatiga muvofiq nurlanib yorug‘lik kvantlari chiqarishini bildiradi.

## 81- §. Atom spektridagi qonuniyatlar. Balmerning umumlashgan formulasi

Atom spektrlarini o‘rganish atom tuzilishini bilishning kaliti bo‘lib xizmat qiladi. Bizga ma‘lumki, atomlarning nurlanish spektri chiziq-chiziqli spektrdan, ya‘ni alohida rangli chiziqlardan iboratdir (53- § ga qarang). Ma‘lum bo‘lishicha, atom spektridagi chiziqlar tartibsiz joylashgan bo‘lmay, balki ularning joylashishi muayyan qonuniyatlariga bo‘ysunar ekan. Eng sodda atom bo‘lgan vodorod atomida buni yaqqol ko‘rish mumkin. Aniqlanishicha, spektral chiziqlar guruh-guruh yoki boshqacha aytganda, seriyalarga ajralib, biror seriyaga tegishli chiziqlar esa o‘zaro ma‘lum qonuniyatlar bilan bog‘langan ekan.

1885- yilda shveysariyalik o‘qituvchi Ya. Balmer birinchi bo‘lib vodorod atomining nurlanish spektrining ko‘rinadigan qismida yotgan spektral chiziqlarning chastotasini hisoblashga imkon beradigan empirik formulani topdi. Vodorod spektrining bu qismidagi barcha chastotalar quyidagi sodda munosabatni qanoatlantiradi:

$$\nu = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (141)$$

bunda  $m=3, 4, 5 \dots$  (butun sonlar);  $R$  — **Ridberg doimiysi** deb atalib, u  $3,28985 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$  ga teng.

Bu formula juda aniq bajariladi. Shuning uchun u nur chiqarayotgan atomlarga xos bo‘lgan biror ichki qonuniyatni ifodalaydi, deb aytish mumkin.

Vodorod spektrining ko‘rinadigan barcha turlari chiziqlari  $m$  ning turli xil butun son qiymatlariga mos keladi. Bu chiziqlar guruhi **Balmer seriyasi** deb ataladi.

Keyinchalik vodorod spektrida yana bir necha seriyalar borligi aniqlangan. Jumladan, spektrning ultrabinafsha qismida 1906- yilda ingliz fizigi Layman topgan seriya va spektrning infraqizil qismida 1908- yili nemis fizigi Pashen topgan seriya bor (191- rasmga qarang). **Layman seriyasidagi** spektral chiziqlarning chastotalari quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\nu = R \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (142)$$

bunda  $m=2,3,4 \dots$

**Pashen seriyasi** chiziqlarining chastotalari esa quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\nu = R \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (143)$$

bunda  $m=4, 5, 6 \dots$  Barcha seriyalarning empirik formulalari bir xil strukturaga ega, shuning uchun vodorod spektrining barcha chiziqlarini quyidagi bitta formula bilan ifodalash mumkin:

$$\nu = R \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (144)$$

bunda  $n$  va  $m$  butun sonlar bo'lib,  $n=1, 2, 3 \dots$  qiymatlarni,  $m=(n+1), (n+2), (n+3) \dots$  qiymatlarni oladi. Ko'rinib turibdiki,  $m>n$ . (144) ifoda **Balmerning umumlashgan formulasi** deb ataladi.

## 82- §. Kombinatsion prinsip. Bor nazariyasining kamchiliklari

Vodorod atomidan tashqari boshqa atomlarda chastotalarning spektral to'plami bo'ysunadigan qonuniyatlar ancha murakkabroq, lekin ularning hammasi uchun umumiy bo'lgan xossalar bor. Haqiqatan ham (141) — (144) formulalarning tashqi ko'rinishiga bir nazar tashlaylik. Bu formulalardan har birining birinchi doimiy hadi boshqasida o'zgaruvchan hadlardan biri ekanligini oson payqash mumkin. Masalan, (143) Pashen formulasidagi  $\frac{R}{3^2}$  doimiy had (141) Balmer formulasidagi birinchi o'zgaruvchan had, (142) Layman formulasi uchun esa ikkinchi o'zgaruvchan had bo'ladi. (141) Balmer formulasidagi  $\frac{R}{2^2}$  doimiy had, o'z navbatida, (142) Layman

formulasida birinchi o'zgaruvchan had bo'ladi va hokazo. Bu hol Balmerning (144) umumlashgan formulasining ko'rinishida yaqqol ifodalanib, u vodorod spektrining istalgan spektral chizig'ining chastotasini  $n$  ning qandaydir ikkita butun qiymatida  $\frac{R}{n^2}$  tarzda ikkita hadning ayirmasi sifatida ifodalash mumkinligini ko'rsatadi.

$T(n) = \frac{R}{n^2}$  kabi kattaliklarni **spektral term** yoki **term** deb,

$$\frac{R}{1^2}, \frac{R}{2^2}, \frac{R}{3^2}, \dots, \frac{R}{m^2}, \dots, \frac{R}{n^2}, \dots \quad (145)$$

qatorni esa **spektral termlar qatori** yoki **spektral termlar sistemasi** deb ataladi. (145) dan muayyan atom uchun spektral termlar sistemasini bilgan holda ixtiyoriy spektral chiziqning chastotasini shu sistemaning ikkita hadi ayirmasi holida topish mumkinligi kelib chiqadi. Chastotani bunday usulda ifodalash **kombinatsion prinsip** deb ataladi.

Kombinatsion prinsipga boshqacha ta'rif ham berish mumkin: *bitta seriyaning ikkita spektral chizig'ining chastotasi ma'lum bo'lsa, u holda ularning ayirmasi shu atomga tegishli boshqa seriyaning biror spektral chizig'ining chastotasi bo'ladi.* Masalan, Layman seriyasining  $\nu_1 = T(1) - T(2)$  va  $\nu_2 = T(1) - T(3)$  ikki spektral chiziqlarining chastotasi berilgan bo'lsin, u holda  $\nu_2 - \nu_1 = [T(1) - T(3)] - [T(1) - T(2)] = T(2) - T(3)$  ayirma Balmer seriyasidagi birinchi chiziqning chastotasi bo'ladi.

Kombinatsion prinsip sof empirik yo'l bilan kashf qilingan. Bu prinsipning chuqur ma'nosi Borning kvant postulatlarini ta'riflangandan keyingina ochildi.

Energetik sathlar tushunchasidan foydalanib, kombinatsion prinsipning fizik ma'nosini quyidagicha tushuntirish mumkin.

Spektral termlar orqali nurlanish chastotasining ifodasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\nu_{m,n} = T(m) - T(n). \quad (146)$$

Borning ikkinchi postulatiga ko'ra bu chastota quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$\nu_{m,n} = \frac{W_m - W_n}{h} = \frac{W_m}{h} - \frac{W_n}{h}. \quad (147)$$

(146) va (147) formulalarni taqqoslab, spektral term:

$$T(m) = \frac{W_m}{h} \text{ yoki } T(n) = \frac{W_n}{h}$$



$$\nu_{m,n} = \frac{m_0 e^4}{8 \varepsilon_0^2 h^3} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$

Vodorod atomi spektral chiziqlari seriyalarining empirik formulasi (Balmerning umumlashgan formulasi)ga ko'ra nurlanish chastotalari quyidagi qonunga bo'ysunadi [(144) formula].

$$\nu_{m,n} = R \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$

Bu ikki formulani taqqoslansa, Ridberg doimiysi uchun quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$R = \frac{m_0 e^4}{8 \cdot \varepsilon_0^2 \cdot h^3}. \quad (148)$$

Bu ifodaga kiruvchi doimiy kattaliklarning qiymatlarini qo'yib chiqsak, Ridberg doimiysining eksperimental aniqlangan qiymati bilan teng bo'lgan miqdor kelib chiqadi. Bundan Bor nazariyasi eksperiment bilan miqdoriy jihatdan mos tushishini ko'ramiz.

Bor nazariyasi vodorod atomiga qo'llanganda eng katta muvaffaqiyatga erishildi, uning yordamida vodorod atomi (shuningdek, vodorodsimon atomlar deb nom olgan, atigi bitta elektroni bo'lgan ionlar) spektral chiziqlarining to'lqin uzunligini hisoblash nazariyasini yaratish mumkin bo'ldi.

Biroq vodorod atomidan keyingi o'rinda turgan atomlar (ular ko'p elektronli atomlar deyiladi) uchun Bor postulatlar yordamida miqdoriy nazariya yaratib bo'lmasligi ma'lum bo'ladi. Bu atomlar uchun Bor nazariyasi faqat sifat jihatidagina xulosa chiqarishga imkon beradi. Bundan tashqari Bor nazariyasi atom chiqarayotgan yorug'likning intensivligi haqida ham hech qanday ma'lumot bermaydi. Bunga Bor nazariyasining mukammal emasligi, uning ichki ziddiyatlarga ega ekanligi sababdir.

Shunga qaramay, Bor nazariyasi fizikaning rivojlanishida g'oyat muhim rol o'ynadi. Bu nazariya vodorod atomi tuzilishini va vodorod spektrining murakkab tuzilishini miqdor jihatdan tushuntirib, atom ichidagi jarayonlarni o'rganishga to'g'ri yondashish yo'lini belgilab berdi. Bu nazariyani yanada takomillashtirish atomlar va molekulalarning xossalari hamda tuzilishining hamma xususiyatlarini miqdor jihatdan tushuntiruvchi hozirgi zamon **kvant**

**mexanikasini** yaratish bilan tugallandi. Binobarin, klassik mexanika-ga asoslangan Bor nazariyasi kvant mexanikasini yaratish yo‘lidagi o‘tish bosqichi bo‘lib hisoblanishi mumkin.

### **Takrorlash uchun savollar**

1. *Atom tuzilishi haqidagi dunyoqarashning rivojlanishi haqida nimalarni bilasiz?*
2. *Qanday fizik hodisalar atomlarning murakkab tuzilishga ega ekanligini ko‘rsatadi?*
3. *Tomsonning atom modelini va uning kamchiliklarini tushuntiring.*
4. *Rezerford tajribasida qanday zarralar oqimidan foydalanilgan? Xarakteristikalarini ayting.*
5. *Rezerford tajribasi asosida qanday g‘oya yotadi?*
6. *Rezerford tajribasini tushuntiring.*
7. *Zarralarning elastik va noelastik to‘qnashishlari bir-biridan qanday farqlanadi?*
8. *Rezerford formulasini yozing va tushuntiring. Bu formulaning qanday ahamiyati bor?*
9. *Atomning planetar modelini tushuntiring. Bu model bilan klassik elektrodinamika orasidagi ziddiyat nimadan iborat?*
10. *Bor postulatlarini ta’riflang. Bor postulatlari klassik fizikaning qaysi qonun-qoidalariga zid?*
11. *Energetik sathlar tushunchasi nimani bildiradi? Energetik sathlar diagrammasini tasvirlang.*
12. *Atomning normal holati, uyg‘otilgan holati deganda nimani tushunasiz?*
13. *Atomning nurlanishi va nur yutishini energetik sathlardan foydalanib tasvirlang.*
14. *Atomning statsionar holatdagi energiyasi qanday energiyalardan tashkil topgan?*
15. *Vodorod atomi uchun Bor nazariyasini tushuntiring. Statsionar holat energiyasi va statsionar orbita radiusi formulalarini yozing va tushuntiring.*
16. *Bor nazariyasiga ko‘ra vodorod atomining nurlanish chastotasi qanday formula yordamida aniqlanadi?*
17. *Vodorod atomi spektral qonuniyatlarini tushuntiring. Energetik sathlar diagrammasi vositasida spektral seriyalarning qanday hosil bo‘lishini tasvirlang.*
18. *Spektral term deganda nimani tushunasiz? Uning mazmuni nimadan iborat?*
19. *Vodorod atomi spektral chiziqlari chastotasi spektral termlar orqali qanday ifodalanadi?*
20. *Kombinatsion prinsip nima?*
21. *Ridberg doimiysi fundamental fizik doimiylar orqali qanday ifodalanadi? Uning son qiymatini hisoblang.*

22. Bor nazariyasining qanday yutuqlari mavjud?

23. Bor nazariyasining kamchiliklari nimalardan iborat?

### Masala yechish namunalari

**1- masala.** Vodorod atomida elektronning uchinchi orbitadan birinchi orbitaga o'tganida chiqargan foton energiyasini toping.

*Berilgan:*  $n=1$ ;  $m=3$ ;  $m_e=9,1 \cdot 10^{-31}$  kg;  $e=1,6 \cdot 10^{-19}$  C;

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2}; \quad h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}.$$

*Topish kerak:*  $\epsilon = h\nu$ —?

*Yechilishi.* Borning ikkinchi postulatiga muvofiq elektronning uchinchi elektron qobiqdan birinchi elektron qobiqqa o'tishida chiqargan foton energiyasini 139- formuladan foydalanib hisoblaymiz:

$$\epsilon = h\nu = \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$

*Hisoblash:*

$$\epsilon = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})^4}{8 \left( 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2} \right)^2 (6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})^2} \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2} \right) = 1,9 \cdot 10^{-18} \text{ J}.$$

**2- masala.** Vodorod atomining ionlashish potensialini aniqlang.

*Berilgan:*  $n=1$ ;  $m=\infty$ ;  $m_e=9,1 \cdot 10^{-31}$  kg;  $e=1,6 \cdot 10^{-19}$  C;  $h=6,62 \cdot 10^{-34}$  J·s.

*Topish kerak:*  $U_i$ —?

*Yechilishi.* Atomning ionlanish potensialini  $eU_i = A_i$  tenglama bilan aniqlanadi, bundagi  $A_i$  elektronni normal ( $n=1$ ) elektron qobiqdan cheksizlikdagi ( $m=\infty$ ) elektron qobiqqa chiqarish uchun sarflangan ish. Vodorod atomi uchun Bor nazariyasiga muvofiq:

$$A_i = h\nu = \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$

U holda ionlanish potensialini:

$$U_i = \frac{A_i}{e} = \frac{m_e e^3}{8 \epsilon_0^2 h^2 n^2} \text{ bo'ladi, chunki } \frac{1}{m^2} = 0.$$

*Hisoblash:*

$$U_i = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})^3}{8(8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \text{ m}^{-2})^2 \cdot (6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})^2 \cdot 1^2} = 13,6 \text{ V}.$$

**3- masala.** Vodorod atomi to'liqin uzunligi 4340Å bo'lgan yorug'likni nurlaganida elektron qaysi elektron qobiqdan ikkinchi elektron qobiqqa o'tadi?

*Berilgan:*  $\lambda = 4340 \text{ Å} = 4,34 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ ;  $n=2$ ;

$R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$ ;  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ .

*Topish kerak:*  $m=?$

*Yechilishi.* Elektronning bir elektron qobiq (yuqori energetik sath) dan ikkinchi elektron qobiqqa (quyi energetik sathga) o'tganida chiqaradigan yorug'lik chastotasini aniqlashda Balmer formulasidan foydalanamiz:

$$\nu = R \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$

Biroq  $\nu = \frac{c}{\lambda}$ , shuning uchun quyidagi ifodani yozish mumkin:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{R}{c} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$

Bu formuladan  $m$  ni topamiz:

$$\frac{1}{m^2} = \frac{1}{n^2} - \frac{c}{\lambda R}, \text{ bundan } m = \left( \sqrt{\frac{1}{n^2} - \frac{c}{\lambda R}} \right)^{-1}.$$

*Hisoblash:*

$$m = \left( \sqrt{\frac{1}{2^2} - \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{4,34 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot 3,29 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}}} \right)^{-1} = 5.$$

### Mustaqil yechish uchun masalalar

**133.** Atomning (yadro+elektronlar) tuzilishi quyosh sistema-sining (Quyosh+sayyoralar) tuzilishini eslatadi. Ularning orasidagi farq nimada?

**134.** Elektron atomning bir elektron qobig'idan ikkinchi elektron qobig'iga o'tganida chiqargan foton energiyasi  $3,37 \cdot 10^{-19}$  J ga teng. Chiqarilgan yorug'likning to'lqin uzunligini aniqlang.

**135.** Birinchi Bor orbitasining radiusini aniqlang.

**136.** Vodorod atomi birinchi ikkita Bor orbitasida harakatlanayotgan elektronning tezligini toping.

**137.** Normal holatda bo'lgan vodorod atomining yadrosi va elektroni orasida ta'sir qiluvchi kulon tortishish kuchi va gravitatsiya kuchini hisoblab toping.

**138.** Vodorod atomining dastlabki uyg'onish potensialini aniqlang.

**139.** Vodorod atomining ikkinchi elektron qobig'idagi elektronning to'liq energiyasini hisoblang.

**140.** Vodorod atomlari elektronlar zarbidan uyg'otilishida vodorod spektri faqat bitta spektral chiziqqa ega bo'lishi uchun bombardimon qiluvchi elektronlarning energiyasi qanday chegarada bo'lishi kerak?

**141.** Normal holatda turgan atom bilan uyg'otilgan holatda turgan atom orasidagi farq nimada?

**142.** Vodorod atomi spektrining ko'rinadigan sohasidagi uchinchi spektral chizig'iga mos keluvchi to'lqin uzunligini aniqlang.

**143.** Vodorod atomi nurlanish spektrining ko'rinadigan sohasidagi spektral chiziqlarning eng katta va eng kichik to'lqin uzunliklarini toping.

**144.** Layman seriyasidagi to'lqinning minimal uzunligini aniqlang.

**145.** Vodorod atomi 12,5 eV energiyali elektronlar bilan uyg'otilganda qanday spektral chiziqlar hosil bo'ladi?

## **83- §. Moddalarning to'lqin xususiyatlari.**

### **Lui de-Broyl gipotezasi**

Bor nazariyasining kamchiliklari atomda elektron makroskopik jismlar bilan o'tkazilgan tajribalar asosida aniqlangan klassik mexanika va elektrodinamika qonunlaridan farqlanuvchi boshqa qonunlar bo'yicha harakatlanishini ko'rsatadi. Nisbiylik nazariyasidagi kabi bu qonunlarni makrojismlarga tatbiq qilinganda klassik mexanika qonunlariga aylanishi kerak. Bunday ***moslik prinsipi*** atom tuzilishi muammolarini hal etishdagi ko'p urinishlarga sabab bo'ldi. Bu sohada fransuz fizik-nazariyotchisi Lui de-Broyl to'g'ri yo'ldan bordi.

Yorug'lik tabiati haqidagi bilimning rivojlanishi shuni ko'rsatadiki, optik hodisalarda o'ziga xos dualizm mavjuddir, ya'ni yorug'lik ham to'lqin, ham korpuskulyar xossalarga ega (74- § ga qarang).

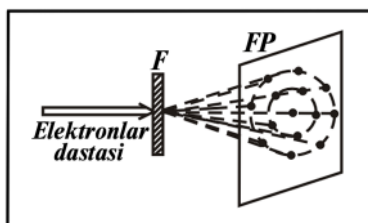
1924- yilda Lui de-Broyl bunday dualizm faqat optik hodisalarning spesifik xossalari bo'lmay, balki universal ma'noga egadir, degan gipotezani ilgari suradi. Uning gipotezasiga ko'ra modda zarralari ham xuddi yorug'lik kabi ikkilanma xossaga ega va **harakatlanayotgan har qanday zarraga**

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p} \quad (149)$$

**to'liqin uzunligi mos keladi**, bunda:  $p=mv$  — harakatlanayotgan zarraning impulsi. (149) formula bilan aniqlanadigan to'liqlarni **de-Broyl to'liqlari** deb ataladi. De-Broyl gipotezasi faqat nazariy xarakterga ega. Ushbu gipotezani isbotlash yoki inkor etish uchun tajriba natijalari lozim edi.

De-Broyl to'liqin uzunligi juda kichik. Tegishli hisoblashlarning ko'rsatishicha, masalan, elektron hatto yorug'lik tezligiga yaqin tezlik bilan harakatlanganda ham de-Broyl to'liqin uzunligi  $10^{-10}$  m tartibida ekan. Bundan davri  $10^{-10}$  m tartibida bo'lgan difraksion panjaraga elektronlar oqimining dastasi yuborilsa, elektronlarning ularning to'liqin xossalari namoyon qiluvchi difraksiyalanishi kuzatilishi kerak. Bunday difraksion panjara sifatida fazoviy kristall panjaradan foydalanish mumkin, chunki kristall atomlari orasidagi masofa (kristall panjara davri) ham  $10^{-10}$  m tartibidadir.

1927- yilda amerikalik tadqiqotchilar K. Devisson va L. Jermer shu usuldan foydalanib, nikel monokristallida elektronlarning sochilishini o'rgandilar. Sochilgan elektronlar o'zlarini xuddi to'liqin kabi tutdilar va difraksion manzara kabi manzarani hosil qildilar. Elektronlar difraksiyasi katta tezlikka ega bo'lgan elektronlarning yupqa metall plastinka — folgadan o'tgandan so'ng ham hosil bo'lishini bir-biridan mutlaqo bexabar J.P. Tomson va P.S. Tartakovskiylar kuzatishgan. Ular tajribasining sxemasi 195-rasmda keltirilgan.



195- rasm.

Potensiallar ayirmasi bir necha o'n kV bo'lgan elektr maydonida tezlatilgan elektronlar dastasi  $F$  folgadan o'tib,  $FP$  fotoplastinkaga tushadi. Elektronlar fotoplastinkaga kelib urilganda ularga yorug'lik ta'siri kabi ta'sir ko'rsatadi. Plastinka ochiltirilganda ularning o'rni difraksion manzarani eslatadi. Shu difraksion manzara uchun hisoblangan to'liq uzunligi (149) formula bo'yicha hisoblangan de-Broyl to'liq uzunligiga mos keladi. Ushbu natija Lui de-Broyl gipotezasi to'g'ri ekanligining isbotidir.

Keyinroq neytronlar, atomlar, molekulalar va boshqa mikrozarralarning difraksiyasi ham eksperimental kuzatilgan hamda o'rganilgan. Shu bilan mikrozarralarning to'liq xossalari mavjud ekanligi batamom tasdiqlangan.

Umuman, de-Broyl to'liqlari harakatdagi har qanday zarralar, jumladan, makroskopik jismlarga ham xosdir. Biroq  $h$  Plank doimiysi juda kichik bo'lgani uchun katta massali jismlarda to'liq xossalar shunchalik kichik bo'ladiki, ularni mutlaqo sezish mumkin emas.

Masalan, massasi  $m=10^{-3}$  kg va  $v = 10^2 \frac{m}{s}$  tezlik bilan uchayotgan o'q uchun de-Broyl to'liqining uzunligi quyidagiga teng:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{10^{-3} \text{ kg} \cdot 10^2 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \approx 6,625 \cdot 10^{-33} \text{ m}.$$

Amalda bunday uzunlikni o'lchab bo'lmaydi. Binobarin, makroskopik jismlarning to'liq xossalarini hisobga olmasa ham bo'ladi.

Shunday qilib, de-Broyl gipotezasi va bu gipotezaning to'g'riligini tasdiqlovchi ko'pgina tajribalardan kelib chiqadiki, tayinli tezlik hamda tayinli yo'nalishga ega bo'lgan mikrozarralar dastasi yassi to'liqlar beradigan interferensiyon va difraksion manzaraga o'xshash manzarani hosil qiladi. Shuni qayd qilish lozimki, de-Broyl to'liqlari elektromagnit to'liqlar emas (bu hol eksperimentda aniqlangan). Haqiqatan ham, elektromagnit to'liqlar fazoda o'zgaruvchan elektromagnit maydonning tarqalish jarayonidan iborat (4- § ga qarang). De-Broyl to'liqlari esa fazoda tarqaluvchi biror-bir elektromagnit maydon bilan bog'liq emas. Shuningdek, klassik fizikada ma'lum bo'lgan boshqa tabiatli to'liqlar bilan ham bog'liq emas.

***Modda zarralarining harakati bilan bog'liq bo'lgan de-Broyl to'liqlari klassik fizikada o'xshashi yo'q kvant tabiatga ega to'liqlardir.***

## 84- §. Geyzenbergning noaniqlik munosabatlari

Mikrozarralarning to‘lqin xossalari ularga koordinata va impuls tushunchalarini klassik ma’noda qo‘llash imkoniyatini cheklaydi. Klassik fizikada ham ma’lum obyektlarga ba’zi tushunchalarni qo‘llashning chegaralari mavjud. Masalan, bitta molekula uchun temperatura tushunchasi ma’noga ega emas, fazoda to‘lqinning vaziyatini aniqlash uchun nuqtaviy lokalizatsiya (bir nuqtada turish) tushunchasini qo‘llash mumkin emas, chunki to‘lqin hamma vaqt harakatda bo‘ladi.

Ammo klassik fizikada zarra koordinatasining muayyan qiymatiga uning tezligi va impulsining aniq qiymatlari mos keladi. Mikrozarralar xossalari korpuskulyar-to‘lqin dualizmi sababli kvant mexanikada mikrozarralar aniq bir trayektoriya bo‘yicha harakatlanadi, deyish qat’iy emas. Lekin bunday tasdiq qator hollarda tajribalarda olingan dalillarga zid bo‘lganday tuyuladi. Masalan, elementar zarralarni qayd etishda Vilson kamerasida zarralarning harakat yo‘li tuman tomchilari hosil qilgan ingichka iz (trek) shaklida namoyon bo‘ladi.

Elektron nur trubkadagi elektronlarning harakatini klassik fizika qonunlari asosida aniq hisoblab topish mumkin va hokazo. Bunday qarama-qarshilik shu bilan tushuntiriladiki, trayektoriya va aniq o‘rin tutish tushunchasini zarralarga qo‘llash mumkin ekan, lekin aniqlik ma’lum darajagacha taqribiy bo‘ladi.

Zarralarning fazodan aniq o‘rin olish tushunchasini ularga qo‘llash mumkinligining aniqlik darajasi 1927- yilda nemis fizik nazariyotchisi V. Geyzenberg aniqlagan **noaniqlik munosabati** orqali beriladi. Bu munosabatga asosan zarra bir vaqtning o‘zida aniq qiymatlarga ega bo‘la olmaydi. Masalan, zarraning  $x$  koordinatasi va shu koordinataga mos keluvchi impulsning  $p_x$  tashkil etuvchisini bir vaqtda bir xil aniqlikda o‘lchab bo‘lmaydi. Bu kattaliklarning qiymatlari orasidagi noaniqliklar quyidagi shartni qanoatlantiradi:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{h}{2\pi}. \quad (150)$$

Xuddi shu kabi boshqa koordinatalar uchun ham quyidagi munosabatlar o‘rinli bo‘ladi:

$$\Delta y \cdot \Delta p_y \geq \frac{h}{2\pi}; \quad \Delta z \cdot \Delta p_z \geq \frac{h}{2\pi}, \quad (151)$$

bunda:  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  va  $\Delta z$  — de-Broyl to‘lqinlari bilan tavsiflanuvchi zarra koordinatalarini aniqlashdagi noaniqliklar,  $\Delta p_x$ ,  $\Delta p_y$  va  $\Delta p_z$  esa mos ravishda impuls noaniqliklari.

Jism impulsi  $p = mv$  ifodasidan  $\Delta p = m \cdot \Delta v$  bo‘ladi. Shuning uchun quyidagilarni yozish mumkin:

$$\Delta x \cdot \Delta v_x \geq \frac{h}{2\pi m}; \quad \Delta y \cdot \Delta v_y \geq \frac{h}{2\pi m}; \quad \Delta z \cdot \Delta v_z \geq \frac{h}{2\pi m}, \quad (152)$$

bunda  $\Delta v_x$ ,  $\Delta v_y$  va  $\Delta v_z$  — tezlik noaniqliklari. (150), (151) va (152) munosabatlarni **Geyzenbergning noaniqlik munosabatlari** deb ataladi.

Bu ifodalardan ko‘rinadiki, zarraning koordinatasi qanchalik aniq aniqlansa (ya‘ni,  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  va  $\Delta z$  lar qancha kichik bo‘lsa), ayni paytda impuls (yoki tezlik) proyeksiyasini aniqlash aniqligi shunchalik kam bo‘ladi (ya‘ni,  $\Delta p_x$ ,  $\Delta p_y$ ,  $\Delta p_z$  yoki  $\Delta v_x$ ,  $\Delta v_y$ ,  $\Delta v_z$  lar shuncha katta bo‘ladi) yoki aksincha. Agar zarraning  $x$  o‘qidagi vaziyati aniq o‘lchangan va  $\Delta x=0$  bo‘lsa, u holda  $\Delta p_x=\infty$  va  $p_x$  mutlaqo noaniq bo‘ladi; yoki  $p_x$  aniq o‘lchangan va  $\Delta p_x=0$  bo‘lsa, u holda  $x$  (ya‘ni, zarraning vaziyati) mutlaqo noaniq bo‘ladi.

Shuni qayd etish kerakki, zarraning koordinatasi va tezligi (yoki boshqa parametrlar)ni bir vaqtda aniq aniqlashning mumkin emasligi o‘lchov asboblari va o‘lchash usullarining mukammal emasligining natijasi emas, balki zarralarning obyektiv xossalari, ularning ikkilanma korpuskulyar-to‘lqin tabiatini aks ettiruvchi prinsipial imkoniyatsizlikdir.

## 85- §. Kvant mexanika haqida tushuncha

Ma‘lumki, klassik mexanikaga asosan har bir zarra aniq trayektoriya bo‘yicha harakatlanadi va zarralar oqimida hech qanday to‘lqin jarayon ro‘y bermaydi. Ammo 83- § da ko‘rib o‘tganimizdek, tajribalar zarralarning to‘lqin xususiyatlari mavjudligini ko‘rsatadi. Shuning uchun ularning tabiatini klassik mexanika to‘g‘ri tavsiflay olmaydi. Zarralarning hamma xususiyatlarini aks ettiradigan nazariya ularning to‘lqin xususiyatlarini ham hisobga olishi kerak. Bunday nazariya E. Shredinger, V. Geyzenberg, P. Dirak va boshqa olimlar tomonidan 1926- yilda yaratilgan **kvant mexanika** (uni **to‘lqin mexanika** deb ham yuritiladi) hisoblanadi.

Kvant mexanikada atomlar, molekulalar va ularning kollektivi, xususan, kristallar, shuningdek, atom yadrolari va elementar zarralar fizikasi o‘rganiladi. Bunda o‘rganiladigan mikrodunyo obyektlarining

o'lchami  $10^{-8} \div 10^{-15}$  m tartibida. Agar zarralar  $v \ll c$  tezlik bilan harakatlanayotgan bo'lsa, bunda  $c$  — yorug'likning vakuumdagi tezligi, u holda **norelativistik kvant mexanika** qo'llaniladi: agar  $v < c$  bo'lsa, u holda **relyativistik kvant mexanika** qo'llaniladi.

Kvant mexanika asosida atomlar energiyasi o'zgarishining diskret xarakteri haqidagi Plank, fotonlar haqidagi Eynshteyn tasavvurlari, ma'lum sharoitlarda mikroduyo zarralarining holatini xarakterlovchi ba'zi fizik kattaliklar (masalan, impuls va energiya)ning kvantlanganligi haqidagi ma'lumotlar yotadi.

Kvant mexanikada eng muhim g'oya shundan iboratki, yorug'lik uchun o'rnatilgan xossalarning korpuskulyar-to'lqin ikkilanmaligi universal xarakterga ega ekanligidir. Bu ikkilanmalik impulsiga ega istalgan zarralarda namoyon bo'ladi, ularning harakati qandaydir to'lqin jarayon bilan birga sodir bo'ladi.

Kvant mexanikada fazoda vaqtning berilgan momentida zarra-ning holati **to'lqin funksiya** yoki **psi-funksiya** deb ataluvchi va  $\psi$  harfi bilan belgilanuvchi funksiya orqali tavsiflanadi. Bu funksiya koordinatalar va vaqtning funksiyasi hisoblanib, 1926- yilda Shredinger taklif etgan va uning nomi bilan **Shredinger tenglamasi** deb ataladigan tenglamaning yechimidan iboratdir.

Klassik mexanika asosida yotuvchi Nyuton harakat tenglamalari keltirib chiqarilmagani kabi, Shredinger tenglamasi ham keltirib chiqarilmaydi va postulat sifatida qabul qilinadi. Shredinger tenglamasining to'g'riligi atom va yadro fizikasida bu tenglama yordamida olingan kvant mexanika xulosalarining tajriba natijalariga yaxshi mos kelishi bilan isbotlanadi.

To'lqin funksiya va bu funksiya bilan tavsiflanadigan zarra orasidagi munosabat yorug'lik to'lqini bilan foton orasidagi munosabatga o'xshaydi. To'lqin tasavvurga asosan, biror sirtning yoritilganligi yorug'lik to'lqini amplitudasining kvadratiga proporsionaldir. Korpuskulyar nuqtayi nazardan yoritilganlik fotonlar oqimining zichligiga proporsionaldir. Demak, yorug'lik to'lqini amplitudasining kvadrati bilan fotonlar oqimining zichligi orasida to'g'ri proporsionallik mavjud: **to'lqin amplitudasining kvadrati sirtning berilgan nuqtasiga fotonning kelib tushish ehtimolini aniqlaydi.**

Elementar zarralar uchun ham xudda shunday mulohaza yuritish mumkin: **fazoning biror nuqtasi uchun to'lqin funksiya modulining kvadrati fazoning shu nuqtasida zarraning bo'lish ehtimolligini aniqlaydi.**

To'liqin funksiya mikroobyektlar holatining asosiy xarakteristikasi hisoblanadi. Bu funksiya vositasida shu funksiya tavsiflaydigan holatda turuvchi mikroobyektni xarakterlovchi fizik kattaliklarning o'rtacha qiymatlari hisoblab topiladi.

Shunday qilib, kvant mexanika statistik xarakterga ega bo'lib, u zarralarning haqiqiy tabiatini ochib beradi. Kvant mexanika bo'yicha zarraning fazodagi o'rnini yoki zarraning harakat trayektoriyasini aniqlash mumkin emas, chunki aniq trayektoriya bo'yicha bo'lgan harakat bilan to'liqin xususiyatlarini hech qachon birgalikda qarab bo'lmaydi. Kvant mexanikaga ko'ra faqat zarraning fazoning turli nuqtalarida qanday ehtimollikda bo'lishini to'liqin funksiya yordamida oldindan aytib berish mumkin.

Shunday ekan, bu holda elektronning ma'lum tezlik bilan harakat qiladigan orbitasi to'g'risidagi tasavvur o'rinli bo'lmaydi, binobarin, atomda elektronni ma'lum trayektoriya bo'yicha harakatlanuvchi zarra deb tasavvur qilish qat'iy emas. Lekin shunga qaramay, elektronlarning atomda ma'lum orbitalar bo'yicha harakatlanishi haqidagi faraziyadan ma'lum darajada foydalanish mumkin. Ko'p hollarda bu faraziya taxminan to'g'ri natijalarga olib keladi.

Kvant mexanikada atomdagi elektron orbitasi deganda, elektronlarning eng katta ehtimollik bilan bo'lishi mumkin bo'lgan nuqtalarning geometrik o'rnini tushuniladi. Xususan, normal holatdagi vodorod atomi uchun radiusi (136) formula bilan aniqlanadigan birinchi doiraviy Bor orbitasi shunday orbitadan iboratdir.

## **86- §. Atom sistemasini xarakterlovchi kvant sonlar. Spin**

Kvant mexanikaga asosan atomda elektronning harakati to'rtta kvant soni bilan xarakterlanadi. Ushbu kvant sonlari bilan tanishib chiqaylik.

1. **Bosh kvant soni**  $n$  atomning statsionar holat energiyasini xarakterlaydi va  $n=1,2,3, \dots$  butun sonlarni qabul qiladi. Vodorod atomining statsionar holatlari energiyalarining qiymati [(138) formulaga qarang:

$$W_n = -\frac{m_0 e^4}{8 \varepsilon_0 h^2} \cdot \frac{1}{n^2}$$

formuladan aniqlanadi. Yadroning kulon maydonidagi elektron uchun Shredinger tenglamasining yechimi ham shunday natijani beradi. Formuladan ko‘rinadiki,  $W_n$  energiya  $n^2$  ga teskari proporsional bo‘lib, uning o‘zgarishi bilan diskret qiymatlarni oladi, ya’ni atomning statsionar holat energiyasi kvantlangandir.

2. **Orbital kvant soni  $l$**  elektronning atomdagi orbital impuls momentini aniqlaydi. Elektron orbita bo‘yicha harakatlanganda impuls momentiga ega bo‘ladi. Bu momentni **orbital impuls momenti** deyiladi. Kvant mexanikada ko‘rsatilishicha, elektronning orbital impuls momenti kvantlangan bo‘lib, quyidagi formula bo‘yicha ifodalanadi:

$$p_l = \sqrt{l(l+1)} \cdot \frac{h}{2\pi}, \quad (153)$$

bunda:  $h$  — Plank doimiysi. Orbital kvant soni  $l=0,1,2,3, \dots, (n-1)$  qiymatlarni, hammasi bo‘lib  $n$  ta qiymatni qabul qiladi, bunda  $n$  — bosh kvant soni.

Atomda elektronning orbita bo‘ylab harakati biror tokli berk konturga ekvivalentdir. Shu sababli elektron  $p_l$  orbital impuls momentidan tashqari orbital magnit momentiga ham ega bo‘ladi. Orbital magnit momenti orbital impuls momentiga to‘g‘ri proporsional bo‘ladi:

$$\mu = -\frac{e}{2m_0} \cdot p_l = -\frac{e}{2m_0} \cdot \sqrt{l(l+1)} \cdot \frac{h}{2\pi}, \quad (154)$$

bunda:  $e$  — elementar (elektron) zaryad;  $m_0$  — elektronning massasi. (154) formuladagi minus ishora  $p_l$  impuls momenti bilan  $\mu$  magnit momenti qarama-qarshi yo‘nalganligini bildiradi.

3. **Magnit kvant soni  $m_l$** . Kvant mexanikada elektronning orbital mexanik va magnit momentlarining fazoda ma’lum fizik yo‘nalishga bo‘lgan proyeksiyasi ham katta ahamiyatga ega. Fizik yo‘nalish deganda, atom turgan tashqi magnit maydon yo‘nalishi yoki atomdagi barcha elektronlar (ko‘rilayotgan elektrondan tashqari)ning hosil qilgan ichki magnit maydon yo‘nalishi tushuniladi va, odatda, bu yo‘nalish  $z$  harfi bilan belgilanadi. Kvant mexanikada ko‘rsatilishicha, elektronning orbital impuls momentining  $z$  yo‘nalishga bo‘lgan proyeksiyasi:

$$p_{lz} = m_l \cdot \frac{h}{2\pi}, \quad (155)$$

magnit momentining proyeksiyasi esa quyidagi ifodalardan aniq-lanadi:

$$\mu_z = -\frac{e}{2m_0} \cdot p_z = -\frac{eh}{4\pi m_0} \cdot m_l. \quad (156)$$

Magnat kvant soni  $m_l = -l, \dots, -l, 0, +l, \dots, +l$  qiymatlarni, hammasi bo'lib  $(2l+1)$  ta qiymatni qabul qiladi.

4. **Spin kvant soni  $m_s$ .** Atomda elektron orbital mexanik va magnit momentlardan tashqari xususiy impuls momenti va xususiy magnit momentiga ham ega. Elektronning xususiy impuls momenti **elektron spini** deb ataladi. Elektron va boshqa elementar zarralarning spini ularning qandaydir bir alohida xossasi bo'lib, ular (zarralar) massaga, zaryadga ega bo'lganidek, spinga ham ega deb qarash kerak.

Kvant mexanika elektronning xususiy impuls momenti uchun:

$$p_s = \sqrt{s(s+1)} \cdot \frac{h}{2\pi}, \quad (157)$$

xususiy magnit momenti uchun quyidagi ifodalarni beradi:

$$\mu_s = -\frac{e}{m_0} \cdot p_s = -\frac{eh}{2\pi m_0} \cdot \sqrt{s(s+1)}, \quad (158)$$

bunda  $s$  kvant soni faqat bitta qiymatni qabul qiladi, ya'ni  $s = \frac{1}{2}$ ,

Elektron spinining  $z$  yo'nalishga bo'lgan proyeksiyasi:

$$p_{sz} = m_s \cdot \frac{h}{2\pi}, \quad (159)$$

xususiy magnit momentining proyeksiyasi esa quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$\mu_{sz} = -\frac{e}{m_0} \cdot p_{sz} = -\frac{eh}{2\pi m_0} \cdot m_s \quad (160)$$

bunda  $m_s$  spin kvant soni faqat ikkita qaymatni, ya'ni  $+\frac{1}{2}$  ba  $-\frac{1}{2}$  qiymatlarni qabul qiladi.

(153) ÷ (160) formulalardan ko'rinadiki, atomdagi elektronning orbital va xususiy momentlari kvantlangan ekan.

Atomning orbital impuls momenti atom tarkibidagi barcha elektronlarning orbital impuls momentlarining vektor yig'indisiga teng bo'ladi. Yadro va valentlik elektronidan tashqari atomdagi

barcha elektronlar **atom qoldig'i** deb ataladi. Ishqoriy metallar (masalan, *Na* — natriy, *K* — kaliy) ionlarining optik spektrini tekshirish atom qoldig'i impulsining momenti nolga tengligini ko'rsatadi. Demak, ishqoriy metallar atomining momenti uning valentlik elektronining momentiga teng bo'ladi. Shuningdek, ishqoriy metallar spektrini o'rganish vodorod atomi spektri bilan ishqoriy metallar spektrining bir-biriga o'xshashligini ko'rsatadi. Bundan ishqoriy metallarning spektrlari eng tashqi, valentlik elektronining bir energetik sathdan ikkinchisiga o'tishidan hosil bo'ladi, deyish mumkin. Shuning uchun elementning valentlik elektronini **optikaviy elektron** deb ataladi.

### **87- §. Pauli prinsipi. Mendeleyevning kimyoviy elementlar davriy sistemasining fizikaviy tushuntirilishi**

Atomdagi har bir elektronning holati to'rtta — bosh, orbital, magnit va spin kvant sonlari bilan xarakterlanishini ko'rdik (86- § ga qarang).

$n$  bosh kvant soni bir xil bo'lgan elektronlar to'plami **elektronlar qobig'i** deb ataladi,  $n$  va  $l$  kvant sonlari bir xil bo'lgan elektronlar **qobiqchani** tashkil etadi. Elektron qobiqlar lotin alfavitining bosh harflari bilan belgilanadi:  $n=1$  bo'lganda *K* qobiq (yadroga eng yaqin qobiq),  $n=2$  bo'lganda *L* qobiq,  $n=3$  bo'lganda *M* qobiq,  $n=4$  bo'lganda *N* qobiq va hokazo.

Atom normal holatda bo'lganda elektronlar o'zlari uchun qulay eng quyi energetik sathlarda joylashishi kerak. Biroq tajribalar bunday emasligini ko'rsatadi. Kvant mexanikaga ko'ra atomda elektronlarning energetik sathlar bo'yicha taqsimlanishi **Pauli prinsipi (taqiqlash prinsipi)** ga bo'ysunadi. Pauli prinsipiga binoan, *atomda to'rttala  $n$ ,  $l$ ,  $m_l$  va  $m_s$  kvant sonlari bir xil bo'lgan ikkita yoki undan ortiq elektron bo'lishi mumkin emas*. Bu prinsip elektron qobiqdagi elektronlar sonini cheklaydi. Tegishli hisoblashlarning ko'rsatishicha, har bir elektron qobiqdagi elektronlarning maksimal soni  $2n^2$  ga teng ekan. Jumladan:

$n=1$ , *K* qobiqda  $2n^2=2\cdot 1^2=2$  ta elektron,

$n=2$ , *L* qobiqda  $2n^2=2\cdot 2^2=8$  ta elektron,

$n=3$ , *M* qobiqda  $2n^2=2\cdot 3^2=18$  ta elektron,

$n=4$ , *N* qobiqda  $2n^2=2\cdot 4^2=32$  ta elektron

va hokazo joylashishi mumkin.

Rus olimi D.I. Mendeleyev 1869- yilda kimyoviy elementlarning fizik-kimyoviy xossalarini o'rganib, elementlarning davriy sistemasini yaratdi. Mendeleyev agar kimyoviy elementlarni atom og'irligi bo'yicha ketma-ket joylashtirilsa, ularning fizik-kimyoviy xossalari davriy ravishda takrorlanishini ko'rsatdi. Hozirgi elementlar davriy sistemasida elementlar atom og'irligi tartibida emas, balki  $z$  zaryad soni tartibida joylashtirilgan. Ammo bu ikkala tartib deyarli bir-biriga mos keladi.

Elementlar atomlarining fizik-kimyoviy xossalaridagi davriylikni elektron qobiqlarning elektronlar bilan Pauli prinsipiga asosan to'ldirilishi orqali tushuntirish mumkin.

Ma'lumki, Mendeleyevning elementlar davriy sistemasi (muqovaning ichki sahifasidagi kimyoviy elementlar sistemasiga qarang) davrlar va guruhlariga ajratilgan. Gorizontaal yo'nalishda ketma-ket joylashgan elementlar davrni tashkil etadi, vertikal yo'nalishda (ustun bo'yicha) joylashgan elementlar guruhni tashkil etadi.

Uyg'otilmagan atomda elektronlar yadroga yaqin qobiqlarni to'ldiradi, bu atomning minimal energiyasiga mos keladi. 196-rasmda Mendeleyev sistemasining birinchi uchta davrini tashkil etuvchi kimyoviy elementlarning atomlaridagi elektron qobiqlarning elektronlar bilan to'ldirilishi sxematik tasvirlangan. Bu sxemadan faqat ko'rgazmalilik maqsadida foydalanilgan, bunda nuqtalar bilan elektronlar ko'rsatilgan, qobiqlar orasidagi nisbiy masofalar saqlanmagan.

Birinchi davr birinchi o'rinda turgan  $1\text{H}$  vodorod bilan boshlanadi.  $1\text{H}$  atomdagi bitta elektron  $K$  qobiqda ( $n=1$ ) joylashadi.  $1\text{H}$  dan keyin ikkinchi o'rinni  $2\text{He}$  geliy egallagan. Uning ikkita elektroni bor, ikkalasi ham  $K$  qobiqda joylashadi va uni to'lg'azadi. Binobarin, inert gaz  $2\text{He}$  geliy birinchi davrni tugallaydi. Uchinchi o'rinda joylashgan  $3\text{Li}$  litiy ikkinchi davrni boshlaydi, uning ikkita elekt-

|                |            | <i>Guruhlar</i> |               |               |               |              |              |               |               |
|----------------|------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| <i>Davrlar</i> |            | <i>I</i>        | <i>II</i>     | <i>III</i>    | <i>IV</i>     | <i>V</i>     | <i>VI</i>    | <i>VII</i>    | <i>VIII</i>   |
|                | <i>I</i>   | $1\text{H}$     |               |               |               |              |              |               | $2\text{He}$  |
|                | <i>II</i>  | $3\text{Li}$    | $4\text{Be}$  | $5\text{B}$   | $6\text{C}$   | $7\text{N}$  | $8\text{O}$  | $9\text{F}$   | $10\text{Ne}$ |
|                | <i>III</i> | $11\text{Na}$   | $12\text{Mg}$ | $13\text{Al}$ | $14\text{Si}$ | $15\text{P}$ | $16\text{S}$ | $17\text{Cl}$ | $18\text{Ar}$ |

196- rasm.

roni  $K$  qobiqda joylashadi, uchinchi elektroni esa  $L$  qobiqni ( $n=2$ ) ochadi, chunki Pauli prinsipiga ko'ra u  $K$  qobiqda joylasha olmaydi.

O'zida hammasi bo'lib 8 elementni saqlaydigan ikkinchi davr va  $L$  qobiq inert gaz  $_{10}\text{Ne}$  neon bilan tugallanadi. O'n birinchi o'rinni egallagan  $_{11}\text{Na}$  natriyning 11 ta elektronidan 2 tasi  $K$  qobiqda, 8 tasi  $L$  qobiqda joylashadi; qolgan o'n birinchi elektron esa  $M$  qobiqni ( $n=3$ ) ochadi, demak uchinchi davr boshlanadi.

Bu davr ham inert gaz  $_{18}\text{Ar}$  argon bilan tugallanadi. Lekin Pauli prinsipiga ko'ra  $M$  qobiq hali to'ldirilmagan. Shuning uchun o'n to'qqizinchi o'rindagi  $_{19}\text{K}$  kaliyning o'n to'qqizinchi elektroni ham shu  $M$  qobiqda joylashishi kerak edi, ammo bu elektron to'rtinchi  $N$  qobiq ( $n=4$ ) da joylashib, uni ochadi, binobarin,  $_{19}\text{K}$  kaliy elementi sistemaning to'rtinchi davrini boshlaydi.

Shu to'rtinchi davrdan boshlab elektronlarning qobiqlar bo'yicha ideal taqsimlanishi buziladi, Pauli prinsipidan chetlanishlar kuzatiladi. Bu holni ko'p elektronli atomlarda elektronlarning o'zaro ta'siri natijasi deb qarash lozim. Elektronlarning o'zaro ta'siri tufayli ular energetik jihatdan qulayroq (minimal energiyaga mos) bo'lgan holatlarda joylashishga harakat qiladi.

Shunday qilib, kimyoviy element atomidagi elektronlarning umumiy soni (demak, zaryad soni ham) elementning Mendeleyev davriy sistemasidagi tartib raqamiga, elektron qobiqlar soni element tegishli bo'lgan davr raqamiga, tashqi qobiqdagi elektronlar (valentlik elektronlari) soni element joylashgan guruh raqamiga teng ekan, degan xulosaga kelamiz.

### **Takrorlash uchun savollar**

1. *De-Broyl gipotezasining mazmuni nimadan iborat?*
2. *De-Broyl to'liqlari uzunligi qanday aniqlanadi?*
3. *De-Broyl gipotezasining to'g'riligini tasdiqlovchi qanday fizik tajribalarni bilasiz?*
4. *Nima uchun makrojislarning to'liq xossalari sezmaymiz?*
5. *Geyzenbergning noaniqlik munosabatlarini yozing va fizik mohiyatini tushuntiring.*
6. *Kvant mexanika nimani o'rganadi? Kvant mexanika asosida qanday ma'lumotlar yotadi?*
7. *To'liq funktsiya orqali nima tavsiflanadi? Bu funktsiya qanday tenglamaning yechimidan iborat?*
8. *To'liq amplitudasining kvadrati bilan to'liq funktsiya modulining kvadrati orasida qanday o'xshashlik bor?*
9. *Kvant mexanikada atomdagi elektron orbitasi deganda nima tushuniladi?*

10. Atomda elektronning holati qanday kvant sonlari bilan tavsiflanadi?  
Har bir kvant sonining fizik mohiyatini tushuntiring.
11. Fizik yo'nalish deganda nimani tushunasiz?
12. Atom qoldig'i nima? Optikaviy elektron-chi?
13. Pauli prinsipini ta'riflang.
14. Har bir elektron qobiqda eng ko'pi bilan nechta elektron bo'lishi mumkin?
15. Pauli prinsipi bilan kimyoviy elementlarning Mendeleyev davriy sistemasi orasida qanday moslik mavjud?
16. Nima uchun elementlar davriy sistemasining to'rtinchi davridan boshlab Pauli prinsipidan chetlanishlar kuzatiladi?

### Masala yechish namunalari

**1- masala.**  $\alpha$ -zarra kuchlanganligi  $20 \cdot 10^3 \frac{\text{A}}{\text{m}}$  bo'lgan bir jinsli magnit maydonda 0,83 sm radiusli aylana bo'yicha harakat qiladi. Shu  $\alpha$ -zarra uchun de-Broyl to'liqini uzunligini toping.

Berilgan:  $H = 20 \cdot 10^3 \frac{\text{A}}{\text{m}}$ ;  $r = 0,83 \text{ sm} = 83 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ ;  $q = 2e = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

Topish kerak:  $\lambda$ —?

*Yechilishi.* De-Broyl gipotezasiga ko'ra, harakatdagi  $\alpha$ -zarraga mos de-Broyl to'liqini uzunligi quyidagi formuladan aniqlanadi.

$$\lambda = \frac{h}{m_{\alpha} \cdot v}, \quad (\text{a})$$

bunda:  $v$  — massasi  $m_{\alpha}$  bo'lgan  $\alpha$  zarraning harakat tezligi. Ma'lumki,  $\alpha$ -zarra elektr zaryadga ega ( $q = +2e$ ). Binobarin, bir jinsli magnit maydonda unga ta'sir etayotgan Lorens kuchi quyidagicha ifodalanadi:

$$F_l = qvB = qv\mu_0 H,$$

bunda:  $B = \mu_0 H$  — magnit maydon induksiyasi.  $F_l$  Lorens kuchi  $\alpha$ -zarrani  $r$  radiusli aylana bo'yicha harakatlanishga majbur etuvchi

$F_{m.i.} = \frac{m_{\alpha} v^2}{r}$ . markazga intilma kuch sifatida namoyon bo'ladi.

Shuning uchun  $F_l = F_{m.i.}$  deb yoza olamiz. Demak:

$$qv\mu_0 H = \frac{m_{\alpha} v^2}{r}, \quad \text{bundan} \quad v = \frac{qr\mu_0 H}{m_{\alpha}}, \quad (\text{b})$$

(b) dan  $v$  ning ifodasini (a) ga keltriib qo'ysak, u holda  $\lambda$  uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$\lambda = \frac{h}{qr\mu_0 H}.$$

*Hisoblash:*

$$\lambda = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 83 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}} \cdot 20 \cdot 10^3 \frac{\text{A}}{\text{m}}} = 1 \cdot 10^{-11} \text{ m}.$$

**2- masala.** De-Broyl to'liqin uzunliklari 100 pm bo'lgan elektron, kislorod molekulasini, radiusi 0,1 mkm va zichligi  $2000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  bo'lgan zarraning kinetik energiyalarini hisoblab toping.

*Berilgan:*  $\lambda = 100 \text{ pm} = 1 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ ;  $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ;

$$\mu = 32 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}; r = 0,1 \text{ mkm} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ m}; \rho = 2 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3};$$

*Topish kerak:*  $W_k$ —?

*Yechilishi.* Zarraning kinetik energiyasi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$W_k = \frac{mv^2}{2},$$

bunda:  $v$  — zarraning tezligini de-Broyl to'liqin uzunligi  $\lambda = \frac{h}{mv}$

formulasidan topamiz, ya'ni:  $v = \frac{h}{m\lambda}$ .

Demak, kinetik energiya quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$W_k = \frac{h^2}{2m\lambda^2}$$

$$1. \text{ Elektron uchun: } m = m_e, W_k = \frac{h^2}{2m_e\lambda^2}.$$

2. Kislorod molekulasini uchun:  $m = \frac{\mu}{N_A}$ , bunda:  $\mu$  — kislorodning molekulyar massasi;  $N_A$  — Avogadro soni. Binobarin:

$$W_k = \frac{h^2 \cdot N_A}{2\mu \cdot \lambda^2}.$$

3. Zarra uchun:  $m = V \cdot \rho = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$ . Demak:

$$W_k = \frac{h^2}{2 \cdot \frac{4}{3}\pi r^3 \lambda^2 \cdot \rho} = \frac{3h^2}{8\pi r^3 \rho \lambda^2}.$$

*Hisoblash:*

$$1. W_k = \frac{(6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s})^2}{2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot (10^{-10})^2 \text{ m}^2} = 2,4 \cdot 10^{-17} \text{ J} = 150,6 \text{ eV}.$$

$$2. W_k = \frac{(6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s})^2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}}{2 \cdot 32 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \cdot (10^{-10} \text{ m})^2} = 4,13 \cdot 10^{-22} \text{ J} = 2,58 \cdot 10^{-3} \text{ eV}.$$

$$3. W_k = \frac{3 \cdot (6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s})^2}{8 \cdot 3,14 \cdot (10^{-7})^3 \text{ m}^3 \cdot 2 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (10^{-10})^2 \text{ m}^2} = 2,62 \cdot 10^{-30} \text{ J} = 1,64 \cdot 10^{-11} \text{ eV}.$$

**3- masala.** Vodorod atomidagi elektron tezligining noaniqligi qanday bo‘ladi? Tezlikning topilgan qiymati birinchi Bor orbitasidagi elektron tezligidan necha marta ortiq? Elektron koordinatasini aniqlashdagi eng katta xatolik vodorod atomi o‘lchami bilan bir xil tartibda ( $d \approx 10^{-10} \text{ m}$ ) bo‘ladi deb hisoblang.

*Berilgan:*  $\Delta x = d = 10^{-10} \text{ m}$ ;  $n=1$ ;  $m=9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ;  $e=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

*Topish kerak:*  $\Delta v$  —?  $\frac{\Delta v}{v_1}$  —?

*Yechilishi.* Geyzenbergning noaniqlik munosabatlariga ko‘ra:

$$\Delta v \cdot \Delta x \geq \frac{h}{2\pi m},$$

bunda:  $\Delta v$  — elektron tezligining noaniqligi;  $m$  — elektron massasi. Bu munosabatdan

$$\Delta v = \frac{h}{2\pi m \cdot \Delta x}$$

bo'ldi. Endi  $\frac{\Delta v}{v_1}$  ni aniqlash uchun Bor orbitasidagi elektron tezligi formulasidan foydalanamiz:

$$v_n = \frac{e^2}{2\varepsilon_0 h} \cdot \frac{1}{n}.$$

$n=1$  da birinchi Bor orbitasidagi elektron tezligini topamiz:  
 $v_1 = \frac{e^2}{2\varepsilon_0 h}$ . Shunday qilib, quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$\frac{\Delta v}{v_1} = \frac{h}{2\pi m \cdot \Delta x} \cdot \frac{2\varepsilon_0 h}{e^2} = \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m \cdot \Delta x \cdot e^2}.$$

*Hisoblash:*

$$\Delta v \geq \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{2 \cdot 3,14 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 10^{-10} \text{ m}} = 11,6 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

$$\frac{\Delta v}{v_1} = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \cdot (6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})^2}{3,14 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 10^{-10} \text{ m} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2} = 0,53.$$

### Mustaqil yechish uchun masalalar

**146.** Kinetik energiyasi 10 keV bo'lgan elektron uchun de-Broyl to'liqini uzunligini toping.

**147.** Proyeksion tipdagi televizion trubkalardagi elektronlar  $10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  tezlikkacha tezlashtiriladi. Massaning tezlikka bog'lanishini hisobga olmagan holda katod nurlarining to'liqin uzunligini aniqlang.

**148.** 200 V potentsiallar ayirmasi bilan tezlashtirilgan zaryadli zarra 2,02 pm ga teng de-Broyl to'liqini uzunligiga ega. Zarraning zaryadi son jihatdan elektr zaryadiga teng bo'lsa, shu zarraning massasini toping.

**149.** 25°C temperaturada oʻrtacha kvadratik tezlik bilan harakatlanayotgan  $\alpha$ -zarralar, neytronlar va azot molekulalari uchun de-Broyl toʻlqini uzunligini toping.

**150.** Abssissa oʻqi boʻylab harakatlanayotgan elektronlar tezligining noaniqligi  $\Delta v = 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Bunda elektronning vaziyatini ifodalovchi  $x$  koordinataning  $\Delta x$  noaniqligi qanday boʻladi?

**151.** Massasi 1 g boʻlgan sharcha markazining vaziyati va elektronning vaziyati  $\Delta x \approx 10^{-5}$  sm xato bilan aniqlangan. Sharcha va elektron uchun tezlikning noaniqligi qanday boʻladi?

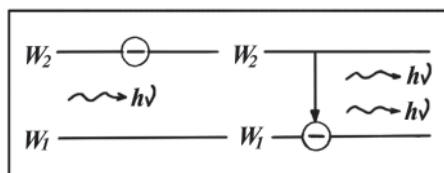
## **88- §. Spontan va majburiy nurlanishlar. Yorugʻlikni kuchaytirish prinsipi**

Yorugʻlikning nurlanishida nurlanuvchi sistemalar (atomlar, molekulalar va hokazo) uygʻotilgan yuqori energetik sathdan quyi energetik sathga oʻtadi. Agar bunday oʻtish oʻz-oʻzidan, hech qanday tashqi taʼsirsiz sodir boʻlsa, **spontan oʻtish**, bunda vujudga kelgan nurlanish **spontan nurlanish** deyiladi. Spontan oʻtish turli vaqtlar ichida, tasodifan, tartibsiz holatda boʻladi, shunga mos ravishda nurlanayotgan yorugʻlik xaotik ravishda fazasini, qutblanishini va yoʻnalishini oʻzgartirib turadi.

1916- yilda A. Eynshteyn elektronning atomda yuqori energetik sathdan quyi energetik sathga oʻtishi va bu oʻtishda roʻy beradigan nurlanish faqat oʻz-oʻzidan boʻlmasligi ham mumkinligini oldindan aytgan edi. Tashqi elektromagnit maydon taʼsirida uygʻongan atom oʻzidagi ortiqcha energiyani foton chiqarish yoʻli bilan oldinroq berib yuborishi ham mumkin. Bunday nurlanishni **majburiy nurlanish** yoki **induksiyalangan nurlanish** deb ataladi.

Tashqi elektromagnit toʻlqin chastotasi bilan uygʻongan atomning xususiy nurlanish chastotasi mos tushganda induksiyalangan nurlanish ehtimolligi keskin ortadi.

Shunday qilib,  $h\nu = W_2 - W_1$  foton chiqarishga tayyor turgan uygʻongan atomning  $h\nu$  foton bilan oʻzaro taʼsiri natijasida energiyalari ham, harakat yoʻnalishlari ham tamomila birday ikkita egizak-foton yuzaga keladi (197- rasm). Elektromagnit toʻlqin nazariyaga koʻra atom oʻzini nurlanishga majbur qilgan toʻlqin bilan tarqalish yoʻnalishi, chastotasi, fazasi va qutblanishi jihatidan



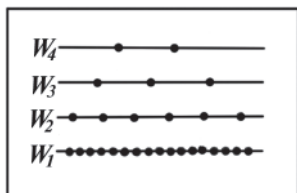
197- rasm.

mutlaqo bir xil bo‘lgan elektromagnit to‘lqin chiqaradi. Induksion nurlanishning o‘ziga xosligi uning **monoxromatikligi** va **kogerentligidir**.

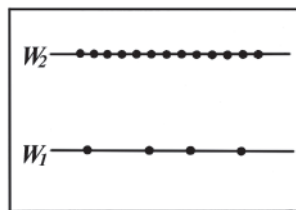
Termodinamik muvozanatda va tashqi ta’sir bo‘lmaganda modda atomlarining ko‘pchilik qismi minimal energiyaga ega bo‘ladi, yuqori energetik sathlarning atomlar bilan bandligi quyi sathlarning bandligidan kamroq bo‘ladi (198- rasmda doirachalar bilan atomlar tasvirlangan).

1939- yilda rus fizigi V.A. Fabrikant zarralarning energiya bo‘yicha shunday taqsimlanishiga erishish mumkinki, bunda uyg‘ongan atomlar soni normal holatdagi atomlar sonidan ko‘p bo‘ladi (199- rasm), degan fikrni ilgari surdi. Bunday holat sathlarning **invers bandlik holati** deb ataladi (lotincha *inversio* — to‘ntarmoq).

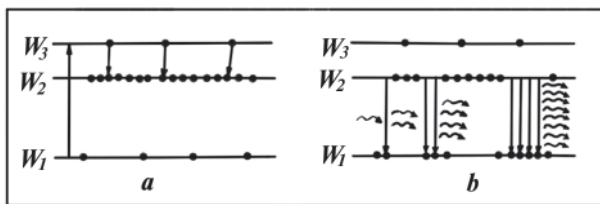
Termodinamik muvozanat holatida moddadan yorug‘lik o‘tganda fotonlar ko‘pincha uyg‘onmagan atomlar bilan o‘zaro ta’sirlashadi va moddada yutiladi. Sathlari invers band bo‘lgan moddada esa fotonlarning uyg‘onmagan atomlar tomonidan yutilish ehtimoli kamayadi. Haqiqatan ham, agar moddada energiyasi atomlarning  $W_2$  va  $W_1$  holatlaridagi energiyalari farqiga aniq teng bo‘lgan foton harakatlanayotgan bo‘lsa (197- rasimga qarang), u holda bu foton uyg‘ongan atom bilan o‘zaro ta’sirlashib, induksiyalangan nurlanishni yuzaga keltiradi. Natijada ikkinchi xuddi shunday foton paydo bo‘ladi. Bu fotonlar boshqa ikkita uyg‘ongan atomlar bilan o‘zaro ta’sirlashib, yana ikki atomning majburiy nurlanishiga sabab bo‘ladi. Oxirida



198- rasm.



199- rasm.



200- rasm.

moddadan bir foton o'rniga ko'plab fotonlar chiqadi, demak tushayotgan yorug'lik kuchayadi.

Moddada energetik sathlarning invers bandligini yuzaga keltirish uchun energetik holatlar orasida atomlar uyg'ongan holatlarda odatdagidek  $10^{-8}$  s emas, balki ancha uzoqroq ( $\sim 10^3 - 10^5$  marta kattaroq) muddat tura oladiganlari ham bo'ladigan moddalardan foydalaniladi. Bunday holatlarni **metastabil holatlar** deb, ularga mos keladigan energetik sathni **metastabil sath** deb ataladi.

Faraz qilaylik,  $W_2$  energetik sath metastabil sath bo'lib (200- a rasm), uning «yashash muddati»  $W_3$  sathning «yashash muddati» ( $\sim 10^3 c$ ) dan 1000 marta katta bo'lsin.  $W_2$  sath bo'lganda  $W_3$  sathdan spontan o'tishlar faqat asosiy  $W_1$  sathgagina emas, shu bilan birga  $W_2$  metastabil sathga ham bo'ladi.  $W_3$  va  $W_2$  holatlar «yashash muddatlari»ning farqi katta ekanligi shunga olib keladiki,  $h\nu \geq W_3 - W_1$  energiyali uyg'otuvchi foton ta'sirida atomlar dastlab  $W_1$  holatdan  $W_3$  holatga va so'ngra  $W_{32} = W_3 - W_2$  energiyali kvant chiqarib,  $W_2$  holatga o'tadi.

Buning natijasida atomlar  $W_2$  metastabil holatda to'planib qoladi va vaqt o'tishi bilan ularning soni normal  $W_1$  holatdagidan ko'p bo'ladi (200- a rasm). Demak, shunday sathlar sistemasiga ega bo'lgan moddada uyg'otuvchi  $h\nu \geq W_3 - W_1$  nurlanish ta'sirida sathlarning invers band bo'lishiga erishish mumkin bo'ladi.

Agar dastlab shunday tayyorlangan moddaga  $h\nu_1 = W_2 - W_1$  yorug'lik kvanti yo'naltirilsa, u holda induksiyalangan nurlanish hodisasi tufayli yorug'likning kuchayishi ro'y beradi (200- b rasm). Fotonlar soni geometrik progressiya bo'yicha ortadi. Agar muhitda induksiyalangan fotonlar soni yutilgan fotonlar sonidan katta bo'lsa, bunday muhit **aktiv muhit** deb ataladi.

Induksion nurlanishning bu xossasi uning kogerentligi va monoxromatikligi lazerlar deb ataluvchi optik kvant generatorlarning ishlashiga asos qilib olinan.

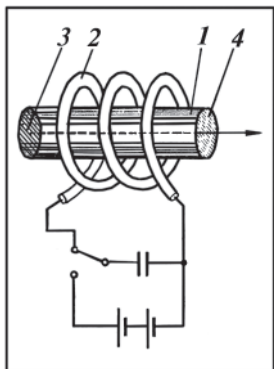
## 89- §. Lazerlar

Elektromagnit to'liqlarni kuchaytirish va generatsiyalash prinsipini rus fiziklari N.G. Basov va A.M. Proxorov hamda ayni bir vaqtda amerikalik olimlar Ch.X. Tauns va Sh. Veberlar tavsiya qilgan edilar. Santimetrli to'liqlar diapazonida ishlaydigan bunga mos asboblarda **mazerlar** deb atalgan.

1960- yili amerikalik fizik T.G. Meyman optikaviy diapazonda ishlaydigan shunday asbobni yaratdi. Bu asbobga **lazer** nomi berildi. Ba'zan lazerlar **optik kvant generatorlari** deb ataladi. Optik kvant generatorlari ikki asosiy qismdan — aktiv muhit va rezonatordan tuzilgan. Quyida kristall va gaz lazerlarining tuzilishi hamda ishlash prinsipi bilan tanishamiz.

1. **Yoqut lazeri.** Yoqut lazerida aktiv muhit sifatida tarkibida 0,05% ga yaqin xrom aralashmasi bo'lgan yoqut kristalli ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan foydalaniladi. Lazerning bu asosiy elementi, odatda, diametri 0,4÷2 sm va uzunligi 3÷20 sm bo'lgan 1- silindr shaklida bo'ladi (201- rasm). Sterjenning 3 va 4 asos sirlari bir-biriga rosa parallel joylashgan va yaxshilab silliqilgan. Ulardan biri shaffof bo'lmagan, ikkinchisi esa qisman shaffof darajada kumush qatlami bilan qoplangan. Qisman shaffof sirtidan 92% yorug'lik oqimi qaytadi va 8% ga yaqinini u o'zi orqali o'tkazadi. Bu o'zaro parallel ko'zgular generatorning rezonatori vazifasini o'taydi.

Yoqut sterjen spiral ko'rinishdagi impulsli 2 ksenon lampa ichiga joylashtirilgan bo'lib, lampa kondensatorlar batareyasiga ulangan (201- rasmga qarang). Kondensator batareyasidan kelgan qisqa vaqtli tok impulsi lampani yorug' chaqnatadi va sterjen yoritiladi, lampa uyg'otuvchi nurlanish manbai bo'lib xizmat qiladi.



201-rasm.

Yoqut kristallida alyuminiyning ba'zi atomlari o'rnida xrom atomlari joylashgan. Ksenon lampa chaqnaganda xrom ionlari lampa spektridagi  $5,6 \cdot 10^{-7}$  m to'liq uzunlikdagi yashil rangli nurlanishni yutib, asosiy  $W_1$  sathdan uyg'ongan  $W_3$  sathga o'tadi (200- b rasmga qarang).

Yoqut sterjen lampa chiqarayotgan boshqa to'liq uzunlikdagi nurlanishlarni yutishi natijasida qiziydi. Issiqlikdan

parchalanib ketmasligi uchun sterjen suyuq azot bilan sovitiladi (201- rasmda sovitish sistemasi ko'rsatilmagan).

Xrom ioni asosiy holatga ikki bosqichda qaytib o'tadi. Uyg'ongan atomlar birinchi bosqichda o'z energiyasining bir qismini panjaraga berib,  $W_3$  sathdan metastabil  $W_2$  sathga o'tadi. Ikkinchi bosqichda ionlar metastabil  $W_2$  sathdan

$$\nu_{21} = \frac{W_2 - W_1}{h}$$

chastotali fotonni chiqarib, asosiy  $W_1$  holatga o'tadi. Bu chastotaga qizil yorug'likning  $\lambda=6,943 \cdot 10^{-7}$  m to'liqin uzunligi mos keladi.

Atomlarni asosiy holatdan uyg'ongan holatga o'tkazish uchun kerakli bo'ladigan energiyani uzatish jarayoni ***nakachka (quvvatlash)*** deb ataladi. Bu lazerda foydalaniladigan impulsli ksenon lampasi ***nakachka lampasi*** deb ataladi.

Bittagina xrom atomining  $W_2$  metastabil sathdan  $W_1$  asosiy sathga spontan o'tib,  $\nu_{21}$  chastotali foton chiqarishining o'zi metastabil holatda joylashgan xrom atomlarining induksiyalangan nurlanish tufayli fotonlar quyunini hosil qilish uchun yetarli bo'ladi. Ko'zgulardan biriga tomon harakatlanganda bu foton induksiyalangan nurlanish yuzaga keltiradi va ko'zguga har birining energiyasi  $h\nu_{21}$  bo'lgan fotonlar quyuni yetib keladi.

Ko'zgudan qaytgandan keyin fotonlar qarama-qarshi yo'nalishda harakatlanadi va yo'l-yo'lakay metastabil sathda qolgan uyg'ongan atomlarni nurlanishga majbur qiladi. Bu nurlanish rezonatorning yarimshaffof ko'zgusidan tashqariga chiqadi (201- rasmga qarang). Nurlanish to'liqin uzunligi  $\lambda=694,3 \text{ \AA}$  bo'lgan monoxromatik, kogerent va o'tkir yo'nalishli bo'lib, uni ***lazer nurlari*** deb ataladi.

Yoqut lazerlari impuls rejimda ishlaydi.

2. **Gaz lazeri.** Gaz lazerida aktiv muhit sifatida gaz yoki gaz aralashmasidan foydalaniladi. Gaz lazeri atmosfera bosimidan 100—1000 marta past bosimda gaz yoki gaz aralashmasi bilan to'ldirilgan shisha yoki kvarts naydan iborat. Rezonator ko'zgulari nayning chekkalari yaqinida, uning ichida yoki tashqarisida joylashtirilishi mumkin.

Gaz lazerlarida optik nakachkadan emas, balki elektr nakachkadan foydalaniladi, bunda quvvatlash energiyasi miltillama razryad hisobiga beriladi.

Neon-geliyli lazerlar eng keng tarqalgan. Razryad nayi 1 mm sim. ust. ga teng bosim ostidagi geliy va 0,1 mm. sim. ust. ga teng bosim ostidagi neon gazlari aralashmasi bilan to'ldiriladi. Bunday lazerlarda elektr tokining energiyasi gaz razryadi elektr maydonidagi tezlashgan elektronlar bilan noelastik to'qnashuvlarda bo'lgan geliy atomlarini uyg'otishga sarf qilinadi.

Geliyning uyg'ongan atomlari to'qnashuvlarda neon atomlariga energiya beradi, bunda ular metastabil sathga o'tadi. Natijada invers band bo'lish hosil bo'ladi — yorug'lik chiqarishga tayyor bo'lgan neon uyg'ongan atomlari soni neonning uyg'onmagan atomlari sonidan katta bo'ladi.

Neon uyg'ongan atomlarining spontan nurlanishining birinchi kvantlariyoq rezonator ko'zgularidan ko'plab marta qaytib, to'liq uzunligi  $\lambda=6328 \text{ \AA}$  bo'lgan yorug'lik intensivligining quyunsimon ortishini vujudga keltiradi. Nakachka quvvati yetarlicha bo'lganda lazer uzluksiz ishlaydi va intensiv sovitishga muhtoj emas. Neon va geliy uyg'ongan atomlarining kamayishi elektr toki energiyasi hisobiga to'ldirib turiladi.

Uzluksiz ravishda ishlash gaz lazerlarining o'ziga xos afzalligidir. Hozirgi vaqtda turli-tuman muhitlar — gazlar, suyuqliklar, shishalar, kristallardan lazerlar yaratilgan. Masalan, uzluksiz ishlaydigan yarimo'tkazgichli lazerlar, gazodinamik lazerlar shular jumlasidandir. Yarimo'tkazgichli lazerlarda nurlanish uchun energiya elektr tokidan olinsa, gazodinamik lazerlarda energetik sathlarning invers bandligi bir necha ming gradusgacha qizdirilgan, tovushdan tez gaz oqimlarining kengayishi va adiabatik sovishida hosil bo'ladi.

## 90- §. Lazer nurlanishining xossalari. Lazerlarning qo'llanilishi

Lazer nurlanishining bir qator ajoyib xossalari mavjud. Lazer nurlanishi, ***birinchidan***, vaqt bo'yicha va fazoviy kogerent; ***ikkinchidan***, qat'iy monoxromatik; ***uchinchidan***, quvvati katta; ***to'rtinchidan***, dastasi o'tkir yo'nalishli (ingichka) bo'ladi.

Lazer eng kuchli yorug'lik manbalaridir. Bunga sabab yorug'lik to'liqida elektr maydoni kuchlanganligining yuqori bo'lishidir. Quyosh nuri uchun monoxromatik yorug'likning elektr maydon kuchlanganligi taxminan  $10^3 \frac{\text{V}}{\text{m}}$  ga teng bo'lsa, lazer nuri uchun bu kattalik  $10^{11} \frac{\text{V}}{\text{m}}$  ga yetishi mumkin.

Lazer nurining yoyilishi bir burchak sekundi tartibida bo'ladi. Ko'zgular sirtiga qat'iy perpendikulyar bo'lgan nurlargina rezonatorda kuchayishi sababli lazer nurlari ingichka, o'tkir yo'nalgan bo'ladi. Linza yordamida lazer nurlarini fokuslash va diametri  $10^{-4}$  mm bo'lgan dog' hosil qilish mumkin, bu hol nur energiyasini  $10^{-8}$  mm<sup>2</sup> tartibidagi maydonga yig'ish imkonini beradi.

Lazerlarning barcha qo'llanishlari ular nurlanishlarining spesifik xossalriga — yuqori darajada monoxromatikligiga, kogerentligiga, o'tkir yo'nalganligiga hamda quvvatining katta bo'lishiga asoslangan. Sanoatda turli vazifalarga mo'ljallangan turli lazerlar ishlab chiqariladi. Lazerlarning aniq amaliy qo'llanishlari shuncha ko'pki, ularning barchasini sanab chiqish qiyin. Quyida lazerlarning ba'zi bir qo'llanishlarini bayon etamiz.

Lazer texnologiyasi jarayonlarini shartli ravishda ikki turga bo'lish mumkin. Ularning birinchisida lazer nurini o'ta aniq fokuslash va impulsli rejimda ham, uzluksiz rejimda ham energiyani aniq dozlash (kerakli miqdorda olish) imkoniyatidan foydalaniladi. Bunday texnologik jarayonlarda o'rtacha quvvati uncha yuqori bo'lmagan lazerlar qo'llaniladi. Masalan, soatsozlik sanoati uchun yoqut va olmos toshlarda mayda teshiklar parmalash va ingichka sim tortish uchun filyerlar tayyorlash texnologiyalari ishlab chiqilgan.

Kichik quvvatli impuls lazerlardan mikroelektronika va elektrovakuum sanoatida mitti detallarni kesish hamda payvandlashda, mitti detallarga markalar tushirishda foydalaniladi; poligrafiya sanoati ehtiyojlari uchun raqamlar, harflar, tasvirlar avtomatik tarzda kuydirib tayyorlanadi.

Lazerlardan mikroelektronikaning eng muhim sohalaridan biri — fotolitografiya foydalaniladi. Faqat fotolitografiya usulini qo'llabgina o'ta mitti bosma platalar, integral sxemalar va mikroelektron texnikaning boshqa elementlarini tayyorlash mumkin.

Lazer texnologiyasining ikkinchi turi o'rtacha quvvati katta bo'lgan lazerlardan foydalanishga asoslangan. Bunday lazerlardan kuchli texnologik jarayonlar: qalin po'lat listlarni qirqish va payvandlash, sirtqi toblash, yirik gabaritli detallarga metallni eritib yopishtirish va legirlash (metallarni xrom, nikel va boshqalar bilan qoplash), binolar sirtini tozalash, marmar, granitni kesish, gazlama, teri va boshqa materiallarni bichishda foydalaniladi.

Lazerlar golografiyada (92- § ga qarang) hajmiy tasvirlarni olishda, aloqa sistemasida, lazer lokatsiyada masofani o'lchovchi asbob sifatida (masalan, lazer lokatori vositasida Oygacha bo'lgan masofa 4 m gacha aniqlikda o'lchangan), qurilishda (masalan, «Ostankino» teleminora qurilishida minora o'qining vertikalidan og'ishi 6 mm gacha aniqlik bilan qayd etilgan), tibbiyotda, biologiyada, ilmiy-tekshirishda va boshqa ko'p sohalarda keng qo'llaniladi.

Lazer fizikasi va texnologiyasining rivojlanishida O'zbekiston olimlari ham salmoqli hissa qo'shib kelmoqdalar. Xususan, O'R FA ning «Akademasbob» ilmiy ishlab chiqarish birlashmasida nohiziqiy optika bo'yicha fundamental tadqiqotlar; Teplofizika bo'limida lazer sistemalarini va qurilmalarini yaratish uchun zarur bo'lgan yangi materiallarni tadqiq qilish; Elektronika institutida lazer nurlanishining qattiq jism sirti bilan ta'sirini o'rganish; O'zbekiston Milliy universitetida lazer nurlanishini qayd etish, tasvirlarni tiklash, ma'lumotni golografik yozishning yangi usullarini ishlab chiqish va takomillashtirish; Yadro fizikasi institutida lazer plazmasi va ko'p zaryadli ionlar emissiyasida yuzaga keladigan jarayonlarni o'rganish kabi juda ko'p yo'nalishlar bo'yicha ilmiy tadqiqot va ilmiy-texnologik ishlar olib borilmoqda.

Olimlar tomonidan erishilgan yutuqlar xalq xo'jaligining turli tarmoqlarida tatbiq etilib, ham moddiy, ham ma'naviy foyda keltirmoqda. Jumladan, Toshkent qishloq xo'jalik mashinasozlik zavodi, Toshkent instrumental zavodi, Toshkent motor zavodi, Toshkent kabel zavodi va shu kabi ishlab chiqarish tashkilotlarida lazer texnologiyalari po'lat materiallarni kesish va payvandlash, mahsulotni markalash va presizion (yuqori darajada aniq) ishlov berish, ishlab chiqarishni to'xtatmagan holda kabel qobig'iga kerakli ma'lumotni qayd etuvchi tamg'a bosish, elektron sanoat korxonalarida elektron detallarni me'yoriga yetkazish va hokazo maqsadlarda foydalaniladi. «Lidar» deb nomlangan maxsus lazer qurilma vositasida bizning regionda ekologiyani nazorat qilinadi; jarroh va jarroh-oftalmolog qo'lida lazer skalpeli instrument sifatida ishlatiladi; ilmiy tadqiqotlarda, tibbiyot va biologiyada diagnostikaning lazer usullari keng qo'llaniladi. Truboprovod va aloqa sistemasi qurilishlarida qurilishning samaradorligini va sifatini oshirishga imkon beruvchi lazer qurilmalarini qurish mumkin. O'zbek

olimlari yasama tishlarning sifatini nihoyatda yaxshilaydigan noyob flyussiz kavsharlashdan foydalanish imkoniyatini namoyish qildilarki, hozirda bu texnologiya Respublikaning bir qator stomatologik klinikalarida qo'llaniladi.

Shuningdek, respublikada terapevtik ta'sir etish uchun lazer asboblari ishlab chiqariladi. Bu asboblarning turli tibbiyot muassasalarida ko'z va teri kasalliklarini davolash uchun, operatsiyadan keyingi va kuyish jarohatlarining bitish muddatini qisqartirish uchun keng qo'llaniladi.

Hozirgi vaqtda lazer texnologiyalaridan foydalanish jadal o'sib bormoqda. Hozirda biz dunyoni lazer kompakt diskless, lazer printerless, nishonni mo'ljalga olish va aniqlashning lazer sistemalarisiz, lazer lokatsiyasi va lazer aloqasiz tasavvur qila olmaymiz. Hatto hozirgi zamon butunjahon informatsion tarmoq — Internet ham aloqaning lazer texnologiyasidan foydalanadi.

## **91- §. Optikada nohiziqiy effektlar**

Muhitdan o'tayotgan yorug'lik dastasi ta'sirida muhitning optik xarakteristikalarini o'zgaradimi, degan savolga lazerlar paydo bo'lgunga qadar salbiy javob berilar edi. Haqiqatan ham, atom ichidagi maydonlar  $10^8 \div 10^{12} \frac{\text{V}}{\text{m}}$  tartibidagi kuchlanganliklar bilan xarakterlangani holda, lazermas yorug'lik manbalaridan chiqayotgan yorug'lik to'liqini maydonining elektr kuchlanganligi  $10^5 \frac{\text{V}}{\text{m}}$  dan ortmaydi.

Shu sababli yorug'lik to'liqini amalda atom ichidagi maydonlarga va, demak, muhit xarakteristikalariga ta'sir ko'rsata olmaydi. Bunday hollarda muhitning optik xususiyatlari va ko'pgina optik hodisalar xarakteri yorug'likning intensivligiga bog'liq bo'lmaydi.

Muhitning  $P$  qutblanish vektori tashqi maydon  $E$  kuchlanganligi bilan  $P = \chi E$  chiziqli bog'lanishda ekanligi ma'lum, bunda  $\chi$  — muhitning dielektrik qabul qiluvchanligi. Bundan hozirda lazerlar ishlatilishidan avvalgi optikaga nisbatan «chiziqli optika» atamasi qo'llanila boshlangan.

Yorug'likning kvant generatorlari yaratilgandan so'ng optikada vaziyat keskin o'zgardi. Lazer nurlanishining yuqori darajadagi kogerentligi yorug'lik quvvatini g'oyat kuchli konsentratsiyalash imkonini beradi. Lazerlar kuchlanganligi  $10^{10} \div 10^{11} \frac{\text{V}}{\text{m}}$  bo'lgan

yorug'lik maydonlarini beradi. Bunday kuchli yorug'lik oqimlari moddada tarqalganda superpozitsiya prinsipidan keskin chetlanishlar ro'y beradi, muhitda tarqalayotgan to'lqinlar bir-biriga ta'sir etadi, fizik jarayonlar nochiziqliy qonunlarga bo'ysunadi. Endi muhitning dielektrik qabul qiluvchanligi  $E$  kuchlanganlikka bog'liq bo'lib qoladi, natijada  $P$  ning  $E$  ga bog'lanishi nochiziqliy bo'ladi. Masalan, agar  $\chi = \chi_0 + \chi_1 E$  bo'lsa, u holda  $P = \chi E = \chi E + \chi_1 E^2$  bo'ladi. Bundan «nochiziqliy optika», «nochiziqliy qutblanish», «Nochiziqliy qutblanishli muhit» degan atamalar kelib chiqqan.

Nochiziqliy optika intensiv lazer nurlanishi ta'sirida muhitning nochiziqliy qutblanishi bilan bog'liq bo'lgan bir qator nochiziqliy optik hodisalarni o'rganadi. Bu hodisalarning ba'zilarini keltiramiz.

**1. Yorug'likning nochiziqliy qaytishi.** Yorug'lik intensivligi katta bo'lganda qaytgan yorug'likda tushuvchi yorug'likning  $\omega$  chastotasiga teng chastotali nur bilan birga  $2\omega$  chastotali nur ham bo'ladi. Ularning yo'nalishi bir xil emas.

**2. Optikaviy garmonikalar.** Quvvatli yorug'lik dastalari suyuqlik va kristallarda sochilganda tushuvchi yorug'lik chastotasiga teng  $\omega$  chastotali yorug'likdan tashqari  $2\omega$ ,  $3\omega$  va hokazo chastotali sochilgan yorug'liklar ham kuzatiladi. Sochilgan yorug'likning bu spektral komponentlari *optikaviy garmonikalar* deyiladi.

**3. Yorug'likning o'z-o'zidan fokuslanishi.** Yorug'lik dastalari suyuqliklar va ba'zi kristallardan o'tganda dastaning quvvati ortishi bilan yoyilishi kamayadi, kritik quvvat deb ataladigan quvvatda dasta hech yoyilmasdan (kengaymasdan) tarqaladi. Quvvat kritik quvvatdan katta bo'lganda dasta qisiladi — yorug'lik o'z-o'zidan fokuslanadi. Aniqlanishicha,  $E$  kuchlanganlik ortganda  $n$  sindirish ko'rsatkichi ham ortadi, dasta egallagan muhit optikaviy zich bo'lib qoladi. Bu esa nurlarning dasta o'qiga tomon egilishiga, demak dastaning qisilishiga olib keladi. Dasta go'yo ingichka kanal bo'ylab tarqaladi va o'ziga xos optik to'lqin o'tkazgich bo'lib qoladi.

**4. Ko'p fotonli jarayonlar.** Yorug'lik yutilishining kvant nazariyasiga ko'ra odatdagi manbadan nurlanayotgan yorug'lik oqimi bilan modda o'zaro ta'sirlashgandagi har bir elementar aktda bitta foton yutiladi va shuning uchun ham jarayon bir fotonli hisoblanadi. Modda yorug'likning katta quvvatli oqimi bilan nurlatilganda bitta elementar aktda bir necha foton yutilishi mumkin, ya'ni:

$Nh\nu = W_n - W_i$ , bunda:  $N$  — yutilgan foton soni,  $W_i$  va  $W_n$  lar mos ravishda atomning normal va uygʻongan holati energiyalari.

Bu holda koʻp fotonli yutilish boʻladi. Bunda har bir foton energiyasining qiymati bir fotonli yutilish aktida yutiladigan foton energiyasidan  $N$  marta kam boʻladi. Agar  $W_n = W_i$  sath boʻlsa (bunda  $W_i$  — ionizatsiya energiyasi), u holda fotonlar energiyasining  $Nh\nu$  yigʻindisi  $W_i$  dan katta qiymatga erishganda atom (molekula va hokazo) ning ionlanishi yuz beradi.

Bunda **koʻp fotonli ionlanish (koʻp fotonli fotoeffekt)** boʻladi. Inert gazlarning yetti fotonli ionlanishi ishonchli ravishda qayd etilgan.

Hozirgi vaqtda optikaning bu yangi sohasi — nochiziqiy optika jadal rivojlanib bormoqda. OʻR FA ning «Akademasbob» ilmiy ishlab chiqarish birlashmasida nochiziqiy-optik usullar asosida fundamental ilmiy-tadqiqot ishlari boʻyicha oʻzbek olimlari oʻz hissalarini qoʻshib kelmoqdalar.

## 92- §. Golografiya

Yorugʻlikning interferensiya va difraksiya hodisalaridan foydalanib, buyumlarning hajmiy tasvirlarini hosil qilish mumkin, bu odatdagi fotografiyadan prinsipial farq qiladi.

Odatdagi fotografiyada yoritilgan buyumning alohida nuqtalaridan qaytgan yorugʻlik obyektiv yordamida fotoplyonkaning sirtiga fokuslanadi. Obyektivdan turli uzoqlikda joylashgan nuqtalar tasviri obyektivdan turli masofalarda hosil boʻladi. Agar buyum uch oʻlchamli, hajmiy boʻlsa, uning tasviri ham hajmiy boʻladi. Biroq bu tasvir yassi fotoplyonkada (fotoemulsiyaning qalinligi 6—25 mkm tartibida boʻladi) qayd qilingani uchun buyumning faqat aniq sozlangan nuqtalarining tasviri aniq hosil boʻladi. Hajmiy tasvirning uzoqroq yoki yaqinroq turgan boshqa nuqtalari fotoplyonkada yoyilgan, noaniq dogʻlar beradi. Natijada hajmiy buyum va uning fotosurati har holda uni koʻrganimizdan ancha farq qiladi, buyum haqidagi informatsiya toʻliq boʻlmaydi, uning bir qismigina qoladi.

Fotosuratga olishda bu informatsiyalarning yoʻqotishiga sabab shuki, fotoplastinka faqat yoritilganlikni, yaʼni buyumning turli nuqtalaridan qaytgan yorugʻlik toʻlqinlarining amplitudasinigina qayd qiladi. Ayni vaqtda buyumning bu nuqtalarida yorugʻlik toʻlqini faqat tebranishlar amplitudasi bilan emas, shuningdek, fazasi bilan ham xarakterlanadi. Fotoplastinkaning qorayishiga esa tebranishlar fazasi hech qanday taʼsir koʻrsatmaydi, boshqacha aytganda,

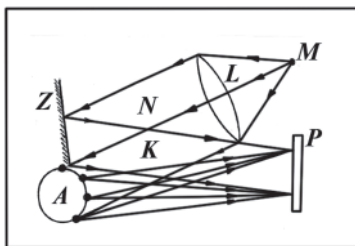
fotoplastinka to‘lqin sirti (teng fazalar sirti) ning shaklini qayd qilmaydi. Binobarin, fotosuratda hajmiy buyumning turli nuqtalarigacha bo‘lgan masofalar to‘g‘risida hech qanday obyektiv informatsiya bermaydi. Vaholanki, kuzatuvchiga yoki fotoplastinkaga yetib boruvchi to‘lqin sirtining shakli xuddi shu masofalarga bog‘liq bo‘ladi.

Agar fotoplastinkada buyum sochgan yorug‘lik to‘lqinlarining faqat amplitudasi emas, shuningdek, ularning fazalari ham qayd qilinsa, u holda buyumning fotosuratini ko‘rgan kuzatuvchi uni buyumdan ajrata olmaydi.

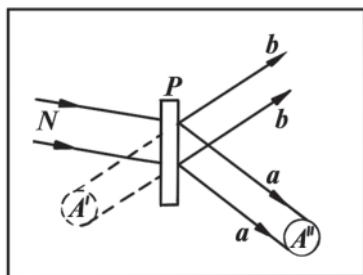
Birinchi marta buyum sochgan yorug‘likni oddiy fotosuratdagidan ancha to‘laroq qayd qilishni 1948- yilda ingliz fizigi D. Gabor amalga oshirdi. Gabor o‘zi tavsiya qilgan usulni **golografiya** (grekcha «golos» — butun, hammasi degan so‘zdan olingan) deb atadi.

**Gologramma** hosil qilishda asosiy narsa monoxromatik va kogerent lazer nuridir. Shuning uchun golografiya 1960- yillarda lazerlar paydo bo‘lishi bilangina rivojlana boshladi. Hozir golografiya optikaning eng muhim sohalaridan biriga aylangan.

Tasvirlarni golografik usul bilan olishning turlari ko‘p. Rus olimi Yu.N. Denisyuk tavsiya etgan usullardan biri quyidagicha: *M* kogerent yorug‘lik manbayining keng dastasi ikki — *N* va *K* qismlarga ajratiladi (202- rasm). Ularning biri *K* dasta *A* buyumdan qaytgandan so‘ng *P* fotoplastinkaga tushadi (uni **signal dasta** deyiladi), ikkinchisi *N* dasta fotoplastinkaga *Z* yassi ko‘zgudan qaytgandan so‘ng tushadi (uni **tayanch dasta** deyiladi). Kogerent to‘lqinlarning bu ikki dastasi qo‘shilishi natijasida fotoplastinkaning emulsiya qatlamida interferension manzara hosil bo‘ladi. Bu manzaraning fotoplastinka ochiltirilgandan keyingi fotosurati **gologramma** deb ataladi. Shunday qilib, *buyumning gologrammasi* — *murakkab shakldagi signal to‘lqinning yassi tayanch to‘lqin bilan o‘zaro ta’siri natijasida hosil bo‘lgan va notekis joylashgan*



202- rasm.



203- rasm.

*interferension polosalardan tashkil topgan murakkab interferension manzaradan iborat bo'ladi.*

Gologrammada buyum sirtidan qaytgan nurlarning amplitudalari haqida ham, fazalari haqida ham to'liq ma'lumot bo'ladi. Odam ko'zi gologrammaning kuchli kattalashtirilgan sohasini turli darajada qoralashgan tartibsiz dog'lar shaklida ko'radi, lekin gologrammada aniq qonuniyatlar asosida berilgan buyum haqidagi ma'lumotlarni ko'ra olmaydi. Bundan golografik tasvirni tiklash kerakligi kelib chiqadi.

*Golografik tasvirni tiklash — bu buyum haqidagi ma'lumotlarni bir shakldan inson his qilishi uchun qulay bo'lgan boshqa shaklga aylantirishdan iborat.* Buyumning tasviri  $P$  gologrammani  $N$  tayanch nuri bilan yoritish (203- rasm) va gologrammaning qoralashgan birjinslimasliklarida yuz bergan difraksiya natijasida hosil bo'ladi. Buyumning  $A''$  haqiqiy tasvirni obyektivsiz hosil qiluvchi to'lqin maydoni  $aa$  yo'nalishda tarqaladi. Kuzatilayotgan buyum sohib yuborgan to'lqin maydoni  $bb$  yo'nalishda tiklanadi. Bu to'lqin maydoni buyumning  $A'$  mavhum tasviriga mos keladi.

Qayta tiklangan to'lqin sirtining signal to'lqin sirti bilan aniq mos tushishi shunga olib keladiki, ko'zimiz qabul qiladigan tasvir tashqi ko'rinishi jihatidan buyumdan farq qilmaydi.

Gologrammalar yordamida hosil qilinadigan tasvirlar ajoyib xususiyatlarga ega. Masalan: 1. Buyumning oddiy fotografiyasining bir bo'lagi buyumning faqat shu bo'lagi haqida ma'lumot beradi. Agar gologrammani bir necha bo'laklarga bo'lib, ixtiyoriy bir bo'lagini tayanch nurlar dastasi bilan yoritsak, ularning har biri gologrammadagidek buyumning to'liq tasvirini beradi. 2. Fotografiyadan farq qilib, golografiyada bitta fotoplastinkaga turli buyumlarning tasvirini ketma-ket suratga tushirish mumkin. Har

bir tasvirni qayta tiklashda boshqa tasvirlar xalaqit bermaydi. 3. Gologrammani tiklashda yorug'likning tarqaluvchi dastasini qo'llash yo'li bilan buyum tasvirini linzalar ishlatmasdan bir necha marta kattalashtirish mumkin.

Gologrammani tiklash vaqti juda qisqa ( $10^{-10}$  s gacha). Shuning uchun golografiya ulkan miqdordagi ma'lumotlarni yozib olish, saqlash va juda tez o'zgartirish imkonini beradi. Golografiyaning bu xususiyatlaridan ko'plab ilmiy va texnik muammolarni hal qilishda foydalaniladi.

### **Takrorlash uchun savollar**

1. *Spontan va induksiyalangan nurlanish deb qanday nurlanishlarga aytiladi? Ularning farqi nimadan iborat?*
2. *Energetik sathlarning invers bandligi deganda nimani tushunasiz? Bu holat qanday hosil qilinadi?*
3. *Metastabil holat, metastabil sath, aktiv muhit tushunchalarining mazmunini tushuntiring.*
4. *Induksiyalangan nurlanish hodisasi asosida yorug'likning kuchayishini tushuntiring.*
5. *Lazerlar qanday asboblardir? Ularning asosiy qismlari nimadan iborat?*
6. *Yoqut lazerining tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring.*
7. *Nima uchun yoqut lazerini sovitib turish kerak?*
8. *Gaz lazerlari qanday ishlaydi? Neon-geliy lazeri misolida tushuntiring.*
9. *Nakachka nima? Yoqut lazerida qanday nakachkadan foydalaniladi? Neon-geliy lazerida-chi?*
10. *Lazer nurlanishining asosiy xususiyatlarini tushuntiring.*
11. *Lazer nurlanishining qo'llanishlari haqida gapirib bering.*
12. *Chiziqliy optika, nochiziqliy optika atamallari nimani anglatadi?*
13. *Nochiziqliy optika qanday hodisalarni o'rganadi? Nochiziqliy optik hodisalarga misollar keltiring.*
14. *Tasvir olishning odatdagi fotografiya usulining qanday nuqsonlari bor? Sababi nima?*
15. *Gologramma qanday hosil qilinadi?*
16. *Gologramma qanday qayta tiklanadi?*
17. *Golografik tasvirning qanday xususiyatlarini bilasiz?*

### 93- §. Atom yadrosining tarkibi. Atom yadrosini xarakterlovchi asosiy kattaliklar

Atom yadrosi ham atomning o'zi singari ma'lum ichki tuzilishga ega.

1932- yilgacha olimlar atomlarning yadrolari protonlar (vodorod yadrolari) va elektronlardan iborat, deb qarar edilar. Biroq atom yadrolarining tuzilishi haqidagi bunday tasavvur noto'g'ri edi. Atom yadrolarining tuzilishini bunday tushunishda atomlarning yadrolarida elektronlarning mavjudligi dalilini mutlaqo izohlab bo'lmas edi. Agar elektronlar atomlarning yadrolarida bo'lganida edi, ular elektr kuchlari ta'sirida protonlarga tortilar va buning natijasida zarralarning bu ikki xili elektr jihatidan neytral bo'lib qolar edi. Agar bunday bo'lsa, yadrolar atrofidagi orbitalarda harakatlanayotgan elektronlar atomda qanday ushlanib turishi tushunarsiz edi.

Orbitalarda elektronlar gravitatsiya kuchi (butun olam tortishish kuchi) ta'sirida ushlab turiladi deb o'ylash mumkin. Biroq hisoblashlarning ko'rsatishicha, butun olam tortishish kuchi atom yadrosi atrofida harakatlanayotgan elektronlarni orbitada ushlab turishga yetarli emas ekan.

1932- yilda ingliz fizigi, Rezerfordning shogirdi D. Chedvik yangi zarra — **neytronni** kashf etdi. Bu kashfiyot yadro fizikasi uchun muhim voqea edi.

Shu yili fizik olim D.D. Ivanenko va nemis fizigi V. Geyzenberg neytronning ochilishiga doir tajribalarga tayanib, atom yadrosining yangi nazariyasini yaratdilar. Ular yadrolarda elektronlar bo'lishi mumkin emasligini nazariy ravishda asoslab berdilar.

D.D. Ivanenko va V. Geyzenberg nazariyasiga ko'ra barcha atom yadrolari tarkibiga faqat ikki xil zarra: **protonlar** va **neytronlar** kiradi.

Qator olimlarning kelgusi eksperimental tadqiqotlari bu nazariyaning to'g'ri ekanligini isbot qildi. Yadroning proton-neytronli nazariyasi hozirgi vaqtda butun dunyoda tan olingan nazariya bo'lib qoldi.

Proton musbat zaryadga ega bo'lib, uning zaryadi elektron zaryadiga teng (ya'ni, elementar zaryadga teng:  $e=1,6\cdot10^{-19}$  C) va tinch holatdagi massasi  $m_p=1,6724\cdot10^{-27}$  kg. Neytronning zaryadi yo'q, u neytral zarra hisoblanadi. Neytronning massasi proton

massasidan bir oz kattaroq va  $m_n=1,6748\cdot 10^{-27}$  kg. Protonni  $p$  harfi bilan, neytronni  $n$  harfi bilan belgilash qabul qilingan. Bu zarralar **nuklonlar** deb ataladi.

Yadro va elementar zarralarning massasi, odatda, **massaning atom birligi** (m.a.b.)da ifodalanadi. *Massaning atom birligi qilib uglerod atomi massasining  $\frac{1}{12}$  qismi qabul qilingan.* Bu birlik quyidagiga teng:

$$1 \text{ m.a.b. } = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg.}$$

$$\text{Demak, } m_p=1,00747 \text{ m.a.b, } m_n=1,00892 \text{ m.a.b.}$$

Shunday qilib:

$$m_p \approx m_n = 1 \text{ m.a.b.} \approx 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg.}$$

87-§ da ko'rsatilganidek, istalgan kimyoviy element atomi yadrosining elementar zaryadlarda ifodalangan zaryadi shu elementning Mendeleyev davriy sistemasidagi atom nomeri  $Z$  ga teng. Ammo yadro zaryadi protonlar zaryadlari yig'indisiga teng, binobarin, elementning atom yadrosidagi protonlar soni  $N_p$  elementning atom nomeri  $Z$  ga teng:

$$N_p = Z.$$

Yadrodagi nuklonlar soni (ya'ni, protonlar va neytronlar yig'indisi) **yadroning massa soni** deb ataladi va  $A$  harfi bilan belgilanadi.

$$A = N + Z,$$

bunda  $N=(A-Z)$  yadrodagi neytronlar sonini bildiradi.

Massaning atom birligi (m.a.b.) da ifodalangan yadro massasining son qiymati (atom og'irligi)ga eng yaqin bo'lgan butun son massa soni  $A$  ga teng bo'ladi.

Shunday qilib, kimyoviy elementning massa soni va atom nomeriga qarab shu element yadrosidagi protonlar va neytronlar sonini bevosita aniqlash mumkin.

Kimyoviy elementlarning atomi yadrolarini  ${}_Z^AX$  simvol bilan belgilash qabul qilingan, bunda:  $X$  — elementning kimyoviy simvoli,  $A$  — massa soni;  $Z$  — atomning tartib nomeri. Masalan,  ${}_2^4\text{He}$  — geliy atomi yadrosini,  ${}_8^{16}\text{O}$  — kislorod atomi yadrosini bildiradi.

Biroq shunday elementlar borki, ularning atom yadrolarida protonlar soni bir xil, ammo neytronlar soni har xil bo'ladi. Bunday

elementlarning atomlariga shu elementning **izotoplari** deyiladi. Izotoplarning Mendeleyev jadvalidagi tartib nomeri bitta, lekin massa sonlari turlicha bo'ladi. Masalan, havoda azotning ikki izotopi bor:  $^{16}_8\text{N}$  va  $^{15}_7\text{N}$ , kislorodning uchta izotopi bor:  $^{16}_8\text{O}$ ,  $^{17}_8\text{O}$ ,  $^{18}_8\text{O}$  va hokazo.  $A$  massa soni bir xil bo'lgan yadrolar **izobarlar** deyiladi. Izobarlarga  $^{40}_{18}\text{Ar}$  va  $^{40}_{20}\text{Ca}$ ,  $^7_3\text{Li}$  va  $^7_4\text{Be}$  yadrolar misol bo'la oladi. Neytronlar soni bir xil bo'lgan yadrolar **izotonlar** deyiladi. Bunga misol qilib  $^{13}_6\text{C}$  va  $^{14}_7\text{N}$ ,  $^7_3\text{Li}$  va  $^8_4\text{Be}$  yadrolarni ko'rsatish mumkin.

Bir kimyoviy element barcha izotoplarining elektron qobiqlarining tuzilishi bir xil bo'ladi. Shuning uchun berilgan element izotoplarining kimyoviy xossalari, shuningdek, asosan, elektron qobiqning tuzilishidan kelib chiqadigan fizik xossalari ham bir xil. Biroq yadro tuzilishidan kelib chiqadigan fizik xossalari (massa soni, zichlik, radioaktivlik va hokazo) ancha farq qiladi.

Tabiatda deyarli mavjud bo'lgan hamma elementlarning izotoplari bor. Olimlar izotoplarni sun'iy yo'l bilan ham olish mumkin ekanligini tajribada ko'rsatdilar. Tabiatda kimyoviy elementlarning 300 ga yaqin turg'un izotoplari va 1000 ga yaqin sun'iy (radioaktiv) izotoplari mavjud.

## 94- §. Yadroning zaryadi, massasi va radiusini aniqlash usullari

Yadroning zaryadi, massasi va radiusi uni xarakterlovchi asosiy kattaliklar qatoriga kiradi. Yadro fizikasida bu kattaliklarni o'lchashning turli usullari ishlab chiqilgan.

1. *Yadro zaryadini aniqlashda*, masalan,  $\alpha$ -zarralarning moddada sochilishidan foydalaniladi. Sochiluvchi  $\alpha$ -zarralarning  $\frac{\Delta N}{N}$  nisbiy sonini ifodalovchi Rezerford formulasi [(130) formulaga qarang] quyidagicha edi:

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{nb}{l^2} \left( \frac{2e \cdot Ze}{m_{\alpha} \cdot v^2} \right)^2 \cdot \frac{1}{4 \cdot \sin^4 \frac{\theta}{2}}.$$

Agar bu formulada  $\alpha$ -zarraning tezligi  $v = \text{const}$  va sochilish burchagi  $\theta = \text{const}$  bo'lsa, u holda  $\frac{\Delta N}{N}$  nisbat yadroning  $Ze$  zaryadi

funksiyasi bo'lib qoladi. Demak, tajriba yo'li bilan  $\frac{\Delta N}{N}$  nisbatni o'lchab, Rezerford formulasidan yadro zaryadi  $Ze$  ni hisoblab topish imkoniyati paydo bo'ladi. 1920- yili Chedvig turli moddalardan (masalan, mis, kumush, oltin) sochuvchi modda sifatida foydalanib,  $\alpha$ -zarralarning  $\frac{\Delta N}{N}$  nisbiy sonini eksperimental aniqladi va  $Ze$  zaryadni hisobladi. Tajriba natijalari aniqlangan yadroning zaryad soni  $Z$  tajriba xatoliklari chegarasida elementning Mendeleyev davriy sistemasidagi tartib nomeri bilan mos kelishini ko'rsatdi.

2. *Yadro radiusini aniqlashda* yadroda nuklonlar doimo harakatda bo'ladi va yadroga kvant mexanikaga bo'ysunuvchi zarralar sistemasi deb qaralishi kerak. Shuning uchun nuklonlar to'liq xususiyatga ega ekanligini, demak, Geyzenbergning noaniqlik prinsipini hisobga olish kerak. Shu sababli yadro zarralari mavjud bo'ladigan sohaning o'lchamlari noaniqlik munosabatlari ruxsat etadigan aniqlikda berilishi mumkin. Binobarin, yadroning hajmi ma'lum aniq chegaralarga ega bo'la olmay, balki xuddi atomdagi elektron orbitasi kabi «surkalgan» bo'ladi.

Yetarlicha katta energiyali va elektr jihatdan neytral zarralarning, shuningdek, o'ta katta energiyali elektronlarning yadrolarda sochilishini eksperimental o'rganib, yadroning radiusini aniqlash mumkin ekan. Neytronlarning yadrolarda sochilishi bo'yicha o'tkazilgan tajribalar yadro radiusi  $R$  yadroning massa soni  $A$  ortishi bilan

$$R = R_0 \sqrt[3]{A} \quad (161)$$

qonuniyatga ko'ra kattalashib borishini ko'rsatadi, bunda  $R_0 = (1,3 \div 1,7) \cdot 10^{-15}$  m.

(161) formulani quyidagicha tushuntirish mumkin. Yadro bir-biridan bir xil masofada turgan bir xil o'lchamli zarralar yig'indisidan iborat. Shuning uchun har bir zarraga o'rtacha birday «effektiv» hajm to'g'ri keladi. U vaqtda (161) formulada ifodalangandek, yadro hajmi undagi nuklonlar soniga proporsional bo'ladi. Haqiqatan ham,  $R$  — yadroning radiusi,  $R_0$  — bitta nuklonning «radiusi» deb olinsa,

u holda  $\frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi R_0^3 \cdot A$  munosabat hosil bo'ladi. Ko'rinib turibdiki, bu munosabatdan (161) formula bevosita kelib chiqadi. Eng og'ir yadro, masalan uran yadrosining radiusi  $10^{-14}$  m tartibida ekan.

(161) formuladan yadro moddasining  $\rho$  o'rtacha zichligini topish mumkin:

$$\rho = \frac{m_{ya}}{V_{ya}} = \frac{m_{ya}}{\frac{4}{3}\pi R^3},$$

bunda:  $m_{ya}$  va  $V_{ya}$  — yadroning massasi va hajmi. Agar  $m_{ya} = m_n \cdot A$  deb qabul qilinsa, bunda  $m_n$  — neytronning massasi, unda (161) ga binoan:

$$\rho = \frac{m_n \cdot A}{\frac{4}{3} \cdot \pi (R_0 \sqrt[3]{A})^3} = \frac{m_n}{\frac{4}{3} \cdot \pi R_0^3} = \frac{3 \cdot 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}{4 \cdot 3,14 \cdot (1,5 \cdot 10^{-15})^3 \text{ m}^3} \approx 1,3 \cdot 10^{17} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Shuni qayd etish lozimki, yadro moddasining zichligi yadrodagi nuklonlar soni  $A$  ga bog'liq emas va odatdagi eng zich jismlarning zichligidan ancha katta.

3. *Atom yadrolari massalarini o'lchashning bir qator usullari mavjud bo'lib, ulardan biri mass-spektrometriya usulidir. Bu usulda zaryadli zarralarning elektr va magnit maydonlar ta'sirida og'ishidan foydalaniladi. Yadro massasi mass-spektrograf yoki mass-spektrometrlar yordamida o'lchanadi (Elektrodinamika. Tebranishlar va to'lqinlar, 2- kitob, 86- § ga qarang).*

## **95- §. Yadro kuchlari. Yadro modellari haqida tushuncha**

Yadrolar juda barqaror sistemadir, binobarin, protonlar va neytronlar yadro ichida qandaydir juda katta kuchlar bilan tutib turiladi. Yadrolarning tuzilishi haqidagi ta'limotning eng muhim masalalaridan biri yadroda mavjud bo'lgan nuklonlarni tutib turuvchi kuchlarning tabiati haqidagi masaladir.

Bu kuchlar qanday kuchlar? Yadrolar protonlar va neytronlardan iborat bo'lgani uchun bu kuchlar elektr zaryadlari o'rtasidagi oddiy o'zaro ta'sir kuchlari bo'lishi mumkin emas. Buning ustiga protonlar orasida bir-biridan itariluvchi elektr kuchlari ta'sir qiladi. Yadrodagi nuklonlarni bir-biriga bog'lab turuvchi kuchlar tortishish kuchlari ham emas, chunki proton va neytrondek kichik massali zarralar orasidagi tortishish kuchlari juda kichik, bu kuchlarning yadrodagi jarayonlarda qandaydir bir sezilarli rol o'ynashi ehtimoldan uzoq.

Demak, yadroda nuklonlarni tutib turuvchi qandaydir yangi, yadroga xos bo'lgan kuchlar mavjud bo'lishi kerak. Bu kuchlarni **yadro kuchlari** deb ataladi. Yadro kuchlari tabiatda mavjud bo'lgan kuchlarning eng qudratlisidir. Shuning uchun nuklonlarning yadro ichidagi o'zaro ta'siri **kuchli o'zaro ta'sir** deb ataladi. Yadro kuchlarining o'ziga xos tomonlari quyidagicha.

1. *Yadro kuchlari qisqa masofada ta'sir etadigan kuchlardir.* Bu kuchlar nuklonlarni bir-biridan  $10^{-15}$  m masofada ushlab turadi. Nuklonlar orasidagi masofa  $2 \cdot 10^{-15}$  m dan ortganda ularning ta'siri sezilmaydi. Nuklonlar orasidagi masofa  $1 \cdot 10^{-15}$  m dan kichik bo'lganda ular tortishish o'rniga itarishadi. Yadro kuchlari ta'sir etadigan  $r = 2 \cdot 10^{-15}$  m masofaga **yadro kuchlarining ta'sir radiusi** deyiladi.

2. *Kuchli o'zaro ta'sir nuklonlar zaryadiga bog'liq bo'lmaydi.* Ikki proton, proton va neytron, ikki neytron orasida ta'sir qiluvchi yadro kuchlari kattaligi jihatdan bir xil bo'ladi. Bu xossa **yadro kuchlarining zaryaddan mustaqilligi** deyiladi.

3. *Yadro kuchlari gravitatsion yoki Kulon kuchlari kabi markaziy kuchlar emas.* Bu kuchlar nuklonlar orasidagi masofaga bog'liq bo'lish bilan birga, yana o'zaro ta'sirlashayotgan nuklonlar spinlarining bir-biriga nisbatan qanday joylashganiga ham bog'liq bo'ladi.

4. *Yadro kuchlari to'yinish xossasiga ega.* Bu xossaga ko'ra har bir nuklon yadrodagi barcha nuklonlar bilan emas, balki o'ziga yaqin turgan chekli sanoqli nuklonlar bilangina o'zaro ta'sirda bo'ladi.

5. *Yadro kuchlari almashinish xarakteriga ega.* 1935- yilda yapon fizigi X. Yukava yadroda nuklonlar bir-biri bilan alohida elementar zarralarni almashtirish yo'li bilan o'zaro ta'sirlashadi, degan gipotezani ilgari surdi. Bu zarralarning tinchlikdagi massasi elektron va nuklon massalari oralig'ida bo'lib, taxminan  $300 m_e$  ga teng va  **$\pi$ -mezonlar** yoki **pionlar** deb ataladi (grekcha «mezon» so'zi — «o'rta» deganni bildiradi), bunda  $m_e$  — elektronning tinchlikdagi massasi. Yukava nazariyasiga ko'ra nuklonlar o'z atrofida (elektr zarayadlarining elektromagnit maydoniga o'xshash) mezon maydoni hosil qiladi. Bu maydon proton va neytronlarga turlicha ta'sir ko'rsatadi. Elektr zaryadlarning fotonlarini chiqarishi va yutishi kabi nuklonlar bu maydon kvantlari — pionlar chiqarishi va yutishi mumkin.

Yukava nazariyasi asosiy yadro hodisalarini tushuntirib berdi, lekin nuklonlarning o'z tuzilishini tushuntira olmadi. Nuklonlar nimadan tuzilgan? Bu savolga olimlarning XX asrning ikkinchi

yarmida erishgan muvaffaqiyatlari asosida javob topish mumkin (115- § ga qarang).

Yadro kuchlarining tabiatini va qonuniyatlarini tushuntirib beradigan qat'iy nazariya mavjud emas. Shu sababli atom yadrosining turli xossalari yadro modellari yordamida o'rganiladi. Shu vaqtgacha olimlar tomonidan tavsiya etilgan yadro modellarning birortasi ham yadroning xossalarini to'liq yoritib bera olmaydi. Shuning uchun bir nechta yadro modellaridan foydalaniladi. Barcha mavjud yadro modellaridan tomchi va qobiqsimon modellar samarali foydalaniladi.

*Yadroning tomchi modelini* 1938- yilda Ya.I. Frenkel ishlab chiqqan, N. Bor va Vayszeckerlar tomonidan rivojlantirilgan. Frenkel nazariyasiga ko'ra atom yadrosini zaryadlangan suyuqlik tomchisiga o'xshatish mumkin. Suyuqlik tomchisidagi molekular o'zaro molekulyar tutinish kuchlari bilan bog'langani singari yadroni tashkil qiluvchi nuklonlar ham o'zaro yadro kuchlari bilan bog'langan. Bu model yadro fizikasidagi bir qator muhim hodisalarni tushuntirishga imkon beradi, xususan butun yadro reaksiyalarini, shu jumladan, yadroning bo'linishini yaxshi tushuntirib beradi.

*Yadroning qobiqsimon modeli* atom yadrosining eng samarali zamonaviy modellaridan biri hisoblanadi. Yadro qobiqlari haqidagi g'oyani birinchi bo'lib 1932- yilda D.D. Ivanenko shakllantirgan, X. Yensen va M. Geppert-Mayer tomonidan rivojlantirilib, atom yadrosining qobiqsimon modeli yaratilgan. Bu modelga ko'ra yadroda nuklonlar ularning o'zi hosil qilgan maydonda deyarli bir-biridan mustaqil harakatlanadi. Yadroda ham, xuddi atomdagi-dek, diskret energetik sathlar bo'lib, ular nuklonlar bilan to'ldiriladi. Energetik sathlari bir-biriga yaqin bo'lgan nuklonlar yadro qobiqlarini hosil qiladi.

Hozirgi vaqtda yadroning qobiqsimon modeli oxirigacha yetkazilmagan bo'lsa-da, ko'p olimlar tomonidan tan olingan. Yadro qobiqlarining mavjudligi atom xossalaridagi davriylik kabi yadro xossalarining davriyligiga sabab bo'ladi. Masalan, yadrolar ham uyg'ongan holatda bo'lishi mumkin, ular gamma-kvantni chiqarib, normal holatga o'tadi. Tajriba natijalari atom yadrosidagi nuklonlar holati haqida taxminan atomning elektron qobig'idagi elektronlar holati haqidagi tasavvurga o'xshash tasavvur hosil qiladi. Amalda yadrolarning 2, 8, 14, 20, 28, 50, 82, 126 ta nuklonlar bilan to'ldirilgan qobiqlari topilgan. Berk yadro qobig'idagi nuklonlarning bu sonini **magik sonlar** (*sehrli sonlar*) deb ataladi. Aniqlanishicha,

nuklonlar (proton yoki neytronlar) soni magik sonlarga teng bo'lgan yadrolar boshqalariga qaraganda turg'unroq bo'lar ekan.

## 96- §. Yadroning bog'lanish energiyasi. Massa defekti

Atom yadrosidagi nuklonlar orasidagi bog'lanishni uzish uchun, ya'ni nuklonlarni to'la ajratib yuborish uchun ma'lum energiya miqdorini sarflash (ish bajarish) kerak.

*Yadroni tashkil qilgan nuklonlarni bir-biridan ajratib yuborish uchun zarur bo'lgan energiya **yadroning bog'lanish energiyasi** deb ataladi.* Yadroning bog'lanish energiyasi qancha katta bo'lsa, yadro shuncha barqaror bo'ladi. Energiyaning saqlanish qonuniga asosan zarralar birikib yadro hosil qilganda bog'lanish energiyasi ajralib chiqadi.

Bog'lanish energiyasining kattaligini energiyaning saqlanish qonuni hamda massa bilan energiyaning o'zaro proporsionallik qonuni (63- § ga qarang) asosida aniqlash mumkin.

Energiyaning saqlanish qonuniga asosan yadroda bog'langan nuklonlar energiyasi ajratib yuborilgan nuklonlar energiyasidan yadroning bog'lanish energiyasi  $W_b$  kattaligicha kam bo'lishi kerak. Ikkinchi tomondan, massa va energiyaning proporsionallik qonuniga asosan sistema energiyasi  $\Delta W$  ga ortganda, sistema massasi proporsional ravishda  $\Delta m$  ga ortadi:

$$\Delta W = \Delta m \cdot c^2, \quad (162)$$

bunda:  $c$  — yorug'likning vakuumdagi tezligi.

Yadrolarning massalarini eng aniq o'lchash natijalari shuni ko'rsatadiki, yadroning tinchlikdagi massasi  $m_{ya}$  uning tarkibiga kiruvchi hamma zarralar massalarining yig'indisidan hamisha kichik bo'ladi, chunki nuklonlar birikib yadro hosil qilganda nuklonlarning  $W_b$  bog'lanish energiyasi ajralib chiqadi.

Binobarin, yadroning massasi:

$$m_{ya} < Z \cdot m_p + N \cdot m_n, \quad (163)$$

bunda:  $Z$  — protonlar soni;  $N$  — neytronlar soni;  $m_p$  — proton massasi;  $m_n$  — neytron massasi.

Massalar ayirmasi

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - m_{ya} \quad (164)$$

musbat kattalikdir. Bu  $\Delta m$  kattalik **massa defekti** (massaning yetishmasligi) deb ataladi. Agar yadroning massa defekti  $\Delta m$  ma'lum

bo'lsa, (162) formula bo'yicha shu yadroning bog'lanish energiyasini hisoblash mumkin.

Ixtiyoriy yadroning massa defektiga ko'ra bog'lanish energiyasini hisoblashning umumiy formulasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$W_b = c^2 \{ [Z m_p + (A - Z) m_n] - m_{ya} \}, \quad (165)$$

bunda:  $A$  — yadroning massa soni. Biroq bunda  $W_b$  energiya va  $\Delta m$  massa qayoqqa ketadi?

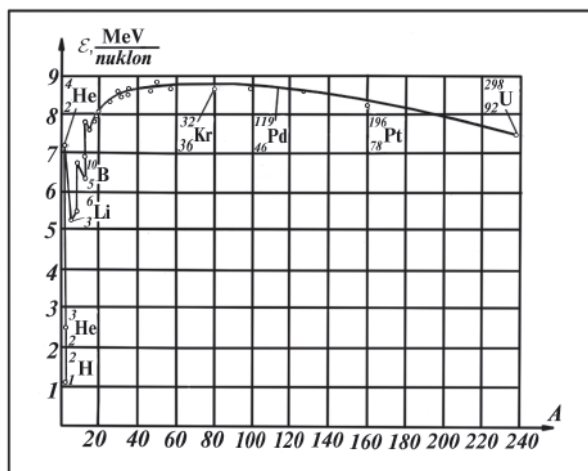
Zarralardan yadro hosil bo'lishida zarralar yadro kuchlarining qisqa masofada ta'sir qilishi hisobiga bir-biriga qarab nihoyatda katta tezlanish bilan harakatlanadi. Natijada nurlanadigan gamma kvant (juda qisqa elektromagnit to'lqin)larning energiyasi nuklonlarning bog'lanish energiyasiga teng bo'ladi.

Nuklonlar va yadroning massasini massaning atom birliklarida ifodalab:

$$c^2 \cdot 1 \text{ m.a.b.} = 9 \cdot 10^{16} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = - \frac{14,94 \cdot 10^{-11}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} = 931 \text{ MeV}$$

ekanini e'tiborga olsak, (165) formulani quyidagicha yozish mumkin:

$$W_b = 931 \{ [Z m_p + (A - Z) m_n] - m_{ya} \} \text{ MeV.} \quad (166)$$



204- rasm.

Bitta nuklonga to'g'ri kelgan yadro bog'lanish energiyasi **solishtirma bog'lanish energiyasi** deb ataladi va  $\epsilon$  harfi bilan belgilanadi, binobarin:

$$\epsilon = \frac{W_b}{A}. \quad (166 \text{ a})$$

Solishtirma bog'lanish energiyasi atom yadrolarining barqarorligini xarakterlaydi. Solishtirma bog'lanish energiyasi qancha katta bo'lsa, yadro ham shunchalik barqaror bo'ladi. Eng yengil yadrolarni hisobga olmaganda, solishtirma bog'lanish energiyasi o'zgarmas qiymatga ega bo'lib, taxminan  $8,3 \frac{\text{MeV}}{\text{nuklon}}$  ga teng. 204-rasmda solishtirma bog'lanish energiyasining massa soniga bog'lanish grafigi tasvirlangan.

Yengil elementlarda solishtirma bog'lanish energiyasining kam bo'lishiga sirt effektlari sabab bo'ladi. Yadroning sirtidagi nuklonlar o'zining qo'shni zarralar bilan bo'lgan bog'lanishlaridan to'la foydalana olmaydi va yadro qancha kichik bo'lsa, uning uchun sirt effektlari hajmiy effektlarga qaraganda shuncha katta rol o'ynaydi.

Og'ir yadrolarda solishtirma bog'lanish energiyasi atom nomerining ortishi bilan protonlarning kulon itarishish energiyasi hisobiga kichik bo'ladi. Masalan, eng og'ir tabiiy element hisoblangan uran uchun u  $7,5 \frac{\text{MeV}}{\text{nuklon}}$  ga teng. Solishtirma bog'lanish energiyasining massa soniga bunday bog'langan bo'lishi quyidagi ikki jarayonning energetik nuqtayi nazardan mumkin bo'lishiga imkon yaratadi:

1) og'ir yadrolarning bir nechta yengilroq yadrolarga bo'linishi va 2) yengil yadrolar qo'shib, bitta og'ir yadro hosil bo'lishi. Ikkala jarayonda ko'p miqdorli energiya ajralib chiqishi kerak. Masalan,

massa soni  $A = 240$  ( $\epsilon = 7,5 \frac{\text{MeV}}{\text{nuklon}}$ ) bo'lgan bitta yadroning massa sonlari

$A = 120$  dan ( $\epsilon = 8,5 \frac{\text{MeV}}{\text{nuklon}}$ ) bo'lgan ikkita yadroga bo'linishi  $240 \text{ MeV}$  energiya ajralishiga olib kelgan bo'lar edi. Ikkita og'ir vodorod  ${}_1\text{H}^2$  yadrosi birlashib,  ${}_2\text{He}^4$  geliy hosil qilishda taxminan  $24 \text{ MeV}$  energiya chiqqan bo'lar edi. Taqqoslash uchun ko'rsatish mumkinki, bitta uglerod atomi ikkita kislorod atomi bilan birikkanda (reaksiya mahsuloti karbonat anhidrid  $\text{CO}_2$  bo'ladi) taxminan  $5 \text{ eV}$  energiya chiqadi.

Og'ir yadrolarda solishtirma bog'lanish energiyasining yengil yadrolardagiga nisbatan kichik bo'lishi, og'irroq elementlar atomlarining yadrolari uncha mustahkam emasligini ko'rsatadi.

### Takrorlash uchun savollar

1. Atom yadrosi qanday tuzilgan?
2. Yadro va elementar zarralarning massalari qanday birlikda o'lchanadi?
3. Massa soni nimani aniqlaydi?
4. Yadro tarkibi qanday aniqlanadi? Mendeleyev jadvalidan foydalanib misollar keltiring.
5. Izotoplar, izobarlar va izotonlar deb qanday yadrolarga aytiladi? Misollar keltiring.
6. Yadro kuchlari qanday kuchlar? Yadro kuchlarining ta'sir radiusi nima?
7. Yadro kuchlarining zaryaddan mustaqilligi deganda nimani tushuniladi? Yadro kuchlari to'yinish xossasiga ega deganda-chi?
8. Yadro kuchlarining mezon nazariyasi qanday tasavvurga asoslanadi?
9. Yadro modellaridan nima maqsadlarda foydalaniladi?
10. Yadroning tomchi va qobiqsimon modellarini tavsiflab bering.
11. Yadroning bog'lanish energiyasi va solishtirma bog'lanish energiyasiga ta'rif bering.
12. Massa defekti nima? U qanday aniqlanadi?
13. Nima uchun og'ir yadrolarda nuklonlarning solishtirma bog'lanish energiyasi yengilroq yadrolardagiga nisbatan kamroq bo'ladi?

### Masala yechish namunalari

**1- masala.**  ${}^{14}_7\text{N}$ ,  ${}^{207}_{82}\text{Pb}$  va  ${}^{238}_{92}\text{U}$  yadrolarining tarkibida qancha proton va qancha neytron bor? Bu elementlarning yadrolari atrofida nechta elektron harakatlanadi?

*Berilgan:*  ${}^{14}_7\text{N}$ ,  ${}^{207}_{82}\text{Pb}$ ,  ${}^{238}_{92}\text{U}$ .

*Topish kerak:*  $Z$ —?  $N$ —?

*Yechilishi.* Azot yadrosi  ${}^{14}_7\text{N}$  ning simvolik yozilishidan ko'rinadiki, bunda massa soni  $A=14$ , protonlar soni  $Z=7$ , binobarin, neytronlar soni  $N=A-Z=14-7=7$ . Atom neytral bo'lganidan, undagi protonlar soni elektronlar soniga teng bo'ladi. Demak, bu element yadrosining atrofida 7 ta elektron harakatlanadi.

Xuddi shuningdek, qo'rg'oshinning yadrosi  ${}^{207}_{82}\text{Pb}$  uchun:  $A=207$ ,  $Z=82$ ,  $N=A-Z=207-82=125$  va qo'rg'oshin atomida 82 ta elektron;

$^{238}_{92}\text{U}$  uran yadrosi uchun:  $A=238$ ,  $Z=92$ ,  $N=A-Z=238-92=146$  va atomda 92 ta elektron bor.

**2- masala.** Neon izotopi  $^{20}_{10}\text{Ne}$  yadrosining massa defektini hisoblang.

*Berilgan:*  $^{20}_{10}\text{Ne}$ ;  $m_p=1,6724\cdot 10^{-27}$  kg;  $m_n=1,6748\cdot 10^{-27}$  kg;  $m_{ya}=33,1888\cdot 10^{-27}$  kg.

*Topish kerak:*  $\Delta m$ —?

*Yechilishi.* Ta’rifga muvofiq yadroning massa defekti quyidagiga teng:

$$\Delta m = Zm_p + (A-Z)m_n - m_{ya}.$$

Neon elementi  $^{20}_{10}\text{Ne}$  ning simvolik yozuvidan  $A=20$  va  $Z=10$ . U holda massa defektining ifodasi

$$\Delta m = 10m_p + (20-10)m_n - m_{ya} = 10(m_p + m_n) - m_{ya}$$

ko‘rinishga keladi.

*Hisoblash:*

$$\Delta m = [10(1,6724\cdot 10^{-27} + 1,6748\cdot 10^{-27}) - 33,1888\cdot 10^{-27}] \text{ kg} = 2,832\cdot 10^{-28} \text{ kg}.$$

**3- masala.** Litiy izotopi  $^7_3\text{Li}$  yadrosining bog‘lanish energiyasini toping.

*Berilgan:*  $m_p=1,6724\cdot 10^{-27}$  kg;  $m_n=1,6748\cdot 10^{-27}$  kg;

$m_{ya}=11,6475\cdot 10^{-27}$  kg

*Topish kerak:*  $W_b$ —?

*Yechilishi.* Yadroning bog‘lanish energiyasi  $W_b = \Delta m \cdot c^2$ . Bunga  $\Delta m$  massa defektining ifodasini keltirib qo‘yamiz:

$$W_b = c^2 [Zm_p + (A-Z)m_n - m_{ya}].$$

Litiy izotopi  $^7_3\text{Li}$  ning simvolik yozuvidan  $A=7$ ,  $Z=3$ . Bu kattaliklarni bog‘lanish energiyasining ifodasiga keltirib qo‘yamiz. U vaqtda quyidagi munosabatni hosil qilamiz:

$$W_b = c^2 (3m_p + 4m_n - m_{ya}).$$

*Hisoblash:*

$$W_b = (3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 \cdot (3 \cdot 1,6724 \cdot 10^{-27} + 4 \cdot 1,6748 \cdot 10^{-27} -$$

$$- 11,6475 \cdot 10^{-27}) \text{ kg} = 6,201 \cdot 10^{-12} \text{ J}.$$

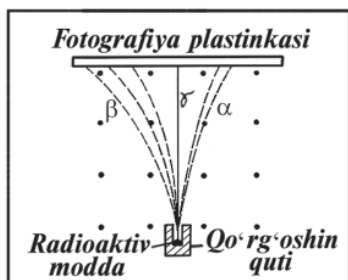
## Mustaqil yechish uchun masalalar

152. Geliy  ${}^4_2\text{He}$ , litiy  ${}^6_3\text{Li}$ , natriy  ${}^{23}_{11}\text{Na}$ , temir  ${}^{54}_{26}\text{Fe}$  va molibden  ${}^{94}_{42}\text{Mo}$  yadrolarining tarkibini aniqlang.
153. a)  $7p+7n$ ; b)  $51p+71n$ ; d)  $101p+155n$  nuklonlari bo'lgan kimyoviy elementning nomini ayting.
154. Kislorod izotoplari  ${}^{16}_8\text{O}$ ,  ${}^{17}_8\text{O}$  va  ${}^{18}_8\text{O}$  ning yadrolari bir-biridan nima bilan farq qiladi?
155. Elektronning tinch holatdagi massasini massaning atom birligi (m.a.b.) da hisoblab toping.
156. Vodorod atomining massasi 1,00814 m.a.b. ga teng. Protonning tinch holatdagi massasini m.a.b. da hisoblab toping.
157. Energiyaning 4,19 J o'zgarishi massaning qanday o'zgarishiga mos keladi?
158. Elektron massasining miqdorini tinch turgan elektron massasi miqdoricha o'zgartirilganda uning energiyasining o'zgarishini toping.
159. Vodorod izotopi  ${}^2_1\text{H}$  yadrosining massa defektini hisoblang.
160. Alyuminiy atomi  ${}^{27}_{13}\text{Al}$  yadrosining bog'lanish energiyasini toping.
161. Geliy atomi  ${}^4_2\text{He}$  yadrosining bog'lanish energiyasini toping.

## 97- § Radioaktivlik. Alfa-, beta- va gamma-nurlar

Beqaror kimyoviy element izotoplarining elementar zarralar chiqarib o'z-o'zidan boshqa element izotopiga aylanishiga **radioaktivlik** deyiladi. Bunday aylanishlarning asosiy sabablari: 1)  $\alpha$ -yemirilish, 2)  $\beta$ -yemirilish va 3) og'ir yadrolarning spontan ravishda (o'z-o'zidan) bo'linishidir.

Tabiiy sharoitlarda mavjud bo'lgan izotoplarda kuzatiladigan radioaktivlik **tabiiy radioaktivlik** deyiladi. *Atom yadrolarining katta tezlik bilan harakatlanayotgan elementar zarralar yoki boshqa atomlarning yadrolari ta'sirida bo'ladigan aylanish jarayoni **yadro reaksiyasi** deb ataladi* Yadro reaksiyalari vositasida olinadigan izotoplarning radioaktivligi **sun'iy radioaktivlik** deyiladi. Sun'iy va tabiiy radioaktivlik orasida prinsipial farq yo'q. Ikkala holda ham



205- rasm.

yuz beradigan radioaktiv yemirilish jarayoni bir xil qonunlarga bo'ysunadi.

Tabiiy radioaktivlikni birinchi marta 1896- yilda fransuz fizigi Bekkerel kashf qilgan. U uran tuzi lyuminessensiyalanishni vujudga keltiradigan, noshaffof moddalar qatlamidan o'ta oladigan, gazlarni ionlashtira oladigan, fotografiya plastinkasini qoraytiradigan ko'rinmas nurlar chiqarishini payqagan. Uranning turli kimyoviy birikmalarini tekshirib ko'rib, Bekkerel muhim haqiqatni aniqladi: nurlanish intensivligi preparatdagi uranning faqat miqdoriga bog'liq bo'lib, uning qanday birikmalar tarkibida qatnashishiga bog'liq bo'lmas ekan. Binobarin, bu xossa birikmalarga emas, balki uran elementiga, uning atomlariga xos ekan.

Bu kashfiyot bilan qiziqib qolib, Mariya Sklodovskaya-Kyuri va Per Kyuri bu hodisani chuqur o'rgandilar va urandan tashqari toriy (Th), aktiniy (Ac) va uranning toriy bilan kimyoviy birikmalari ham shunday xossaga ega ekanligini aniqladilar. Tadqiqotlarni davom ettirib, Mariya Sklodovskaya-Kyuri va Per Kyuri 1898- yilda ilgari ma'lum bo'lmagan yangi kimyoviy element — poloniy (Po) va radiy (Ra) ni topdilar. Radiy elementi juda quvvatli nurlanishga (uning aktivligi uranga nisbatan bir necha million marta katta) ega. Bu elementlarning hammasini **radioaktiv elementlar**, ular chiqaradigan nurlarni **radioaktiv nurlar**, hodisa esa **radioaktivlik** deb ataladi. Hozirgi vaqtda 40 dan ortiq tabiiy radioaktiv elementlar va 270 dan ortiq radioaktiv birikmalar ma'lum.

Radioaktiv nurlanish o'z tarkibiga ko'ra murakkabdir. Bu nurlanishning fizik tabiatini o'rganishda Bekkerel va er-xotin Kyurilardan tashqari Rezerford ham o'z hissasini qo'shgan.

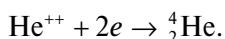
Quyidagi klassik tajriba radioaktiv nurlanishning tarkibi murakkab ekanligini aniqlashga imkon berdi (205- rasm). Radioaktiv modda qo'rg'oshin qutining tubiga joylashtirilgan. Tor tirqishdan

chiqayotgan radioaktiv nurlanishga kuchli magnit maydon ta'sir qiladi (205- rasmda magnit maydonning kuch chiziqlari rasm tekisligiga tik holda kitobxonga yo'nalgan va nuqtalar bilan ko'rsatilgan). Butun qurilma vakuumga joylashtirilgan.

Magnit maydon ta'sirida radioaktiv nurlanish uch tarkibiy qismga ajraladi, ular  **$\alpha$ -nurlar**,  **$\beta$ -nurlar** va  **$\gamma$ -nurlar** deb ataladi. Bu nurlarning tabiati va asosiy xossalari bilan tanishib chiqaylik.

1. Alfa-nurlar elektr va magnit maydonda og'adi; bu nurlar  $\alpha$ -zarralar deb ataladigan geliy ( ${}^4_2\text{He}$ ) atomi yadrolari oqimidan iborat bo'lib, har bir  $\alpha$ -zarra ikkita elementar musbat zaryad ( $+2e$ ) ga ega va massa soni 4 ga teng. Alfa-zarralar radioaktiv elementlar yadrolaridan 14 000 dan 20 000 km/s gacha tezlikda uchib chiqadi, bu 4 dan 9 MeV gacha kinetik energiyaga to'g'ri keladi. ( $\alpha$ -zarralarning tezliklari turli elementlar uchun turlicha, lekin ayni bir element uchun deyarli bir xildir).

$\alpha$ -zarra modda orqali o'tishida o'z elektr maydoni bilan uning atomlariga ta'sir qilib, ularni kuchli ionlashtiradi va o'z energiyasini atomlarni ionlashga sarflab to'xtaydi; bunda u moddada mavjud bo'lgan erkin elektronlardan ikkitasini o'ziga qo'shib oladi va geliy atomiga aylanadi:



$\alpha$ -zarraning moddadan o'tgan yo'lini (to'xtashgacha) uning odimi (yugurishi), ya'ni ***o'tuvchanlik qobiliyati*** deyiladi,  $\alpha$ -zarraning odimida hosil qilgan juft ionlar sonini esa uning ionlashtirish qobiliyati deyiladi.

Masalan,  $\alpha$ -zarraning havoda o'tgan yo'li 3—9 sm ni tashkil qiladi, ularning ionlashtirish qobiliyati esa 100000—250000 juft ionga teng,  $\alpha$ -zarraning ionlashtirish qobiliyati yuqori, lekin o'tuvchanlik qobiliyati zaif. Ularni yupqa alyuminiy varag'i yoki qog'oz varag'i bilan ham tutib qolish mumkin.

2. Beta-nurlar elektr va magnit maydonlarda og'adi. Ular tez harakatlanuvchi elektronlar oqimidan iborat bo'lib,  **$\beta$ -zarralar** deb ataladi.  $\beta$ -zarraning massasi  $\alpha$ -zarra massasidan 7350 marta kichik, uning o'rtacha tezligi 160000 km/s ga yaqin. 205- rasmda magnit maydonda zarralarning og'ishi ko'rsatilgan.  $\beta$ -zarraning energiyasi MeV ning yuzdan bir ulushidan bir necha MeV gacha bo'ladi yoki boshqacha aytganda,  $\beta$ -zarralar tezlikning mumkin bo'lgan barcha qiymatlarini olishi mumkin: radioaktiv elementning yadrosi

tezligi nolga yoki yorug'lik tezligiga yaqin bo'lgan  $\beta$ -zarralarni chiqarishi mumkin.

$\beta$ -zarraning massasi nihoyatda kichik, o'rtacha tezligi katta va faqat bitta elementar zaryadga ega bo'lganidan uning ionlashtirish qobiliyati  $\alpha$ -zarranikidan o'rtacha 100 marta kam, o'tuvchanlik qobiliyati esa xuddi shuncha marta katta bo'ladi. Masalan, yuqori energiyali  $\beta$ -zarra havoda 40 m gacha, alyuminiyda 2 sm gacha, biologik to'qimada 6 sm gacha yo'l o'tadi.

3) Gamma-nurlar — chastotasi juda katta ( $10^{20}$  Hz), to'lqin uzunligi esa juda qisqa ( $10^{-12}$  m) bo'lgan elektromagnit to'lqinlar, ya'ni,  $\gamma$ -fotonlar oqimidan iborat.  $\gamma$ -fotonlarning energiyasi 1 MeV chamasida bo'ladi.

$\gamma$ -nurlar eng qattiq elektromagnit nurlar bo'lib, ko'p jihatdan rentgen nurlariga o'xshashdir. Ularga elektr va magnit maydonlar ta'sir qilmaydi (205- rasmga qarang), yorug'lik tezligiga teng tezlik bilan tarqaladi, kristalldan o'tishida difraksiyalanadi, havo qatlamidan o'tadi. Kishi tanasidan bemalol o'tib ketadi.

$\gamma$ -nurlarning ionlashtirish qobiliyati sust, lekin o'tuvchanligi juda katta. Eng qattiq  $\gamma$ -nurlar qalinligi 5 sm bo'lgan qo'rg'oshin qatlamidan yoki qalinligi bir necha yuz metr bo'lgan havo qatlamidan o'tadi. Kishi tanasidan bemalol o'tib ketadi.  $\gamma$ -nurlar atom yadrosidan hech vaqt mustaqil chiqmaydi, ular yoki  $\alpha$ -zarralar bilan, yoki  $\beta$ -zarralar bilan, yoxud ikkala xil zarralar bilan birga chiqadi.

## 98- §. Siljish qoidalari. Neytrino

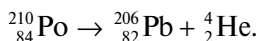
Radioaktiv nurlanish atomlarning elektron qobiqlaridan emas, balki atom yadrolaridan chiqadi.  $\alpha$ -nurlar uchun bu ravshan, chunki elektron qobiqda  $\alpha$ -zarrani tashkil qiladigan protonlar va neytronlar yo'q.  $\beta$ -nurlanishning ko'rsatilgan har qanday ta'sirga bog'liq ekanligidan,  $\beta$ -zarralar yadro tarkibiga kirmasa ham, ularni yadro yemirilishi jarayonida hosil bo'ladi, deb hisoblash o'rinlidir. Ravshanki, radioaktiv nurlanish nurlanayotgan element atomlarining boshqa element atomlariga aylanishiga olib keladi.

**$\alpha$ -yemirilishda** yadrodan  $\alpha$ -zarra uchib chiqadi. Yadro miqdor jihatidan ikkita elektron zaryadiga teng musbat zaryadni yo'qotadi va massa soni 4 ga kamayadi. Natijada element elementlar davriy sistemasining boshiga qarab ikki katakka siljiydi.

Bu siljish simvolik ko'rinishda quyidagicha yoziladi:

$${}^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2\alpha. \quad (167)$$

Masalan:



Poloniy elementi  $\alpha({}^4_2\text{He})$  yemirilish natijasida qo'rg'oshin elementiga aylanadi.

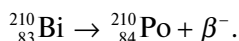
Yadrolarning o'z-o'zidan  $\beta$ -zarralarni (ya'ni, elektronlar va pozitronlarni) chiqarish jarayoni  **$\beta$ -yemirilish** deyiladi. Elektronlarni simvolik  ${}^0_{-1}e$  yoki  $\beta^-$  ko'rinishda belgilanadi, «0» indeks elektronning massasi atom massasi birligiga nisbatan nazarga olmasa bo'ladigan darajada kichik ekanini bildiradi. Demak, elektronning massa soni 0 ga teng deb olinadi.

Pozitron elektronning antizarrasidan iborat (122- § ga qarang). Uning massasi, spini elektron massasi va spiniga teng, lekin zaryadi musbat. Pozitronni simvolik  ${}^0_{+1}e$  yoki  $\beta^+$  ko'rinishda belgilanadi. Pozitronning ham massa soni 0 ga teng.

Shunday qilib,  $\beta$ -yemirilishda yadrodan elektron uchib chiqadi. Natijada yadro zaryadi bir birlikka ortadi, massasi esa amalda o'zgar-may qoladi. Demak,  $\beta^-$ -yemirilishda radioaktiv element massa sonini o'zgartmagani holda atom nomeri bir nomerga katta bo'lgan boshqa elementga aylanadi va elementlar davriy sistemasining oxiriga qarab bir katakka siljiydi:

$${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}Y + {}^0_{-1}e \text{ yoki } {}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}Y + \beta^-. \quad (168)$$

Masalan:

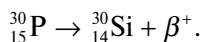


Vismut elementi  $\beta$ -yemirilish natijasida poloniy elementiga ayla-nadi.

$\beta^+$ -yemirilishda yadrodan pozitron uchib chiqadi. Natijada yadro zaryadi bir birlik kamayadi, massasi deyarli o'zgarmaydi. Demak,  $\beta^+$ -yemirilishda radioaktiv element massa sonini o'zgartirmagani holda atom nomeri bir nomerga kichik bo'lgan boshqa elementga aylanadi va elementlar davriy sistemasida oldinga qarab bir katakka siljiydi:

$${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z-1}Y + {}^0_{+1}e \text{ yoki } {}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z-1}Y + \beta^+. \quad (169)$$

Masalan:



Fosfor elementi  $\beta^{+}$ -yemirilish natijasida kremniy elementiga aylanadi.

Atom yadrosi nuklonlar – proton va neytronlardan tarkib topgan, unda na elektron va na pozitron bor, shunday ekan, radioaktiv yadrolarda  $\beta$ -yemirilish qanday ro'y beradi, degan savol tug'ilishi mumkin. Haqiqatan ham, atom yadrosining proton-neutron tuzilishi yadrodan  $\beta$ -zarralarning chiqishini inkor etgandek ko'rinadi.

$\beta$ -yemirilish nazariyasini 1934- yilda italyan fizigi E. Fermi yaratdi. Unda olim elektron va neytrino yadroda nuklonning yemirilishi paytida paydo bo'ladi, deb taxmin qildi. (Neytrino tinchlikdagi massasi nolga teng bo'lgan neytral zarra). Haqiqatan ham, tekshirishlar  $\beta$ -yemirilish proton va neytronlarning o'zaro aylanishi natijasi ekanligini ko'rsatdi. Yadroning  $\beta$ -zarralarni chiqarishi atomning fotonlarni chiqarishiga o'xshaydi. Uyg'otilgan atomda fotonlar bo'lmaydi, lekin atom bir energetik holatdan ikkinchi energetik holatga o'tish jarayonida fotonlar hosil bo'ladi va chiqariladi. Xuddi shuningdek, nuklonlar bir kvant holatdan boshqasiga o'tish jarayonida elektronlar yoki pozitronlar hosil bo'ladi. Masalan, nuklonning neytron holatdan proton holatga o'tishi elektronlarni chiqarish bilan va, aksincha, proton holatdan neytron holatga o'tishi pozitron chiqarish bilan sodir bo'ladi (113-§ ga qarang).

1931- yilda Pauli  $\beta$ -yemirilishda  $\beta$ -zarralar bilan birga zaryadi va tinchlikdagi massasi nolga teng bo'lgan zarra — neytrino ham ajralishi kerakligini gipoteza shaklida aytgan. Neytrino nol massali va zaryadsiz bo'lgani uchun katta qalinlikdagi jismlardan o'tib keta oladi, atom yadrosi bilan ta'sirlashishi juda kam ehtimolga ega. Shuning uchun neytrinoni payqash juda qiyin. 1936- yilda ukrainalik fizik A.I. Leypunskiy  $\beta$ -yemirilishda tepki yadrolarning energiyasini o'lchash asosida neytrino haqidagi gipotezani bilvosita tasdiqladi, 1956- yilda amerikalik fiziklar F. Reynes va K. Kouen birgalikda birinchi marta erkin antineytrinoni eksperimental qayd etganlar (antineytrino neytrinoning antizarrasi, 112- § ga qarang).

**$\gamma$ -nurlanishda** yadroning zaryadi o'zgarmaydi; yadroning massasi esa juda kam o'zgaradi. Radioaktiv elementlarning davriy sistemadagi siljishini aniqlaydigan (167)-(169) qoidalarni **siljish qoidalari** deb ataladi. Bu qoidalarni 1913- yilda nemis fizik-kimyodagi Fayans va undan mustaqil ravishda ingliz radiokimyogari F. Soddi ta'riflab bergan.

## 99- §. Radioaktiv yemirilish qonuni. Radioaktiv oila

Radioaktiv yemirilish element atomlarining asta-sekin kamayishi olib keladi. Qachon va aynan qaysi atomning yemirilishini oldindan aytilish mumkin emas, binobarin, radioaktiv yemirilish tasodifiy xarakterga ega. Har bir atomning ma'lum vaqt oralig'ida yemirilish ehtimoli to'g'risidagina gapirish mumkin.

Radioaktiv element yemirilish tezligini xarakterlash uchun *yarim yemirilish davri* tushunchasi kiritiladi. ***Yarim yemirilish davri*** deb, boshlang'ich element atomlari miqdorining ikki marta kamayishi uchun ketgan vaqtga aytiladi.

Radioaktiv yemirilish qonuni juda sodda. Bu qonunning matematik ifodasini topaylik.  $t = 0$  bo'lgan boshlang'ich paytda radioaktiv atomlar soni  $N_0$  ga teng bo'lsin. U holda yarim yemirilish davri  $T$  o'tgandan keyin bu son  $N_0/2$  ga teng bo'lib qoladi. Yana bitta shunday davr o'tgandan keyin bu son:

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{N_0}{2} = \frac{N_0}{2^2}$$

ga teng bo'lib qoladi.  $t = nT$  vaqt o'tganda, ya'ni  $n$  ta yarim yemirilish davri o'tgandan keyin qoladigan radioaktiv atomlar soni quyidagiga teng bo'ladi:

$$N = N_0 \frac{1}{2^n}.$$

Lekin  $n = \frac{t}{T}$  bo'lganligi uchun:

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}. \quad (170)$$

Bu (170) ifoda radioaktiv yemirilishning asosiy qonunidir. Bu qonunni quyidagicha o'zgartiramiz:

$$\frac{N}{N_0} = 2^{-\frac{t}{T}}.$$

So'ngra munosabatning ikki tomonini logariflaymiz:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\frac{t}{T} \ln 2, \quad (171)$$

bu ifodaga kiruvchi

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0,693}{T} \quad (172)$$

kattalik **radioaktiv yemirilish doimiysi** deb ataladi.

U yarim yemirilish davriga teskari proporsional bo'lgan kattalik bo'lib, radioaktiv yadroning birlik vaqt ichida yemirilish ehtimolini bildiradi. (172) ifodani e'tiborga olib, (171) munosabatni quyidagicha yozamiz:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t.$$

Bu ifodani potensirlab, **radioaktiv yemirilish qonuni** uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

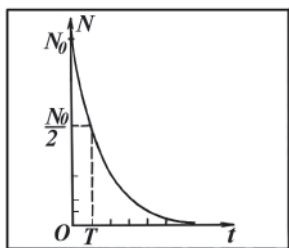
$$N = N_0 e^{-\lambda t}. \quad (173)$$

Radioaktiv yemirilish qonuni grafik ravishda 206- rasmda ko'rsatilgan.

Yarim yemirilish davri turli radioaktiv elementlar uchun turlichadir. Masalan, uran uchun 4,5 mlrd yil, radiy uchun 1600 yil. Yarim yemirilish davri radioaktiv yemirilish tezligini xarakterlovchi asosiy kattalikdir. Bu davr qancha kichik bo'lsa, yemirilish shuncha intensiv bo'ladi. Binobarin, radiyning aktivligi (1 sekundda yemiriladigan atomlar soni) uranning aktivligidan ancha katta ekan.

Yarim yemirilish davri moddaning massasiga bog'liq emas. Bir gramm moddadagi atomlarning yarmi qancha vaqt ichida yemirilsa, 1 kilogramm, 1 tonna va ixtiyoriy boshqa massali modda atomlarining yarmi ham shuncha vaqt ichida yemiriladi.

Bundan tashqari muayyan radioaktiv elementning yarim yemirilish davri bu elementning kimyoviy jihatdan sof yoki boshqa elementlar bilan birikma sifatida olinganiga bog'liq bo'lmasligi tajribada aniqlangan.



206- rasm.

Ayni radioaktiv moddaning yarim yemirilish davri o'zgarmas kattalik ekanligini va uning qiymatini hech qanday tashqi ta'sir (past va yuqori temperatura, bosim, magnit maydoni va hokazo) o'zragtira olmasligini ko'pgina tajribalar ko'rsatadi. Yarim yemirilish davrining tashqi sharoitga bog'liq emasligi radioaktiv yemirilish atom yadrolarining xossalari ekanligini bildiradi, odatdagi yer

sharoitidagi ta'sirlarning energiyasi esa atom yadrolarini o'zgartirish uchun yetarli emas.

Radioaktiv yemirilish doimiysiga teskari bo'lgan

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (174)$$

kattalikni radioaktiv izotopning ***o'rtacha yashash vaqti*** deb ataladi. Radioaktiv yemirilish qonuniga ko'ra  $t = \tau$  vaqt o'tgandan so'ng quyidagicha bo'ladi:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 e^{-\lambda \tau} = N_0 e^{-\lambda \frac{1}{\lambda}} = \frac{N_0}{e}.$$

Demak, radioaktiv yemirilish tufayli boshlang'ich radioaktiv yadrolar soni  $N_0$  ning  $e$  marta kamayishi uchun ketgan vaqt radioaktiv izotopning o'rtacha yashash vaqtiga teng ekan. (172) va (174) formulalardan

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{0,693} = 1,44T \quad (175)$$

ekanligi kelib chiqadi, ya'ni o'rtacha yashash vaqti  $\tau$  yarim yemirilish davri  $T$  dan taxminan 1,5 marta katta ekan.

Radioaktiv yemirilishda paydo bo'ladigan yangi yadrolar, o'z navbatida, radioaktiv bo'lishi mumkin. Shuning uchun radioaktiv yemirilish jarayoni radioaktiv aylanishlar zanjirini hosil qiladi, bu zanjir bilan bog'langan yadrolar ***radioaktiv qator*** yoki ***radioaktiv oila*** deb ataladi.

Hozirgi vaqtda tabiiy radioaktiv yadrolar uchta, sun'iy radioaktiv yadrolar esa bitta oilani tashkil qiladi? Ularning har biri stabil yadro bilan tugallanadi:

1. Uran-radiy oilasi uran  ${}^{238}_{92}\text{U}$  izotopidan boshlanadi va qo'rg'oshinning stabil  ${}^{206}_{82}\text{Pb}$  izotopi bilan tugallanadi.

2. Aktiniy oilasi aktinouran  ${}^{235}_{92}\text{U}$  izotopidan boshlanadi va qo'rg'oshinning stabil  ${}^{208}_{82}\text{Pb}$  izotopi bilan tugallanadi.

3. Toriy oilasi toriy  ${}^{222}_{90}\text{Th}$  izotopidan boshlanadi va qo'r-g'oshinning stabil  ${}^{208}_{82}\text{Pb}$  izotopi bilan tugallanadi.

4. Neptuniy oilasi (sun'iy radioaktiv oila) neptuniy  ${}^{237}_{93}\text{Np}$  izotopidan boshlanadi va vismutning  ${}^{209}_{83}\text{Bi}$  stabil izotopi bilan yakunlanadi.

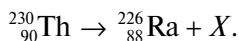
## Takrorlash uchun savollar

1. Radioaktivlik deb qanday hodisaga aytiladi? Radioaktivlikning qanday turlarini bilasiz?
2. Radioaktivlik kimlar tomonidan va qanday kashf etilgan?
3. Radioaktiv nurlanishning tarkibi qanday aniqlangan?
4. Alfa-nurlar qanday xususiyatlarga ega?
5. Beta-nurlar qanday xususiyatlarga ega? Gamma-nurlar-chi?
6. Alfa-yemirilish uchun siljish qoidasi qanday yoziladi?
7. Elektron bilan pozitronning bir-biriga o'xshashligi va farqi nimadan iborat?
8. Beta-yemirilishda siljish qoidasini tushuntiring.
9. Atom yadrosining proton-neytron tuzilishiga asoslanib  $\beta$ -yemirilishni qanday tushuntirish mumkin?
10. Neytrino qanday zarra?
11. Radioaktiv yemirilish qonunini keltirib chiqaring va fizik mazmunini tushuntiring.
12. Yarim yemirilish davri modda massasiga, elementning sof yoki birikma ko'rinishida ekanligiga va tashqi ta'sirga bog'liqmi?
13. Radioaktiv izotopning o'rtacha yashash vaqti qanday kattalik? Uning mohiyati nima?
14. O'rtacha yashash vaqti bilan yarim yemirilish davri o'zaro qanday bog'langan?
15. Radioaktiv oila deganda nima tushuniladi? Radioaktiv oilaning turlarini ayting.

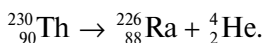
## Masala yechish namunalari

**1- masala.** Toriy  $^{230}_{90}\text{Th}$  yadrosi qanday zarrani chiqarib radiy  $^{226}_{88}\text{Ra}$  yadrosiga aylanadi?

*Yechilishi.* Noma'lum zarrani  $X$  harfi bilan belgilab, yadro reaksiyasi formulasini yozamiz:

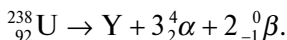


Zarraning massa soni  $230-226=4$  ga, zaryadi esa  $90-88=2$  ta elementar zaryadga teng ekan. Demak, yadrodan  $\alpha$ -zarra uchib chiqadi. U vaqtda yadro reaksiyasi formulasi quyidagicha bo'ladi:



**2- masala.** Uchta  $\alpha$ -yemirilish va ikkita  $\beta$ -yemirilishdan so'ng  $^{238}_{92}\text{U}$  dan qanday izotop hosil bo'ladi?

*Yechilishi.* Noma'lum izotopni «Y» harfi bilan belgilab, yadro reaksiyasi formulasini yozamiz:



Massa va zaryadning saqlanish qonuniga asosan bu ifodaning o'ng va chap qismlarida massa sonlari va zaryadlarning yig'indisi o'zaro teng bo'lishi kerak. Shuning uchun noma'lum izotopning massa soni:  $238 - 3 \cdot 4 = 226$  ga, zaryadi esa  $92 - [3 \cdot 2 + 2 \cdot (-1)] = 88$  ta elementar zaryadga teng ekan.

Demak, hosil bo'lgan elementni simvolik ravishda  ${}_{88}^{226}\text{Y}$  ko'rinishda yozish mumkin. Mendeleyevning jadvalidan foydalanib, bu element  ${}_{88}^{226}\text{Ra}$  izotopi ekanligini aniqlaymiz.

**3- masala.** Agar bir sutka davomida radonning 1 mln atomidan 175000 tasi yemirilsa, radonning yarim yemirilish davri qanchaga teng bo'ladi?

*Berilgan:*  $t = 1 \text{ sutka} = 8,64 \cdot 10^4 \text{ s}$ ;  $N_0 = 1 \text{ mln} = 10^6$ ;  $\Delta N = 175000 = 1,75 \cdot 10^5$ .

*Topish kerak:*  $T = ?$

*Yechilishi.* Radonning yarim yemirilish davri (172) ifodadan topiladi:

$$T = \frac{0,693}{\lambda}. \quad (\text{a})$$

Yemirilish doimiysini topish uchun  $t$  vaqt ichida yemirilgan atomlarning soni  $\Delta N = N_0 - N$  ifodasidan foydalanamiz, bunda  $N$  kattalik  $t$  vaqt o'tgandan keyin yemirilmay qolgan atomlarning sonini bildiradi. Yemirilish qonuniga asosan  $N = N_0 e^{-\lambda t}$ , u holda:

$$\Delta N = N_0(1 - e^{-\lambda t}).$$

Bundan:

$$N_0 e^{-\lambda t} = N_0 - \Delta N, \quad e^{\lambda t} = \frac{N_0}{N_0 - \Delta N}.$$

Logarifmlaymiz:

$$\lambda t \lg e = \lg \frac{N_0}{N_0 - \Delta N}, \quad \text{bundan: } \lambda = \frac{1}{t \lg e} \cdot \lg \frac{N_0}{N_0 - \Delta N}.$$

Bu ifodani (a) munosabatga keltirib qo'yamiz:

$$T = \frac{0,693 \cdot t \cdot \lg e}{\lg \frac{N_0}{N_0 - \Delta N}}.$$

*Hisoblash:*

$$T = \frac{0,693 \cdot 8,64 \cdot 10^4 \text{ s} \cdot \lg 2,72}{\lg \frac{10^6}{10^6 - 1,75 \cdot 10^5}} = \frac{0,693 \cdot 8,64 \cdot 10^4 \cdot 0,43 \text{ s}}{\lg \frac{1}{0,825}} = 3,3 \cdot 10^5 \text{ s}.$$

### **Mustaqil yechish uchun masalalar**

**162.** Agar yadrodan: 1) proton; 2)  $\alpha$ -zarra otilib chiqsa, atom massasi va element nomeri qanday o'zgaradi?

**163.** Ikki  $\beta$ -yemirilish va bitta  $\alpha$ -yemirilishdan so'ng  $^{239}_{92}\text{U}$  dan qanday izotop hosil bo'ladi?

**164.** Agar proton tomonidan neytron tutib olinsa, qaysi element atomining yadrosi hosil bo'ladi? Reaksiya formulasini yozing.

**165.** Radioaktiv yemirilish natijasida uran  $^{238}_{92}\text{U}$  qo'rg'oshin  $^{206}_{82}\text{Pb}$  ga aylanadi. Bunda u necha marta  $\alpha$ - va  $\beta$ -yemirilishlarga duch kelgan?

**166.**  $^{226}_{88}\text{Ra}$  izotopining yarim yemirilish davri 1620- yilga teng. Yemirilish doimiysini toping.

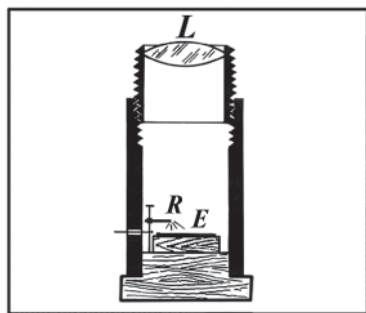
**167.** 1 mln poloniy atomidan bir sutkada qanchasi parchalanadi? Poloniy izotopining yarim yemirilish davri 138 sutkaga teng.

**168.** Radon atom soni 1 sutkada 18,2% kamaysa, radonning yemirilish doimiysini toping.

### **100- §. Zarralarni kuzatish va qayd qilish usullari**

Atom yadrolarini va yadrodagi ichki jarayonlarni o'rganishda juda ham kichik zarralar (elektronlar, protonlar,  $\alpha$ -zarralar: mezonlar,  $\gamma$ -kvantlar va hokazolar) bilan ish ko'rishga to'g'ri keladi. Hozir fiziklar ixtiyorida bu zarralarni sezish va ularning modda bilan bo'lgan o'zaro ta'sirini tekshirishning ko'p usullari mavjud.

Zaryadli zarralar modda orqali o'tganda qoldiradigan izlari tufayli ularni kuzatish mumkin. Izlarning xarakteri zarra zaryadining ishorasi, uning energiyasi, impulsi va shunga o'xshash fizik katta-



207- rasm.

liklarni baholashga imkon beradi. Zaryadli zarralar o‘z yo‘lida uchragan molekulalarni ionlashtiradi.

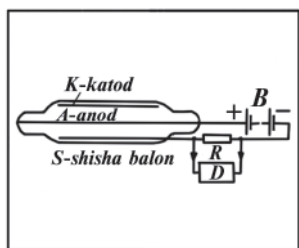
Neytral zarralar iz qoldirmaydi, lekin ular yemirilib zaryadli zarralar hosil qilish paytida yoki biror yadro bilan to‘qnashish paytida seziladi. Demak, neytral zarralar ham o‘zlari hosil qilgan zaryadli zarralarning ionlashtirish ta’siri orqali seziladi.

Zaryadli zarralar tezlatkichlarida, yadro reaktorlarida o‘tkaziladigan eksperimental tadqiqotlarda, kosmik nurlarni o‘rganishda, shuningdek, dozimetriya, radiometriya va hokazo sohalarda zarralarni kuzatish va qayd etish uchun **detektorlar** (lotincha detector — ochmoq, oshkor qilmoq) deb ataladigan asboblari ishlatiladi. Ularning ba’zilari bilan tanishib chiqaylik.

1. **Sintillatsiya (chaqnash) usuli.** Bu usul radioaktiv nurlanish natijasida chiqqan zarralar ta’sirida moddaning chaqnab (sintillatsiyalar) yorug‘lik chiqarishiga asoslangan. Tajriba ko‘rsatadiki, agar yupqa rux sulfid qatlami bilan qoplangan *E* ekranga igna uchiga joylashtirilgan *R* radioaktiv moddadan chiqqan zarra kelib urilsa, ekranda *L* lupa orqali ko‘rib bo‘ladigan yorug‘likning chaqnashi vujudga keladi (207- rasm). Bu chaqnashlar **sintillatsiyalar** deb ataladi. Shunday chaqnashlar soniga qarab, radioaktiv moddaning ma’lum vaqt ichida, masalan, nechta  $\alpha$ -zarra chiqarishini aniqlash mumkin. 207- rasmda shunday chaqnashlarni kuzatish imkonini beradigan asbob — *sintariskopning* tuzilishi ko‘rsatilgan.

Bu usul bilan yengil zarralar (masalan,  $\beta$ -zarralar)ni kuzatish qiyin, chunki ularning massasi va kinetik energiyasi juda kichik bo‘lgani uchun ekranda juda kuchsiz nurlanish hosil qiladi.

2. **Ionlashish schyotchigi** harakatlanayotgan zaryadli zarraning gaz molekulalari va atomlarini ionlashtirishiga asoslangan.



208- rasm.

Ionlashish schyotchigining eng ko'p tarqalgan turi Geyger schyotchigi bo'lib, uning sxemasi 208- rasmda ko'rsatilgan. Geyger schyotchigi ichki tomoni metall qatlami (katod) bilan qoplangan shisha ballon va ballonning o'qi bo'ylab tortilgan ingichka metall tola (anod)dan iborat. Shisha ballon *S* past bosim sharoitida gaz bilan to'ldiriladi. Buni silindrik kondensator deb qarash mumkin. Kondensatorga *B* batareyadan *R* qarshilik orqali kuchlanish beriladi.

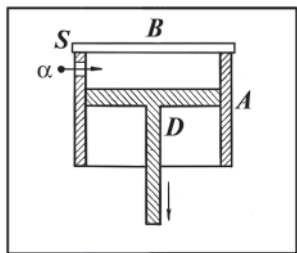
Agar kondensatorga zaryadlangan zarra uchib kirs, gaz molekulalarini ionlashtirib, gaz razryadini vujudga keltiradi.

Natijada schyotchik orqali tok o'ta boshlaydi va *R* qarshilik bo'ylab potentsial kamayadi. Kuchlanishning bunday tebranishi *D* kuchaytirgich va mexanik hisoblagichdan iborat qayd qiluvchi qurilmaga uzatiladi.

Shunday qilib, Geyger schyotchigi har bir ionlashtiruvchi zarrani qayd qiladi. Uning sezgirligi katta bo'lib, sekundiga 10000 zarrani qayd qila oladi.

3. **Vilson kamerasi** havoda uchib o'tayotgan zarra hosil qiladigan ionlarning o'ta to'yingan bug' uchun kondensatsiya markazi bo'lib qolishiga asoslangan. Bu kamerani 1912- yilda ingliz fizigi Vilson ixtiro qilgan. O'ta to'yingan bug' odatdagi sharoitlarda kondensatsiya boshlanadigan temperaturadan past temperaturali bug'dir. Bu holat chang zarralari va ionlari bo'lmagan bug'lardagina bo'ladigan beqaror holatdir.

Vilson kamerasining tuzilishi 209- rasmda tasvirlangan: u *A* silindr, germetik yopilgan *B* shisha qopqoq va harakatlanuvchi *D* porshendan iborat. Kameraning ichida suv yoki spirtning to'yintiruvchi bug'i bor.



209- rasm.

Porshen pastga juda tez tushirilganda, kameraning ishchi hajmidagi (porshen ustidagi) havo adiabatik kengayadi va soviydi. Bunda havoning tarkibidagi suv bug'i o'ta to'yingan holatga o'tadi va kamerasi silindr devorining *S* darchasidan uchib kirgan zarra (masalan,  $\alpha$ -zarra) hosil qilgan ionlarda kondensatsiyalanadi.

Zarraning butun yo'lini suv tomchilari qoplaydi. Bu yo'l (ya'ni, zarraning qoldirgan izi) **treklar** deb ataladi. Kameraning ishchi hajmini yoritib, izlarni kuzatish yoki fotosuratga olish mumkin.

Vilson kamerasidagi izlar beradigan axborot schyotchiklardagidan ancha to'laroq bo'ladi. Izning uzunligiga qarab, zarraning energiyasini aniqlash, izning uzunlik birligidagi tomchilar soniga qarab, zarraning tezligini aniqlash mumkin. Umuman, izning ko'rinishiga qarab, ionlashtiruvchi zarraning tabiati to'g'risida fikr yuritish mumkin bo'ladi. Masalan, elektronning izi  $\alpha$ -zarranikidan ingichkaroq va uzunroq bo'ladi.

1924- yilda rus fiziklari P.L. Kapitsa va D.V. Skobelsin kuchli magnit maydonga joylashtirilgan Vilson kamerasi yordamida zarralarni tekshirish usulini ishlab chiqdilar.

Bu holda zarra zaryadga ega bo'lgani sababli izlar egri bo'ladi. Ularning egilish yo'nalishiga va egrilik radiusiga qarab ionlashtiruvchi zarralarning massasini, zaryadini va tezligini aniqlash mumkin bo'ladi.

4. **Pufakli kamera** o'ta isitilgan suyuqlik ichida zaryadli zarra harakatlanganda hosil bo'ladigan ionlar ustida bug' pufakchalari paydo bo'lishiga asoslangan. Bu usul 1952- yilda amerikalik fizik D. Gleyzer tomonidan ixtiro qilingan.

Boshlang'ich holatda kameradagi suyuqlik yuqori bosim ostida bo'ladi, shuning uchun suyuqlikning temperaturasi atmosfera bosimidagi qaynash temperaturasidan yuqori bo'lsa-da, u qaynab ketmaydi.

Tekshirilayotgan zarra kameradan uchib o'tishida suyuqlik molekulalarini ionlashtiradi. Xudda shu vaqtda suyuqlikning bosimi kengaytiruvchi qurilma yordamida keskin pasaytiriladi. Suyuqlik o'ta isitilgan holatga o'tadi va qaynaydi. Bu vaqtda ionlarda juda kichik bug' pufakchalari paydo bo'ladi. Shuning uchun zarraning butun yo'li pufakchalar bilan qoplangan bo'ladi. Kamerani yoritib, izlarni kuzatish yoki fotosuratga olish mumkin.

Pufakli kamerada suyuqlik sifatida efir, suyuq vodorod, propan va boshqalar ishlatiladi.

Pufakli kameraning Vilson kamerasidan afzalligi, unda ishchi modda zichligining katta bo'lishidadir. Shuning natijasida zarralar kuchli tormozlanadi va nisbatan qisqa yo'lni o'tib to'xtaydi. Shu sababli pufakli kamera yordamida juda katta energiyali zarralarni ham tekshirish mumkin (bunday zarra Vilson kamerasidan juda tez o'tib ketib, tugamagan izni bergan bo'lardi).

**5. Qalin qatlamli fotoemulsiya usuli.** Bu usul zaryadlangan zarra mayda donali fotoemulsiya qatlamiga tushganda unda o'z yo'lining yashirin izini qoldirishiga asoslangan. Bu usul 1926—1929- yillarda L.V. Misovskiy, A.P. Jdanovlar tomonidan ixtiro qilingan. Fotoemulsiya bo'lib kumush bromid (AgBr)ning mayda kristallari bo'lgan jelatin qatlami xizmat qiladi. Uning qalinligi 1 mm ga yaqin.

Tez harakatlanayotgan zaryadli zarra kristallga kirib, kumush bromidning ayrim molekulalarini parchalaydi. Bunday kristallar zanjiri yashirin tasvir hosil qiladi. Ularni ochiltirganda kristallarda kumush metalli qayta tiklanadi va kumush donalarining zanjiri zarra izini hosil qiladi. Izning uzunligi va yo'g'onligiga qarab zarraning energiyasi va massasini aniqlash mumkin.

Fotoemulsiyaning zichligi katta bo'lishi tufayli izlar juda qisqa bo'ladi, biroq ularni kattalashtirish va suratga olish mumkin.

Fotoemulsiyalarning afzalligi ularda ta'sirning uzluksiz va yig'indi xarakterda bo'lishidadir. Bu hol noyob hodisalarni qayd qilishga imkon beradi.

Yuqorida qarab chiqilgan usullar yordamida faqat zaryadlangan zarralarnigina bevosita kuzatish mumkin. Neytral zarralarni bevosita kuzatib bo'lmaydi, chunki ular modda atomlarini ionlashtirmaydi, binobarin, trek hosil qilmaydi.

Neytral zarralarning massasi, tezligi va energiyasi to'g'risidagi ma'lumotlarni bu zarralarning zaryadlangan zarralarga ta'siri xarakterini o'rganish asosida olinadi. Bunday hisoblashlarda energiya va impulsning saqlanish qonunidan foydalaniladi.

## **101- §. Yadro reaksiyalari. Neytronning kashf etilishi**

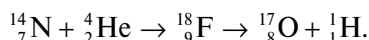
Tabiiy radioaktivlikni o'rganish shuni ko'rsatadiki, bir kimyoviy elementning boshqa kimyoviy elementga aylanishi yadrodagi ichki jarayonlar, ya'ni atom yadrolari ichida ro'y beradigan o'zgarishlar sababli bo'ladi. Shu munosabat bilan atom yadrolariga ta'sir qilib, bir kimyoviy elementni boshqalariga sun'iy aylantirish uchun urinib ko'rildi. Bunday ta'sirning effektiv vositasi atom yadrolarini katta (bir necha milliondan o'n milliard elektron-voltlargaacha) energiyali zarralar bilan bombardimon qilishdir.

Atom yadrolarining katta tezlik bilan harakatlanayotgan elementar zarralar (yoki boshqa atomlarning yadrolari) ta'sirida

o'zgarish jarayoni **yadro reaksiyasi** deb ataladi. Reaksiyaga kirishuvchi zarralar bir-biriga  $10^{-15}$  m tartibidagi masofaga yaqinlashganda ular orasida yadro kuchlari tufayli ta'sir yuzaga keladi. Yadro reaksiyalarini yuzaga keltirishda  $\alpha$ -zarralar (geliy yadrolari), protonlar (yengil vodorod yadrolari), deytronlar (massa soni ikkiga teng bo'lgan og'ir vodorod yadrolari) va neytronlardan foydalaniladi. Katta energiyali zaryadli zarralar hosil qilish uchun maxsus qurilmalar, masalan, **siklotron** ishlatiladi.

Birinchi sun'iy yadro reaksiyasini 1919- yilda Rezerford amalga oshirgan. U azot atomlarini radiy chiqarayotgan  $\alpha$ -zarralar bilan bombardimon qilganda azot atomlarining bir qancha yadrolari tez harakatlanuvchi protonlar chiqarib yemirilishini payqadi, bunday yadro reaksiyasi natijasida kislorod hosil bo'ladi. Reaksiya azot bilan to'ldirilgan Vilson kamerasida o'tkazildi.

Bu reaksiya quyidagicha bo'ladi:  $\alpha$ -zarra (geliy  ${}^4_2\text{He}$  izotopi yadrosi) azot  ${}^{14}_7\text{N}$  atomi yadrosi ichiga kiradi va yutiladi. Bu vaqtda yadrosi barqaror bo'lmagan oraliq yadro-ftor  ${}^{18}_9\text{F}$  izotopi hosil bo'ladi. U darhol o'zidan yengil vodorod yadrosi  ${}^1_1\text{H}$  (proton)ni chiqarib, kislorod  ${}^{17}_8\text{O}$  izotopi yadrosiga aylanadi. Bu yadro reaksiyasini quyidagicha yozish mumkin:



Shunday qilib, Rezerford tajribasi yadro reaksiyalarini sun'iy ravishda amalga oshirish imkoni borligini tasdiqladi va shu bilan birga protonlar atom yadrolari tarkibiga kirishini hamda uni ajratish (urib chiqarish) mumkinligini ko'rsatdi.

1932- yilda ingliz fizigi Chedvik yadro reaksiyasini amalga oshirib, butun yadro fizikasida muhim rol o'ynagan yangi zarra — **neytronni** kashf etdi.

Neytronning kashf etilish tarixi quyidagicha.

1920- yilda birinchi bo'lib Rezerford atom yadrosida uni og'irlashtiruvchi yana qandaydir noma'lum zarralar mavjud, degan g'oyani ilgari suradi. 1930- yilda nemis fiziklari V. Bote va G. Bekker berilliy  ${}^9_4\text{Be}$  ni  $\alpha$ -zarralar bilan bombardimon qilib, kuchli o'tuvchanlik qobiliyatiga ega nurlanish chiqarilishini kuzatishadi.

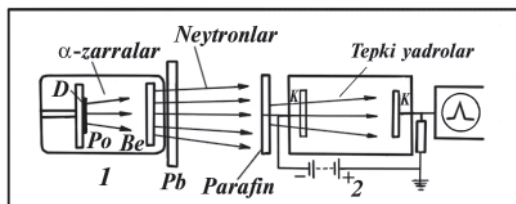
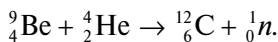
Bu nurlanishga qattiq  $\gamma$ -nurlanish kabi elektromagnit to'liqlarning yangi turi deb qarashadi.

Bote-Bekker nurlanishi bilan fransuz fiziklari Iren Jolio-Kyuri va Frederik Jolio-Kyurilar qiziqib qoladi. Ular bu nurlanishni tarkibida qo'rg'oshin va vodorod bo'lgan modda (masalan, parafin) orqali o'tkazishga qaror qilishadi va juda qiziq natija olishadi: yengil parafin qopqoq og'ir qo'rg'oshin qopqoqdan farqli o'laroq, o'zidan Bote-Bekker nurlanishini o'tkazmaydi, lekin parafindan nurlanish yo'nalishida protonlar uchib chiqadi. Jolio-Kyurilar protonlar parafindagi vodorod atomi bilan yuqori energiyali fotonlarning to'qnashishi natijasida yuzaga keladigan tepki yadrolar bo'lsa kerak, degan fikrga kelishadi.

1932- yil 18- yanvarda Parij akademiyasining majlisida bu haqda bergan ma'lumotlarini «... Shunday qilib, ushbu tajribalardan shu narsa ma'lumki, yuqori chastotali elektromagnit nurlanish vodorodi bor moddalardan protonlarni ajratib chiqarish va ularga katta tezliklar berish xususiyatiga ega ekan», degan so'zlar bilan yakunlashadi.

Bir qarashda hodisa tushunarliga o'xshab ko'rinar edi. Lekin, shu bilan birga, ko'p narsa tushunarsiz edi. Masalan, katta energiyali bunday fotonlar qayoqdan olinadi? Nima uchun o'z energiyalarini protonlarga berayotgan fotonlar o'sha vaqtda qo'rg'oshin atomlari bilan o'zaro ta'sirlashmaydi?

Bu tajriba natijalari bilan ingliz fizigi J. Chedvig qiziqib qoladi. Darhol u tajribalar o'tkazadi, o'lchashlarni amalga oshiradi. Jolio-Kyurilar o'tkazgan tajribalarni takrorlaydi va tekshiradi. Chedvig eksperimental qurilmasining sxemasi 210- rasmda keltirilgan. 1 vakuumli kamerada sirtiga  $\alpha$ -zarralar manbayi bo'lgan poloniy Po surtilgan D disk o'rnatilgan. Poloniydan nurlangan  $\alpha$ -zarralar bilan berilliy Be plastinkasi bombardimon qilinganda, berilliy yadrosi  $\alpha$ -zarrani o'ziga qo'shib oladi va neytronni chiqarib, uglerod yadrosiga aylanadi:



210- rasm.

Hosil bo'lgan neytronlar kameraning yupqa devoridan va Pb qo'rg'oshin plastinkadan o'tib, parafin qopqoqqa tushadi va unda sekinlashadi. Parafin qopqoqdan chiqqan tepki yadrolar — protonlar 2 ionizatsion kameraga tushadi va kamera to'ldirilgan gaz atomlarini ionlashtiradi. Hosil bo'lgan zaryadli zarralar tegishli elektrodlariga so'rilib, ionizatsion kamera zanjirida tok impulsini yuzaga keltiradi.

Tok impulsini kuchaytirilib, ossillografta uzatiladi. Kuzatilayotgan tok impulsining intensivligini o'lchab, Chedvig turli tepki yadrolarning energiyasini aniqlaydi so'ngra bu energiyalarni bir-biri bilan taqqoslab, xulosa chiqaradi.

Jolio-Kyurilar bergan axborotdan 5 hafta o'tgandan so'ng, ya'ni 1932- yil 27- fevralda Chedvig Parij akademiyasining majlisida o'z tajribalarining natijalari haqida quyidagi mazmunda xabar beradi: «Bote-Bekker nurlanishi umuman elektromagnit nurlanish emas, balki elementar zarralarning yangi turi — massasi proton massasiga taxminan teng neytral zarralar oqimidan iboratdir». Bu zarrani **neytron** deb ataldi.

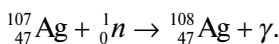
Shunday qilib, neytron kashf etildi.

Yadrolarni bombardimon qiluvchi eng qulay zarra — neytrondir, chunki u neytral zarra bo'lganligi uchun nishon yadroga bimalol yaqin kela oladi. Binobarin, yadro reaksiyalarini amalga oshirishda neytronlardan foydalanish yaxshi samara beradi.

## **102- §. Sun'iy radioaktivlik. Yadro reaksiyalarida saqlanish qonunlari**

Sun'iy radioaktivlik hodisasini 1934- yilda fransuz fiziklari Iren va Frederik Jolio-Kyurilar kashf qilishgan. Ular yadrolarning parchalanishini o'rganish jarayonida ko'p hollarda parchalanish mahsulotlari radioaktiv xossaga ega ekanligini aniqlaganlar. Yadro reaksiyalari natijasida hosil bo'ladigan radioaktiv moddalar **sun'iy radioaktiv moddalar** deb, hodisa esa **sun'iy radioaktivlik** deb ataladi.

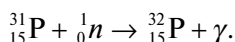
Sun'iy radioaktiv moddalar turli yadro reaksiyalarida hosil bo'lishi mumkin. Masalan, kumushning  $^{107}_{47}\text{Ag}$  barqaror izotopini neytronlar bilan bombardimon qilinganda uning yarim yemirilish davri  $T=2,3$  minut bo'lgan  $^{108}_{47}\text{Ag}$  radioaktiv izotopi hosil bo'ladi va  $\gamma$ -nurlar chiqadi:



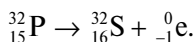
Kumushning  $^{108}_{47}\text{Ag}$  izotopi  $\beta$ -radioaktiv xossaga ega bo'lib, u o'zidan elektronni va neytrinoni chiqaradi hamda kadmiyning  $^{108}_{48}\text{Cd}$  barqaror izotopiga aylanadi:



Xuddi shuningdek, fosfor  $^{31}_{15}\text{P}$  ning neytronlarni qo'shib olish reaksiyasi radioaktiv izotoplarni olishga misol bo'la oladi. Bunday reaksiyada  $\gamma$ -foton chiqadi va fosforning radioaktiv  $^{32}_{15}\text{P}$  izotopi hosil bo'ladi:

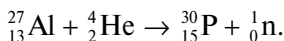


Hosil bo'lgan  $^{32}_{15}\text{P}$  izotopning yarim yemirilish davri 14,3 kunga teng. Bu izotop  $\beta$ -yemirilish natijasida oltingugurtning barqaror  $^{32}_{16}\text{S}$  izotopiga aylanadi:

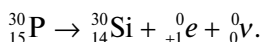


$\alpha$ -,  $\beta$ - va  $\gamma$ -yemirilishlar tabiiy radioaktiv moddalar kabi sun'iy radioaktiv izotoplarga ham xosdir. Lekin sun'iy radioaktiv moddalar ichida tabiiy radioaktiv elementlarga xos bo'lmagan boshqa tur yemirilish uchraydi. Bu pozitronlar chiqarish bilan bo'ladigan yemirilishdir.

Pozitron aktiv moddaning hosil bo'lishiga misol tariqasida Jolio-Kyurilar kashf etgan quyidagi reaksiyani ko'rsatish mumkin:



Reaksiya natijasida hosil bo'lgan fosforning  $^{30}_{15}\text{P}$  radioaktiv izotopi (yarim yemirilish davri 2,5 minutga teng) o'zidan pozitron va neytrinoni chiqarib, kremniyning barqaror  $^{30}_{14}\text{Si}$  izotopiga aylanadi:



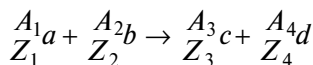
Yadro reaksiyalarida barcha saqlanish qonunlari, jumladan, elektr zaryadi va massa sonining saqlanish qonunlari bajariladi.

**Elektr zaryadining saqlanish qonuni:** *reaksiyaga kirishayotgan yadro va zarralar elektr zaryadlarining yig'indisi reaksiya natijasida*

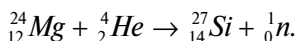
*hosil bo'lgan yadro va zarralar elektr zaryadlarining yig'indisiga teng bo'ladi.*

**Massa sonining saqlanish qonuni:** reaksiyaga kirishayotgan yadro va zarralar massa sonlarining yig'indisi reaksiyadan so'ng hosil bo'lgan yadro va zarralar massa sonlarining yig'indisiga teng bo'ladi.

Agar quyidagi:



reaksiya sodir bo'lgan bo'lsa, u holda yuqorida ta'riflangan saqlanish qonunlariga binoan  $Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$  va  $A_1 + A_2 = A_3 + A_4$  bo'ladi. Masalan, Jolio-Kyurilar amalga oshirgan yadro reaksiyalaridan biri quyidagicha edi:



Bu reaksiyada  $Z_1=12$ ,  $Z_2=2$ ,  $Z_3=14$ ,  $Z_4=0$ , demak,  $12+2=14+0$  yoki  $14=14$ . Shuningdek,  $A_1=24$ ,  $A_2=4$ ,  $A_3=27$ ,  $A_4=1$ , demak,  $24+4=27+1$  yoki  $28=28$ .

### 103- §. Yadrolarning bo'linishi

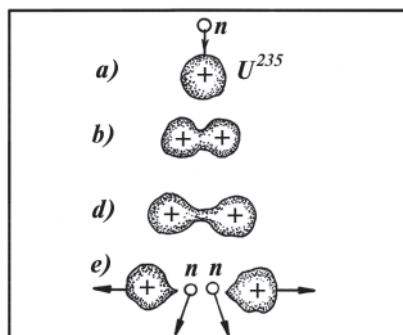
Turli izotoplarning protonlar, deytronlar va neytronlar ta'sirida bo'ladigan yadro reaksiyalarini o'rganish hamda shu maqsadda o'tkazilgan juda ko'p tajribalar fan uchun g'oyat qimmatli natijalar berdi. 1938—1939- yillarda bir qancha olimlar (Germaniyada O. Gan va F. Shtrassman, Italiyada E. Fermi, Fransiyada er-xotin Jolio-Kyurilar)ning ishlari tufayli neytronlar bilan bombardimon qilinayotgan uran yadrosining bo'linish reaksiyasi kashf qilindi.

*Og'ir yadroni neytronlar bilan bombardimon qilinishi natijasida yadroning taxminan ikkita bir xil bo'lakka va boshqa zarralarga yemirilish jarayoniga og'ir yadrolarning bo'linishi deyiladi.*

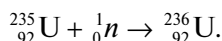
211- rasmda neytron bilan bombardimon qilinganda  ${}_{92}^{235}\text{U}$  uran yadrosining bo'linishi variantlaridan birining sxemasi keltirilgan. Bo'linish vaqtida yadro ikkita katta bo'lakka va 2—3 ta neytronga yemiriladi.

Atom yadrosining bo'linish jarayonini N. Bor tavsiya qilgan yadroning tomchi modeli asosida quyidagicha tushuntirish mumkin.

Uran  ${}_{92}^{235}\text{U}$  yadrosi bitta neytronni qamrab olib, uran  ${}_{92}^{236}\text{U}$  izotopiga aylanadi (211- a rasm).



211- rasm.



Neytronni yutib olgan yangi uran izotopi uygʻongan va kuchli deformatsiyalangan holatga oʻtadi (211- b rasm). Uning hajmi oʻzgarmaydi, chunki «yadro suyuqligi» amalda siqilmaydi. Bunda yadroning sirti va demak, sirt energiyasi ortadi. Agar yadroga kelib tushgan neytronning energiyasi uncha katta boʻlmasa, u vaqtda yadro  $\gamma$  fotonlar yoki neytron chiqarish yoʻli bilan ortiqcha energiyasidan ozod boʻlib, dastlabki holatiga qaytadi. Agar neytronning energiyasi yetarlicha katta boʻlsa, u vaqtda yadroda ikkiga boʻlinayotgan suyuqlik tomchisining ikki qismi orasidagi choʻzilishga oʻxshash choʻzilish paydo boʻladi (211- d rasm). Choʻzilayotgan yadroning juda ingichka qismida taʼsir qilayotgan yadro kuchlari endilikda yadroning bir xil ishorali zaryadlangan qismlarining kulon itarishish kuchlariga qarshi tura olmaydi. Natijada choʻzilgan yadro uziladi va qarama-qarshi tomonga katta tezlik bilan harakatlanuvchi ikkita boʻlakka ajraladi (211- e rasm), bu boʻlaklarni **boʻlinish parchalari** deb ataladi.

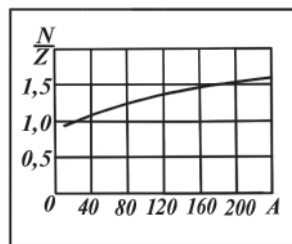
Oʻrtacha massali yadrolarda bitta nuklonga toʻgʻri keluvchi bogʻlanish energiyasi ogʻir yadrolardagidan ancha koʻp (204- rasimga qarang).

Bundan yadrolar boʻlinganda katta energiya ajralib chiqishi kerak, degan xulosa kelib chiqadi.

Barqaror yadrolarda neytronlar soni protonlar soniga nisbatan aniq bir qiymatga ega boʻladi. Yengil yadrolarda bu nisbat birga yaqin. Yadrodagi nuklonlar soni orta borishi bilan neytronlar sonining protonlar soniga nisbati ham ortadi (212- rasm, unda abssissa oʻqiga massa soni  $A$ , ordinata oʻqiga  $\frac{N}{Z}$  nisbat qoʻyilgan).

Masalan, uran uchun bu nisbat 1,6 ga yetadi.

Og‘ir yadrolarda neytronlarning  $\frac{N}{Z}$  nisbiy soni o‘rtacha massali yadrolardagiga qaraganda sezilarli darajada ko‘p bo‘lgani uchun bo‘linish parchalarida neytronlar ko‘proq bo‘lib, natijada ular 2—3 tadan neytron ajratib chiqaradi.

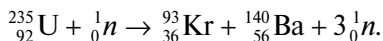


212- rasm.

Neytronlarning ko‘pchiligi bir onda ( $10^{-14}$  sekunddan kichik vaqt ichida) ajralib chiqadi, ularni **oni**y **neytronlar** deb ataladi. Neytronlarning bir qismi bir onda emas, balki 0,05 sekunddan 1 minutgacha kechikib chiqadi, ular **kechikkan neytronlar** deb ataladi va ular juda ham oz miqdorda bo‘ladi.

Oniy neytronlarning energiyasi noldan taxminan 10 MeV oraliq‘ida yotadi, ularning ko‘pchiligi 1—2 MeV energiyaga ega. Energiyasi 1,5 MeV dan katta bo‘lgan neytronlar **tez neytronlar**, energiyasi 1,5 MeV dan kichik neytronlar **sekin neytronlar** deb ataladi. Energiyasi 0,025 eV bo‘lgan neytronlar esa **issiq neytronlar** deb ataladi.

Og‘ir yadrolarning bo‘linish mahsulotlari turli-tumandir, ularning massa sonlari 70 dan 160 gacha oraliqda bo‘ladi. Ammo massalar nisbati 2:3 kabi bo‘lgan parchalarga bo‘linish ehtimoli eng ko‘p. Bunday bo‘linishga uranning  $^{235}_{92}\text{U}$  izotopi yadrosining uchta neytron chiqarib, kripton  $^{93}_{36}\text{Kr}$  va bariy  $^{140}_{56}\text{Ba}$  izotoplari yadrolariga yemirilishi misol bo‘la oladi:



Oniy va kechikkan neytronlar ajralib chiqqaniga qaramay, bo‘linish parchalarida neytronlar ortiq bo‘laveradi. Shuning uchun parchalarning ko‘pchiligi radioaktiv bo‘lib, ularda  $\beta$  yemirilish reaksiyalari yuz beradi, bunda  $\gamma$ -nurlar chiqadi.

Tabiiy uranda, asosan, ikkita izotop bo‘ladi:  $^{235}_{92}\text{U}$  va  $^{238}_{92}\text{U}$ , bulardan  $^{238}_{92}\text{U}$  asosiy massani tashkil etadi,  $^{235}_{92}\text{U}$  esa aralashmada faqat 0,714% ni tashkil qiladi. Tekshirishlar shuni ko‘rsatadiki,  $^{235}_{92}\text{U}$  yadrolari har qanday neytronlar ta’sirida bo‘linadi, ayniqsa,

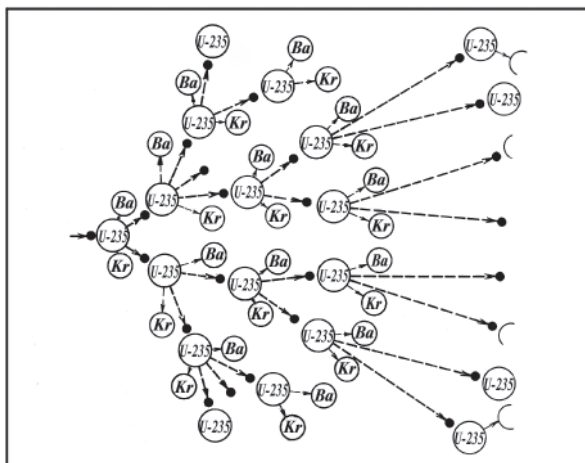
sekin neytronlarda yaxshi bo‘linadi, holbuki  ${}^{238}_{92}\text{U}$  faqat tez neytronlar ta’siridagina bo‘linadi.

#### 104- §. Zanjir yadro reaksiyasi

1940- yilda rus olimlari G.N. Flerov va K.A. Petrjak uran yadrolarining parchalarga o‘z-o‘zidan bo‘linishini, ya’ni **spontan bo‘linishini** aniqladilar. Biroq bunday bo‘linishning tezligi juda kichik, chunki  ${}^{235}_{92}\text{U}$  izotopi yadrolarining yarim yemirilish davri  $10^{15}$  yilga teng,  ${}^{238}_{92}\text{U}$  izotopi uchun esa yarim yemirilish davri  $10^{17}$  yilga teng.

Har bir yadro bo‘linganda 2–3 ta neytron chiqishi, ayniqsa, muhim ahamiyatga ega, chunki bu neytronlar uran massasida o‘z-o‘zidan davom etadigan reaksiyani amalga oshirishga imkoniyat yaratib beradi. Haqiqatan ham, ajratib chiqarilgan 2–3 ta neytrondan har biri atom yadrosiga tushishi mumkin, bunda ham ikkita bo‘linish parchasi hosil bo‘ladi va 2–3 ta neytron ajralib chiqadi, bu neytronlar ham yana bo‘linishga va neytronlar ajralib chiqishiga sabab bo‘ladi va hokazo.

Aktiv neytronlar va reaksiyaga kiruvchi yadrolar soni geometrik progressiya bo‘yicha o‘sib borishini sezish qiyin emas, shuning uchun butun moddada tobora avj oluvchi yadro reaksiyasi yuz beradi (213-rasm). Bu reaksiya **zanjir yadro reaksiyasi** deb ataladi.



213- rasm.

*Yadrolarning bo‘linishida hosil bo‘lgan neytronlarning ta’siri ostida ro‘y beradigan boshqa yadrolarning quyunsimon bo‘linish jarayoniga zanjir yadro reaksiyasi deyiladi.*

Uranning har bir yadrosining bo‘linishidan paydo bo‘ladigan neytronlarning hammasi ham boshqa yadrolarning bo‘linishiga sabab bo‘lavermaydi. Neytronlarning bir qismini yadro yoqilg‘isidagi bo‘linmaydigan yoki qiyin bo‘linadigan aralashma yadrolari o‘ziga qo‘shib olishi mumkin, neytronlarning yana bir qismini yoqilg‘i material hajmi sirtidan uning boshqa yadrolari bilan to‘qnashmay chiqib ketishi mumkin. Zanjir reaksiyada aktiv ishtirok qiluvchi neytronlar sonini kamaytiradigan sabablar ham mavjud.

Zanjir reaksiyaning kuchayishi neytronlarning ko‘payish koeffitsiyenti  $k$  bilan xarakterlanadi. Bu koeffitsiyent reaksiyaning birorta bosqichida yadrolarning bo‘linishini vujudga keltiradigan neytronlar soni  $N_i$  ning bundan avvalgi bosqichda bo‘linishini vujudga keltirgan neytronlar soni  $N_{i-1}$  ga nisbati bilan o‘lchanadi:

$$k = \frac{N_i}{N_{i-1}}.$$

Masalan, 213- rasmda tasvirlangan zanjir reaksiyada neytronlarning ko‘payish koeffitsiyenti:

$$k = \frac{4}{2} = \frac{8}{4} = 2$$

ga teng bo‘ladi.

Neytronlarning ko‘payish koeffitsiyenti bo‘linayotgan moddaning tabiati va miqdoriga hamda egallagan hajmining geometrik shakliga bog‘liq bo‘ladi.

Berilgan modda biror miqdorining hajmi shar shaklida bo‘lganda neytronlarning ko‘payish koeffitsiyenti eng katta qiymatga ega, chunki bu holda hajmning sirti orqali oniy neytronlarni yo‘qotish eng kam bo‘ladi.

Zanjir reaksiya neytronlarning ko‘payish koeffitsiyenti birga teng bo‘lgan holatda boradigan bo‘linuvchi modda massasiga berilgan moddaning **kritik massasi** deyiladi. Masalan, sof  $^{235}_{92}\text{U}$  uchun kritik massa taxminan 40 kg.

Agar yadro yoqilg‘isining massasi kritik massadan oz bo‘lsa, u vaqtda  $k < 1$  va bo‘linish reaksiyasi asta-sekin so‘nadi. Agar yoqilg‘i

massasi kritik massaga teng bo'lsa, u vaqtda  $k=1$  va zanjir reaksiya o'zgarmas intensivlik bilan boradi. Agar yoqilg'i massasi kritik massadan katta bo'lsa, u vaqtda  $k>1$ , bu holda zanjir reaksiya boshqarib bo'lmaydigan darajada avj oladi va portlash ro'y beradi. Atom bombasida ana shunday reaksiya ketadi.

## **105- §. Yadro energiyasini olish. Yadro reaktorlari**

Uran  $^{235}_{92}\text{U}$  yadrosining bo'linishida chiqadigan energiyani bevosita o'lchash natijalari shuni ko'rsatdiki, har bir yadro bo'linganda taxminan 200 MeV energiya ajraladi. Boshqa hech qanday (yadroning bo'linishi bilan bog'liq bo'lmagan) yadro reaksiyasida bunchalik katta energiya ajralib chiqmaydi. Ajralib chiqqan energiyaning katta qismi ( $\sim 80\%$ ) parchalarning kinetik energiyasi ko'rinishida ajraladi, qolgan (20%) qismi esa parchalarning radioaktiv nurlanishiga va neytronlarning kinetik energiyalariga to'g'ri keladi.

Agar yadroning bo'linishini hosil qiladigan neytronlarning energiyasi (ya'ni, sarf qilingan energiya) 7÷10 MeV dan ortmasligini e'tiborga olsak, yadrosi bo'linadigan materiallar juda katta energiya manbai bo'lib xizmat qila oladi. Masalan, 1 kg  $^{235}_{92}\text{U}$  da bo'lgan barcha yadrolarning bo'linishida ajraladigan energiya taxminan  $2,3 \cdot 10^7$  kW-soatga teng.

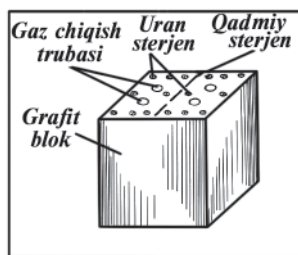
Bunday energiyani tasavvur qilish uchun quyidagi yoqilg'ilarni yonishi natijasida hosil bo'lgan energiya bilan taqqoslash mumkin.  $2 \cdot 10^6$  kg benzin yoki  $2,5 \cdot 10^6$  kg toshko'mir yonganida yoki  $2,5 \cdot 10^7$  kg trinitrotoluol (trotil) portlaganda ajraladigan energiya  $2,3 \cdot 10^7$  kW-soatga tengdir.

Sanoat uchun yadro energiyasi olishda zanjir reaksiyani amalga oshirish va uni boshqarish zarur.

Uranda zanjir yadro reaksiyasi ikki xil usul bilan amalga oshirilishi mumkin. Birinchi usul tabiiy urandan bo'linuvchi  $^{235}_{92}\text{U}$  izotopni ajratib olishdan iborat (chunki yuqorida aytib o'tilganidek,  $^{238}_{92}\text{U}$  yadrolarini faqat tez neytronlarga parchalay olishi mumkin). Izotoplarning kimyoviy jihatdan farqi bo'lmagani sababli ularni ajratib olish juda qiyin masaladir. Lekin shunga qaramasdan, bu masala bir necha xil usullar bilan hal qilinadi.

Zanjir reaksiyani amalga oshirishning ikkinchi usuli **yadro reaktorlari (atom qozonlari)** da qo'llaniladi.

Yadro reaktorlarining ishlashini ko'rib chiqaylik. 214- rasmda uran qozonining tuzilishi ko'rsatilgan: uran qozoni katta hajmli idish bo'lib, uning ichiga tez harakatlanuvchi neytronlarni sekinlatadigan modda solingan, atrofiga neytronlarni qaytaruvchi modda qo'yilgan. Sekinlatkich va qaytargich sifatida grafit ishlatiladi.

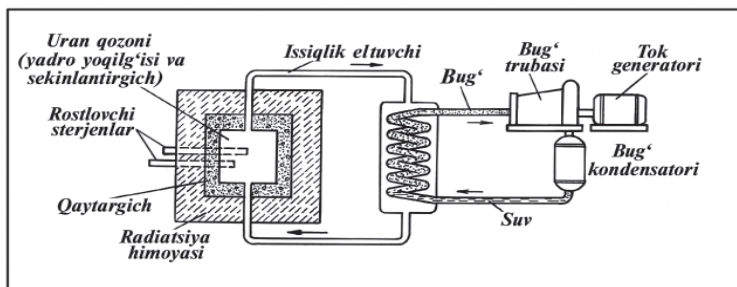


214- rasm.

Sekinlatkich ichida metall uran sterjenlar bo'lib, ularda atom yadrolari bo'linadi. Zanjir reaksiya portlashga olib kelmasligi uchun reaksiyani boshqarish kerak, buning uchun sust neytronlarni yaxshi yutuvchi moddalar ishlatiladi. Bunday moddalar kadmiy va borli po'latdir (tarkibida bor elementi bo'lgan po'lat sust neytronlarni kuchli yutadi). Bu moddalar qozon ichiga yetarli miqdorda kiritilganda ular zanjir reaksiyani susaytirishi va hatto batamom to'xtatib qo'yishi ham mumkin.

Uran yadrolarining bo'linish energiyasi issiqlik va radioaktiv nurlanish tarzida chiqadi. Bu issiqlikdan issiqlik elektr markazlarining ishlashi uchun foydalanish mumkin. Shu maqsadda uran qozoniga uzluksiz gaz yuborib turiladi, bu gaz yuqori temperaturagacha qiziydi va bug' qozoniga keladi. Gaz energiyasi suvni bug'lantirib, yuqori bosimli o'ta qizigan bug' hosil qilishga sarflanadi, bu bug' elektr generatoriga ulangan bug' turbinasini harakatga keltiradi.

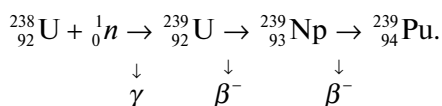
215- rasmda atom elektr stansiyasi tuzilishining prinsipial sxemasi keltirilgan. Uran qozonlari radioaktiv nurlanishlarning kuchli manbayidir, shuning uchun qozonlarni muhofaza vositalari bilan



215- rasm.

ta'minlash (betonlash va boshqa muhofaza tadbirlarini ko'rish) kerak. Qozonlarni boshqarishga doir barcha jarayonlar, ichiga uran sterjenlarini tushirish va chiqarib olish ishlari avtomatik ravishda uzoq masofadan turib amalga oshiriladi.

Shuni aytib o'tish kerakki, yadro reaktorida energiya ajralish bilan bir qatorda yangi yadro yoqilg'i — plutoniy ham hosil bo'ladi va yig'iladi. Gap shundaki,  $^{238}_{92}\text{U}$  yadrosi sekin neytronni yutib gamma fotonni chiqaradi va yarim yemirilish davri 23 minut bo'lgan radioaktiv uran izotopi  $^{239}_{92}\text{U}$  ga aylanadi. Bu yadro, o'z navbatida,  $\beta$ -zarra chiqaradi va neptuniyga aylanadi, uning yarim yemirilish davri 2,3 kun. Neptuniy yadrosi  $\beta$ -zarra chiqarib, plutoniy  $^{239}_{94}\text{Pu}$  yadrosiga aylanadi. Bu reaksiyani quyidagicha ifodalash mumkin:



Plutoniy — yaxshi yadro yoqilg'isidir, uning yadrolari uran yadrolariga o'xshash sekin neytronlar ta'sirida parchalanadi. Plutoniy radioaktiv, u  $\alpha$ ,  $\beta$  va  $\gamma$ -nurlarni chiqaradi. Uning yarim yemirilish davri 24100 yil, shuning uchun plutoniydan katta miqdorlarda yig'ish mumkin.

Yadro reaktorlari yordamida ko'p miqdorda energiya olish bilan bir qatorda tibbiyotda, qishloq xo'jaligida, biologiyada, turli ilmiy, mexanik va sanoat maqsadlarida keng qo'llaniladigan turli-tuman radioaktiv izotoplar olish mumkin.

### **Takrorlash uchun savollar**

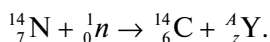
1. Zaryadli zarralarni kuzatish va qayd etish qanday hodisalarga asoslangan? Neytral zarralarni-chi?
2. Zarralarni qayd etish uchun yadro fizikasida qanday asboblardan foydalaniladi?
3. Vilson kamerasining tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring.
4. Fotoemulsiya usulining qanday afzalliklari bor?
5. Yadro reaksiyasi qanday fizik jarayon?
6. Yadro reaksiyalarini amalga oshirishda qanday zarralardan foydalaniladi?
7. Neytron qanday kashf qilingan? Chedvig eksperimental qurilmasining sxemasini chizing va unda amalga oshirilgan yadro reaksiyasini yozing.

8. *Sun'iy radioaktivlikni kim kashf etgan? Sun'iy radioaktiv modda hosil bo'lishi reaksiyasiga misollar keltiring.*
9. *Pozitron qanday kashf qilingan?*
10. *Yadro reaksiyalarida saqlanish qonunlarining bajarilishi haqida nima deya olasiz?*
11. *Og'ir yadrolarning bo'linish reaksiyasini tushuntiring.*
12.  $^{235}_{92}\text{U}$  uran yadrosining bo'linishini yadroning tomchi modeliga asosan tushuntiring.
13. *Nima uchun og'ir yadrolar bo'linganda katta energiya ajralib chiqadi? Bitta uran yadrosi bo'linganda qancha energiya ajralib chiqadi?*
14. *Tez neytronlar, sekin neytronlar, issiq neytronlar deganda qanday neytronlarni tushunasiz? Oniy neytronlar va kechikkan neytronlar deganda-chi?*
15. *Zanjir yadro reaksiyasini tushuntiring.*
16. *Atom yadrosi energiyasidan qanday foydalaniladi?*
17. *Yadro reaktorining tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring.*

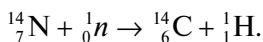
### Masala yechish namunalari

**1- masala.** Azot  $^{14}_7\text{N}$  izotopini neytronlar bilan bombardimon qilganda  $\beta$  radioaktiv nurlanishga ega bo'lgan uglerod  $^{14}_6\text{C}$  izotopi hosil bo'ladi. Yadro reaksiyalari tenglamasini yozing.

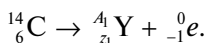
*Yechilishi.* Birinchi yadro reaksiyasi tenglamasi:



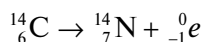
Zaryadning saqlanish qonuniga asosan  $Z=7-6=1$ , massa sonining saqlanish qonuniga asosan  $A=(14+1)-14=1$  ekanligini topamiz. Demak,  ${}^4_Z\text{Y} = {}^1_1\text{Y} = {}^1_1\text{H}$  protondir. Natijada quyidagini yozamiz:



Ikkinchi yadro reaksiyasi tenglamasi:



Massa va zaryadning saqlanish qonuniga muvofiq  $Z_1=6-(-1)=7$ ,  $A_1=14-0=14$ , ya'ni  ${}^4_{z_1}\text{Y} = {}^{14}_7\text{Y} = {}^{14}_7\text{N}$ , Mendeleyev elementlar davriy sistemasidan uning azot izotopi ekanligini aniqlaymiz. Nihoyat:



deb uzil-kesil yozamiz.

**2- masala.** Uran  ${}^{235}_{92}\text{U}$  izotopi yadrosi bir marta bo‘linganda 200 MeV energiya ajralib chiqadi. 1 g uran bo‘linganida qancha miqdor energiya olish mumkin? (Kilovatt-soatlarda hisoblang).

*Berilgan:*  $W_1=200$  MeV;  $m=1$  g= $10^{-3}$  kg.

*Topish kerak:* W—?

*Yechilishi:* 1 g uran bo‘linganda qancha miqdor energiya ajralganini topish uchun mazkur modda massasidagi atomlar sonini topish kerak. Agar bitta uran atomining massasini  $m_o$  bilan belgilasak,

berilgan massadagi atomlar soni  $N = \frac{m}{m_o}$  ga teng bo‘ladi. Bitta uran atomining massasini quyidagi ifodadan topamiz:

$$m_o = \frac{\mu}{N_A},$$

bunda  $\mu$  uran  ${}^{235}_{92}\text{U}$  izotopining bir gramm-atomining massasi, u  $\mu=235$  kg/kmol ga teng,  $N_A$  — Avagadro soni. Shunday qilib:

$$N = \frac{m}{\mu} N_A$$

ifodaga ega bo‘lamiz. U holda ajralayotgan energiya uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$W = NW_1 = \frac{m}{\mu} N_A W_1.$$

*Hisoblash:*

$$W = \frac{10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{235 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} 6,02 \cdot 10^{26} \text{ kmol}^{-1} \cdot 200 \text{ MeV} \approx 5,1 \cdot 10^{23} \text{ MeV}.$$

Energiyani kW-soatlarda ifodalaymiz. Buning uchun avval 1 MeV qancha kW-soat ekanligini hisoblab olamiz:

$$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = \frac{16}{36} \cdot 10^{-19} \text{ kW} \cdot \text{soat}$$

Demak:

$$W = 5,1 \cdot 10^{23} \text{ MeV} = 5,1 \cdot 10^{23} \frac{16}{36} \cdot 10^{-19} \text{ kW} \cdot \text{soat} \approx 2,3 \cdot 10^4 \text{ kW} \cdot \text{soat}.$$

**3- masala.** Yemirilish mahsulotlari bilan muvozanatda bo'lgan 1 g radiy  $^{226}_{88}\text{Ra}$  izotopi har sekunda  $14,2 \cdot 10^{11}$  MeV energiya ajratib chiqaradi. Shu radioaktiv yemirilish energiyasi hisobiga 10 g suvning temperaturasini  $0^\circ$  dan  $100^\circ\text{C}$  gacha ko'tarish uchun qancha vaqt kerak bo'ladi?

$$\text{Berilgan: } P = 14,2 \cdot 10^{11} \frac{\text{MeV}}{\text{s}} = 14,2 \cdot 10^{11} \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \frac{\text{J}}{\text{s}};$$

$$m = 10 \text{ g} = 10^{-2} \text{ kg}; \Delta t = 100 \text{ K}; s = 4,19 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}.$$

*Topish kerak:*  $\tau$ —?

*Yechilishi.* Radioaktiv yemirilish natijasida  $\tau$  vaqt ichida ajralib chiqqan energiya  $W = P \cdot \tau$  ga teng bo'ladi. Energiyaning saqlanish qonuniga asosan bu energiya  $m$  massali suvni isitish uchun sarflangan issiqlik miqdoriga teng bo'ladi, ya'ni  $W=Q$ . Issiqlik miqdorining formulasi:

$$Q=mc\Delta t,$$

bunda:  $c$  — suvning solishtirma issiqlik sig'imi. Demak,  $P\tau=mc\Delta t$ .

bundan:  $\tau = \frac{cm \cdot \Delta t}{P}$  bo'ladi.

*Hisoblash:*

$$\tau = \frac{4,19 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot 100 \text{ K}}{14,2 \cdot 10^{11} 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}} = \frac{4,19}{2,27} 10^4 \text{ s} = \frac{4,19}{2,27} 10^4 \frac{1}{3600} \text{ soat} = 5 \text{ soat}.$$

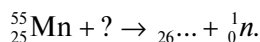
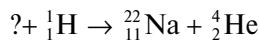
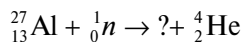
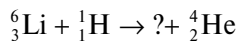
### Mustaqil yechish uchun masalalar

**169.**  $^{10}_5\text{B}$  bor izotopining  $\alpha$ -zarralar bilan bombardimon qilinganda radioaktiv azot hosil bo'ladi va u pozitron chiqarib parchalanadi. Yadro reaksiyalarining tenglamalarini yozing.

**170.**  $^{13}_7\text{N}$  radioaktiv azot parchalanib, uglerod  $^{13}_6\text{C}$  izotopiga aylanadi. Yadro reaksiyasini yozing. Bunda qanday zarra otilib chiqadi?

**171.** Litiy yadrosiga neytron tushib, reaksiya jarayonida  $\alpha$ -zarra uchib chiqqan. Bu reaksiya natijasida qanday yadro hosil bo'lgan?

**172.** Quyidagi yadro reaksiyalarini tugallang:



**173.** 5 g uran  ${}^{235}_{92}\text{U}$  izotopining radioaktiv yemirilishida qancha kW-soat energiya ajralib chiqadi?

**174.** Atom reaktorining sutkasiga 200 g uran  ${}^{235}_{92}\text{U}$  izotopini iste'mol qilgandagi quvvati 32000 kW. Uran  ${}^{235}_{92}\text{U}$  izotopining bo'linishidan hosil bo'lgan energiyaning qancha qismi foydali ishga sarf bo'ladi?

## 106- §. Termoyadro reaksiyasi

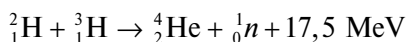
Atom yadrolari orasida kichik masofa ( $\sim 10^{-15}$  m) larda yadro tortishish kuchlari ta'sir qilishi sababli, bir-biriga shunday masofagacha yaqinlashayotgan ikki yadro o'zaro qo'shilishi mumkin. *Yengil yadrolarning qo'shilib, og'irroq yadro hosil qilishi **yadro sintezi** deb ataladi.*

Uran yadrosining tinchlikdagi massasi yadro bo'linganda hosil bo'lgan parchalarning tinchlikdagi massalari yig'indisidan katta ekanligidan har bir uran yadrosi parchalanganda taxminan 200 MeV energiya ajralishi bizga ma'lum. Yengil yadrolarda esa ular qo'shilganda qo'shilayotgan yadrolarning tinchlikdagi massasi yig'indisi sintezlangan yadroning tinchlikdagi massasidan katta. Demak, bunda ham katta energiya ajralishi kerak. Yengil yadrolarning bunday qo'shilish reaksiyalari faqat juda yuqori temperaturalardagina yuz berishi mumkin. Shuning uchun bu reaksiya **termoyadro reaksiyasi** deb ataladi.

Yadrolar qo'shilishi uchun ular  $r_n \approx 10^{-15}$  m masofaga yaqinlashishi, ya'ni yadro kuchlarining ta'sir doirasiga tushishi lozim. Lekin bunday yaqinlashishga yadrolarning zaryadlari tufayli yuzaga keladigan kulon itarishish kuchlari to'sqinlik qiladi. Bu kuchni yadrolar issiqlik harakatining juda katta kinetik energiyasi hisobigagina yenga oladi. Buning uchun ular quyidagi energiyaga ega bo'lishi kerak:

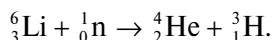
$$W = \frac{z_1 \cdot z_2 \cdot e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{yo}},$$

bunda  $Z_1$  va  $Z_2$  lar qo'shilayotgan yadrolarning elektr zaryadi soni. Hatto  $Z_1=Z_2=1$  bo'lganda ham  $W=0,7$  MeV, to'qnashayotgan har bir yadro esa  $\frac{\Delta W}{2} = 0,35$  MeV energiyaga ega bo'lishi kerak. Bunday energiyaga  $2 \cdot 10^9$  K temperatura mos keladi. Biroq yengil yadrolar ancha past temperaturalarda ( $\sim 10^8$  K) ham qo'shilishi mumkin ekan. Ayniqsa vodorodning  ${}^2_1\text{H}$  deyteriy (og'ir vodorod, deyteriy  $D$  harfi bilan ham belgilanadi) va  ${}^3_1\text{H}$  tritiy (o'ta og'ir vodorod, tritiy  $T$  harfi bilan ham belgilanadi) izotoplari sintezi



uchun sharoit yaratish imkoniyati mavjud. Bunday termoyadro reaksiyada geliyning  ${}^4_2\text{He}$  izotopi va neytron hosil bo'ladi hamda 17,5 MeV energiya ajralib chiqadi. Agar deyteriy va tritiylarning har biri  $\approx 0,01$  MeV energiyaga ega bo'lsa, reaksiya samarali bo'ladi. Buning uchun, tegishli hisoblashlarga ko'ra,  $D$  va  $T$  aralashmasining temperaturasini 77000000 K gacha ko'tarish kerak bo'ladi. Hozirgi vaqtda Yer sharoitida bunday yuqori temperaturani faqat atom bombasini portlatish bilangina olish mumkin.

Boshqariladigan termoyadro reaksiyalarining Yer sharoitida amalga oshirilishi insoniyatga amalda bitmas-tuganmas yangi energiya manbayini bergan bo'lar edi. Bu jihatdan  $D$  va  $T$  larning bir-biri bilan qo'shilishi eng istiqbolli reaksiyadir. Chunki, ***birinchidan***, bu reaksiyada katta energiya (17,5 MeV) ajralib chiqadi; ***ikkinchidan***, deyteriy Yerda (dengiz suvida) g'oyat ko'p miqdorda mavjud (6000 vodorod atomiga bitta deyteriy atomi to'g'ri keladi); ***uchinchidan***, Yerda litiy elementining zaxirasi yetarlicha katta. Gap shundaki, tritiy tabiatda yo'q. Uni hozir termoyadro reaktorining o'zida litiyni neytronlar bilan bombardimon qilish orqali sun'iy yo'l bilan olinadi:



Yengil yadrolarning termoyadro sintezi reaksiyasining bosh-qarish muammosini muvaffaqiyatli hal etilishi insoniyatga qanday foyda keltirishini akademik I.E. Tammning bir maqolasidan keltirilgan quyidagi parcha bilan baholash mumkin: «350 l benzindan qanday energiya olinsa, 1 l suvning tarkibidagi deyteriydan ham shuncha energiya olish mumkin. Shunday qilib, energetik nuqtayi

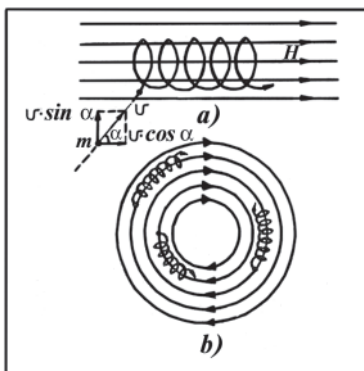
nazardan, Yer sharini o‘rab turgan to‘rtta okean 1400 ta benzin okeaniga teng kuchlidir. Hattoki iste‘mol qilinadigan energiya 100 marta ortsa ham, mavjud energiya zaxirasi insoniyatga milliard yillarga yetadi».

Hozirgi vaqtda ko‘pgina olimlar bu muammoning hal etilishi ustida ish olib bormoqdalar.

## 107- §. Yuqori temperaturali plazmani yaratish va uni saqlab turish. Tokamak

Termoyadro reaksiyasini amalga oshirish uchun yadro «yoqilg‘isi»- ni bir necha 10 million gradus temperaturagacha qizdirish kerak. Bunday temperaturada modda kuchli ionlashgan gaz — plazma holatiga o‘tadi. Reaksiya so‘nmasligi uchun plazmaning kengayishiga yo‘l qo‘ymasdan uni biror tayinli hajmda tutib turish kerak. Buni plazmani berk idishga oddiy qamash bilan amalga oshirish mumkin emas, chunki plazma idish devorlariga tegsa soviydi. Bundan tashqari yuqori temperaturaga chidamli bo‘lgan har qanday moddadan qilingan idish devorlari bunday temperaturada erib, bug‘lanib ketadi.

XX asrning 50- yillarida rus fiziklari A.D. Saxarov va I.E. Tammlar hamda ba‘zi chet el olimlari plazmani tayinli hajmda magnit maydon yordamida tutib turish g‘oyasini ilgari surdilar. Bu g‘oyaning fizik mohiyati quyidagicha. Bir jinsli magnit maydonda boshlang‘ich tezligi maydon kuchlanganligi yo‘nalishiga perpendikulyar bo‘lgan zaryadli zarra Lorens kuchi ta‘siri ostida maydon yo‘nalishiga perpendikulyar tekislikda aylana bo‘yicha harakatlanadi.



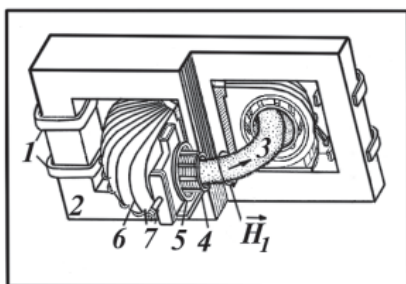
216- rasm.

Zarraning boshlang'ich tezligi magnit maydoni yo'nalishiga parallel bo'lganda esa unga Lorens kuchi ta'sir qilmaydi va zarra inersiyasi bilan maydon bo'yicha harakatlanadi. Agar zarraning  $v$  tezligi maydon yo'nalishi bilan biror  $\alpha$  burchakni hosil qilsa, u holda zarraning keyingi harakati ikki harakatning geometrik yig'indisidan iborat bo'ladi: maydon kuch chiziqlariga perpendikulyar tekislikdagi aylana bo'ylab  $v \sin \alpha$  tezlik bilan aylanish va  $v \cos \alpha$  tezlik bilan maydon bo'ylab siljish (216- a, rasm).

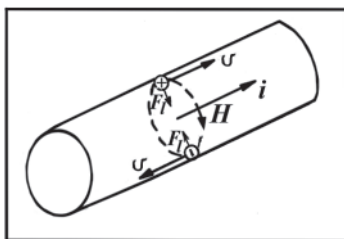
Zarraning natijaviy harakat trayektoriyasi magnit maydonning kuch chiziqlariga o'raluvchi vint chiziqdan iborat bo'ladi. Magnit maydonning bu xossasidan zaryadli zarralarning sochilishiga yo'l qo'ymaslik maqsadida foydalaniladi. Bu jihatdan toroidning magnit maydoni alohida diqqatga sazovordir. Bu maydon go'yo harakatlanayotgan zarralarning tuzog'i bo'ladi: kuch chiziqlariga «o'ralib» zarra bu maydondan chiqmasdan, juda uzoq vaqt harakatlanishi mumkin (216- b rasm). Bu xususiyatdan termoyadro qurilmalarida, xususan, sobiq Ittifoqda 1975- yili I.V. Kurchatov nomli Atom energiyasi institutida ishlab chiqilgan «Tokamak» termoyadro qurilmasida foydalaniladi.

«Tokamak» so'zi quyidagi rus so'zlarining qisqartmasidan hosil qilingan: «Торoidalная Камера с Магнитными Катушками» (Magnit g'altakli toroidal kamera). 217- rasmda Tokamak qurilmasining prinsipial sxemasi keltirilgan.

Tokamak asli po'lat varaqlardan yig'ilgan (2) o'zakdan va unga o'ralgan (1) birlamchi chulg'amdan iborat transformator bo'lib, uning ikkilamchi chulg'ami vazifasini yupqa zanglamaydigan po'latdan tor (doiraning uning tekisligida yotgan va uni kesmaydigan o'q yaqinida aylanishidan hosil bo'ladigan fazoviy shakl) ko'rinishda yasalgan (4) kamera ichidagi (3) plazma o'rami



217- rasm.



218- rasm.

o'taydi. (4) kameraning sirti qalin misdan yasalgan (5) g'ilof bilan qoplangan. Kamera bilan g'ilof bir-biridan elektr jihatdan izolyatsiyalangan bo'lib, ular orasidagi oraliq fazoda nasos yordamida vakuum hosil qilib turiladi.

O'zakka o'ralgan birlamchi chulg'am tok manbayiga ulanganda tok impulsleri tor ichida kameradagi siyraklashgan gazning zarb bilan ionlashishi uchun yetarli kuchlanganlikli uyurmaviy elektr maydonni induksiyalaydi, natijada gaz ionlashadi, gaz razryad hosil bo'ladi va gaz orqali o'tayotgan  $10^6\text{A}$  tartibdagi razryad toki gazni temperaturasi bir necha o'n million gradus bo'lgan plazmaga aylantiradi. Tokning  $\vec{H}_1$  magnit maydoni razryad kanalini qisadi va plazma shnurini kamera devorlariga tegib ketishidan saqlaydi. (Haqiqatan ham, plazma ustuni bo'ylab biror  $v$  tezlik bilan harakatlanayotgan har qanday zaryadga ta'sir qiluvchi  $F_L$  Lorens kuchi shnur o'qiga qarab yo'nalganligi 218- rasmdan ko'rinib turibdi).

Plazmani stabillash va unda yuzaga keladigan noturg'unlikni bosish uchun torga o'ralgan 6- g'altak yordamida hosil qilingan qo'shimcha bo'ylama magnit maydondan foydalaniladi. Bu ikki maydon ta'sirida plazma shnuri maydon kuch chizig'iga o'raluvchi vint bo'yicha harakatlanadi (216- rasmda qarang). 7- patrubok orqali plazmani kuzatib boriladi.

Eksperimentlar plazma shnuri nihoyatda beqarorligini ko'rsatadi. Shu sababli hozircha plazmani kamera devorlariga juda qisqa (sekundning yuzdan bir ulushigacha) vaqt davomidagina tegizmasdan turish mumkin. Bunday yo'l bilan erishilgan temperatura  $\sim 10^6\text{ K}$  sintez reaksiyaning vujudga kelishi uchun yetarli emas.

Hozirgi vaqtda termoyadro reaksiyasini boshqarish sharoitlarini yaratishga oid nazariy va eksperimental tadqiqot

ishlari olib borilmoqda. Yaqin kelajakda shunday sharoit yaratilishiga va boshqariladigan termoyadro reaksiyasini amalga oshirishga erishiladi, deb ishonch bilan aytishga hamma asoslar mavjud.

## 108- §. Yadroviy nurlanish dozasi

Radioaktiv moddalarning nurlanishi barcha tirik organizmlarga kuchli ta'sir ko'rsatadi. Yadroviy nurlanishlarning moddaga ko'rsatadigan ta'siri **nurlanish dozalari** deb ataladigan kattaliklar bilan baholanadi. Shu kattaliklar bilan tanishib chiqaylik.

1. **Nurlanish dozasi D.** *Nurlanilayotgan moddaning birlik massasida yutilgan ionlovchi nurlanish energiyasi **nurlanish dozasi** deb ataladi:*

$$D = \frac{W}{m}, \quad (176)$$

bunda:  $m$  — nurlanilayotgan moddaning massasi;  $W$  — shu modda yutgan ionlovchi nurlanish energiyasi.

SI da *nurlanish dozasining o'lchov birligi qilib nurlanilayotgan 1 kg massali moddaga uzatilgan nurlanish energiyasi 1 J bo'lgandagi doza qabul qilingan.* Bu birlik  $\frac{J}{kg}$  larda ifodalanadi va **grey** (Gy)

deb ataladi:  $1 \text{ Gy} = \frac{J}{kg}$ . Sistemadan tashqarida nurlanish dozasi **rad**

larda o'lchanadi.  $1 \text{ rad} = 10^{-2} \frac{J}{kg} = 10^{-2} \text{ Gy}$ .

**Nurlanish dozasining quvvati N.** *Birlik vaqt davomida yutilgan nurlanish dozasi nurlanish dozasi quvvati yoki doza quvvati deyiladi:*

$$N = \frac{D}{t}. \quad (177)$$

SI da doza quvvati  $\frac{Gy}{s}$  yoki  $\frac{W}{kg}$  larda o'lchanadi.

2. **Nurlanishning ekspozitsion dozasi  $D_e$ .** *Rentgen nurlari yoki  $\gamma$ -nurlanishning quruq havoning ionlashtirish effekti bo'yicha baholanadigan energetik xarakteristikasi **nurlanishning ekspozitsion dozasi** deb ataladi.*

SI da ekspozitsion doza  $1 \frac{\text{C}}{\text{kg}}$  larda o'lanadi. *Rentgen nurlari yoki  $\gamma$ -nurlanishning 1 kg massali quruq havoda hosil qilgan birday ishorali ionlarning yig'indi zaryadi 1 C bo'lganda ekspozitsion doza  $1 \frac{\text{C}}{\text{kg}}$  ga teng bo'ladi.* Sistemadan tashqarida ekspozitsion dozaning birligi **rentgen** (R) bo'lib, bu birlik amalda keng qo'llaniladi:

$$1R = 2,58 \cdot 10^{-4} \frac{\text{C}}{\text{kg}}.$$

**Ekspozitsion doza quvvati  $N_e$ .** Birlik vaqt ichida ekspozitsion dozaning orttirmasi **ekspozitsion doza quvvati** deyiladi:

$$N_e = \frac{D_e}{t} \quad (178)$$

SI da ekspozitsion doza quvvati  $1 \frac{\text{A}}{\text{kg}}$  larda o'lanadi. 1 s ichida quruq havoga uzatiladigan  $1 \frac{\text{C}}{\text{kg}}$  ekspozitsion dozaga  $1 \frac{\text{A}}{\text{kg}}$  ekspozitsion doza quvvati deyiladi. Ekspozitsion doza quvvatining SI ga kirmaydigan birliklari  $1 \frac{\text{R}}{\text{s}}$ ,  $1 \frac{\text{R}}{\text{min}}$ ,  $1 \frac{\text{R}}{\text{soat}}$  dan iborat.

**3. Nurlanishning ekvivalent dozasi.** Nurlanish dozasi uning biologik ta'siriga qarab ham baholanishi mumkin. Bunda nurlanishning **ekvivalent dozasidan** foydalaniladi.

*Ekvivalent doza yutilgan nurlanish dozasi bilan ko'rilayotgan nurlanishning rentgen yoki  $\gamma$ -nurlanishlarga nisbatan nisbiy biologik aktivligini xarakterlovchi sifat koeffitsiyenti  $K$  ning ko'paytmasiga teng bo'ladi.* Rentgen va  $\gamma$ -nurlanishlar uchun  $K=1$ ; issiqlik neytronlari uchun  $K=3$ ; 0,5 MeV energiyali neytronlar uchun  $K=10$ .

SI da ekvivalent doza  $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$  larda o'lanadi. Bu birlik **zivert** (Zv)

deb ataladi.  $1Zv = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$ . Amalda ekvivalent dozaning **rentgenning biologik ekvivalenti ber** (биологический эквивалент рентгена) deb ataladigan birligidan foydalaniladi. *Rentgen yoki  $\gamma$ -nurlanishlarning bir rentgen dozasiga biologik ekvivalent bo'lgan yutilgan nurlanish energiyasi rentgenning biologik ekvivalenti deyiladi.*

$$1\text{ber} = 10^{-2} \frac{\text{J}}{\text{kg}}.$$

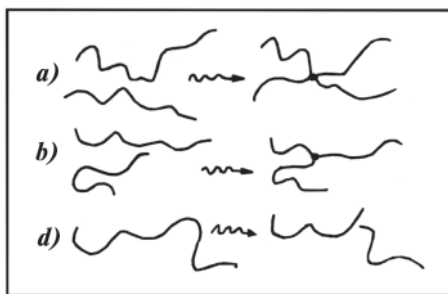
Ekvivalent dozaning quvvati  $\frac{W}{\text{kg}}$  larda o'lchanadi.

Nurlanish manbalari maydonlaridagi dozalarni o'lchash va hisoblash, shuningdek, radioaktiv preparatlarning aktivligini o'lchash bilan amaliy yadro fizikasining **dozimetriya** bo'limi shug'ullanadi. Bunda nurlanish dozasi o'lchash uchun **dozimetr**lardan foydalaniladi. Yadroviy nurlanishlarni, zarralarni qayd etish va kuzatishda qo'llaniladigan asboblari (100-§ ga qarang) dozimetrlardir.

Dozimetriya tibbiyot, atom sanoati, radiobiologiya, radiatsion kimyo kabi sohalarida qo'llaniladi.

### 109- §. Yadroviy nurlanishning kimyoviy va biologik ta'siri. Biologik himoya

**Nurlanishning kimyoviy ta'siri.** Yadroviy nurlanish moddadan o'tayotganida unda turli kimyoviy o'zgarishlarni yuzaga keltiradi. Nurlanish molekula yoki atomlarni ionlashi, uyg'otishi, dissotsiatsiyalashi mumkin. Bunda birlamchi nurlanish zarralari qanday turda (rentgen va  $\gamma$ -nurlar, elektronlar,  $\alpha$ -zarralar, protonlar, tez neytronlar) bo'lganda ham, molekulalarning kimyoviy o'zgarishiga ularning ikkilamchi (nurlanish ta'sirida yuzaga kelgan) elektronlar, bo'linish parchalari, tepki yadrolar,  $\gamma$ -kvantlar kabilar bilan o'zaro ta'sirlashishi sabab bo'ladi. Bunday o'zaro ta'sirning mahsulotlari: ionlar, erkin radikallar, uyg'ongan zarralar, odatda, boshqa molekulalar bilan kimyoviy reaksiyalarga kirishadi. Natijada moddaning kimyoviy tarkibi, fizik va kimyoviy



219- rasm.

xossalari o'zgarishi mumkin. Masalan, nurlanish ta'sirida polimerlar xossalari ularda ro'y beradigan radiatsion-kimyoviy reaksiyalar tufayli o'zgaradi. Yadroviy nurlanish polimer molekulalarining tuzilishini o'zgartiruvchi bir qator kimyoviy reaksiyalarni, xususan, molekulalar orasida kimyoviy bog'lanishlar (birikish) (219- a, b, rasm), molekulalarning uzilishi (destruksiya) (219- d, rasm) (rasmda molekulaning boshlang'ich va oxirgi holatlari tasvirlangan), har qanday qo'sh bog'lanishlarning hosil bo'lishi va yo'qolishi, gazsimon mahsulotlar (vodorod va boshqalar)ning ajralishi va shu kabilarni yuzaga keltiradiki, bu, o'z navbatida, polimerlarning fizik xossalari o'zgarishiga olib keladi. Masalan, polietilen, tabiiy kauchuk, neylon kabi bir guruh polimerlar  $\gamma$ -nurlar bilan nurlantirilganda ularning uzilishga mustahkamligi va temperaturaga chidamliligi, materialning qattiqligi ortadi, eruvchanligi o'zgaradi. Boshqa bir guruh polimerlar, masalan, teflon, sellyuloza, butil-kauchuk kabilar borki, nurlantirish oqibatida ularning xossalari yomonlashadi: tolalarning uzilish uzunligi hamda o'rtacha uzunligi qisqaradi, yopishqoqligi kamayadi va hokazo.

Yadroviy nurlanish ta'sirida moddada ro'y beradigan radiatsion-kimyoviy o'zgarishlarni o'rganish ikki jihatdan ahamiyatga ega: 1. Radiatsion kimyoviy o'zgarishlar atom texnikasida yoki tabiatda bo'ladigan nurlanishlar maydonlarida ro'y beradi. Bunda eng asosiy maqsad — materiallar (atom reaktorlaridagi issiqlik uzatkichlar, nurlanish maydonlarida ishlatiladigan polimerlar va moylovchi materiallar hamda shu kabilar)ni imkoni boricha buzilish va yemirilishdan saqlash. 2. Muhim qimmatli yangi xossalarga ega materiallarni olish va yuqori samarali kimyoviy texnologik jarayonlarni yaratish.

**Nurlanishning biologik ta'siri.** Radiatsion nurlanish barcha tirik obyektlarga, eng oddiysi (virus va bakteriyalar) dan tortib to insonlargacha, kuchli ta'sir qiladi, ularga shikast yetkazadi, hatto nobud qilishgacha olib keladi. Biologik obyektning nurlanishga **radiosezgirlik** deb ataladigan ta'sirchanligi va unda to'la yutilgan nurlanish dozasi obyektning shikastlanish darajasini aniqlaydigan asosiy omillardir.

Organizmning radiatsiya ta'sirida zararlanishi asosida molekulyar va hujayra strukturalar shikastlanishining birlamchi jarayonlari — atom hamda molekulalarning ionlashishi va shu tufayli ularning kimyoviy faolligining o'zgarishi yotadi. Buning oqibatida muhim biologik makromolekulalar — oqsillar, fermentlar, nuklein kislotalar,

polisaxaridlar va hokazolar nurlanish ta'sirida bir qator o'zgarishlarga, ko'proq qaytmas o'zgarishlarga duchor bo'ladi. Nurlanish ta'sirida biologik makromolekulalarda ularning biologik (fermentativ, gormonal va hokazo) faolligining yo'qolishi, depolimerlashish va, aksincha, yangi kimyoviy bog'lanishning hosil bo'lishi, dezaminlashish (kimyoviy birikmadan  $\text{NH}_2$  aminoguruhni yulib ajratish), radiatsion oksidlanish va shu kabi o'zgarishlar yuzaga keladi.

Aniqlanishicha, organizmning temperaturasini 0,001 gradusgagina ko'tara oladigan darajada yutilgan nurlanish dozasi organizm hujayralarining hayot faoliyatini izdan chiqarish uchun yetarli ekan. Tirik hujayraning turli qismlari radioaktiv nurlanishning bir xil dozasi ga nisbatan turlicha sezgir bo'ladi. Nurlanishga hujayralarning yadrolari, ayniqsa, tez bo'linadigan hujayralarning yadrolari sezgir bo'ladi.

Shuning uchun nurlanish, birinchi navbatda, organizmda ilikni shikastlaydi, buning natijasida qon hosil bo'lish jarayoni buziladi (qon saratoni kasalligiga duchor qiladi), nurlanish ovqat hazm qilish yo'lining hujayralariga — me'da va ichaklarning shilliq qatlamlariga ta'sir ko'rsatadi. Katta dozalardagi nurlanish nobud bo'lishga olib keladi, kamroq dozalarda esa qator kasalliklar (nur kasalligi) paydo bo'ladi.

**Biologik himoya.** Radioaktiv izotoplar, atom reaktorlari kabi radioaktiv nurlanish manbalari bilan ishlashda nurlanishning ta'sir doirasiga tushishi mumkin bo'lgan barcha ishlovchilarni nurlanishdan himoya qilish choralari ni ko'rish lozim. Radiatsion nurlanish intensivligi manbagacha bo'lgan masofaning kvadratiga teskari proporsional ravishda kamayishini nazarga olsak, muhofaza ning eng oddiy usuli — odamlarni nurlanish manbayidan yetarlicha kattaroq masofaga uzoqlashtirishdir. Shu ma'noda radioaktiv preparatli ampulalarni qo'l bilan emas, balki uzun dastali qisqichlar bilan ushlash maqsadga muvofiqdir.

Radiatsiya manbayidan kerakli masofagacha uzoqlashtirishning imkoni bo'lmagan hollarda muhofaza qilish uchun nurlanishni yutuvchi materiallardan qilingan to'siqlardan foydalanish zarur.

Ma'lumki, «neytral nurlanish» hisoblanuvchi rentgen nurlari,  $\gamma$ -kvantlar va neytronlar oqimining moddalarga kiruvchanlik qobiliyati katta (97- § ga qarang). Shuning uchun ulardan muhofaza qilish ancha qiyin kechadi. Rentgen nurlari,  $\gamma$ -kvantlar Pb qo'rg'oshinda eng ko'p yutiladi. Sekin neytronlar B borda va Cd

kadmiyda yaxshi yutiladi. Tez neytronlarni bu to'siqlarga yo'naltirishdan avval grafitda sekinlashtiriladi.

$\alpha$ -nurlanishdan himoyalaniş ancha sodda:  $\alpha$ -zarralarni bata-mom yutish uchun bir varaq qog'oz yoki bir necha santimetr qalinlikdagi havo qatlami yetarli, ammo radioaktiv manbalar bilan ishlayotganda nafas olish yoki ovqatlanish paytlarida  $\alpha$ -zarralarning organizm ichiga kirib ketishidan ehtiyot bo'lish kerak.

$\beta$ -nurlanishdan himoyalaniş uchun qalinligi bir necha santimetr bo'lgan alyuminiy, pleksiglas yoki shisha plastinkalar kifoya. Bu holda  $e^-$  — elektronlar modda bilan o'zaro ta'sirlashganda rentgen nurlanishining,  $e^+$  — pozitronlar modda bilan ta'sirlashganda esa bu zarralarning elektronlar bilan annigilyatsiyalanishida  $\gamma$ -nurlanishning hosil bo'lishini hisobga olish lozim.

### **110- §. Radioaktiv izotoplarni olish, ulardan nishonli atomlar va nurlanishlar manbayi sifatida foydalanish. Bu sohada O'zbekistonda qilinayotgan ishlar**

Hozirgi vaqtda fanda 107 ta kimyoviy element (106- va 107- elementlar birinchi marta sobiq Ittifoqda Dubna shahrida sintez qilingan) va ularning 1100 tadan ko'proq izotopi ma'lum. Bu izotoplarning 270 ga yaqini turg'un bo'lsa, 40 taga yaqini tabiiy radioaktivlik va 800 taga yaqini sun'iy radioaktivlik xossasiga ega.

Radioaktiv izotoplar ko'proq sun'iy yo'l bilan olinadi. Bunda yadro reaktorlari va elementar zarralar tezlatkichlaridan foydalaniladi. Yadro reaktorlari kanallarida kimyoviy elementlar nurlatilib, fosfor-32 ( $^{32}_{15}\text{P}$ ), molibden-99 ( $^{99}_{42}\text{Mo}$ ), texnisiy-99 ( $^{99}_{43}\text{Tc}$ ), oltin-198 ( $^{198}_{79}\text{Au}$ ), yod-131 ( $^{131}_{53}\text{J}$ ), yod-125 ( $^{125}_{53}\text{J}$ ), stronsiy-89 ( $^{89}_{38}\text{Sr}$ ), va boshqa shu kabi izotoplar olinadi. Elementar zarralar tezlatkichlari (siklotron)da kobalt-57 ( $^{57}_{27}\text{Co}$ ), palladiy-103 ( $^{103}_{46}\text{Pd}$ ), yod-123 ( $^{123}_{53}\text{J}$ ), va hokazo izotoplar olinadi. Bu izotoplar asosida fan va texnika, xalq xo'jaligi, tibbiyot tarmoqlarida ishlatiladigan radiokimyoviy birikmalar tayyorlanadi.

Har bir radioaktiv izotop faqat o'ziga xos, individual xarakterdagi nur chiqaradi va uning o'rtacha yashash vaqti ham shu izotopgagina xos bo'ladi. Radioizotoplarning atomlari ana shu

xossasi bilan boshqa izotoplar atomlaridan farq qiladi, u bamisoli «nishonlangan» bo'ladi.

Hozirgi vaqtda fizik olimlar radioaktiv izotoplarni olish va ulardan hamda radioaktiv nurlanish energiyasidan fan va xalq xo'jaligining turli sohalarida foydalanish maqsadida ilmiy va amaliy tadqiqot ishlari olib bormoqdalar. Jumladan, O'zbekiston olimlari ham mana bir necha o'n yildirki, shunday tadqiqot ishlari bilan shug'ullanib kelmoqdalar. O'zbek (fizik, genetik, fiziolog, biolog, tibbiyot, texnik, kimyogar) olimlari amalga oshirgan va oshirib kelayotgan ishlarning ba'zilar bilan tanishib chiqsak, sun'iy radioaktiv izotoplar va radioaktiv nurlanish energiyasidan qanday maqsadlarda va qanday usullar bilan foydalanish mumkinligi haqida tasavvur hosil qilamiz.

### **1. Radioaktiv nurlanish energiyasidan foydalanish.**

Sun'iy radioaktiv izotoplar nurlayotgan yadro energiyasining qo'llanishi g'oyat turli-tumandir. Sanoat tarmoqlarida radioaktiv nurlanishdan ba'zi texnologik jarayonlarni avtomatik boshqarishda (gamma- rele, beta- rele), gazning sifati va bosimini aniqlashda, konveyerdan o'tayotgan mahsulotni sanashda, po'lat prokatning markirovkasini avtomatik tekshirib tartibga solishda va hokazolarda keng qo'llaniladi. Masalan, respublikamizdagi Oltintopgan qo'rg'oshin-rux kombinatida pulpa (metallni ajratib olish yoki metall bilan boyitish uchun suv yoki suyuq erituvchilar bilan suyultirilgan mayin maydalangan ruda) zichligini radioaktiv asbob yordamida tekshirib, avtomatik tartibga solib turiladi. Bu esa konsentrat tarkibidagi mineralni ko'paytirishga imkon beradi.

Radioaktiv nurlardan metallurgiya korxonalarida muvaffaqiyatli foydalanilmoqda. Radioaktiv nur yordamida metallning ichki tuzilishini ko'zdan kechirish, metallda kavakchalar, darzlar, pufakchalar bor-yo'qligini, quymaning bir tekis chiqqan-chiqmaganligini, payvandlangan chokning bir tekisligini va sifatligini aniqlash mumkin.

Kabelning ulangan joyini topadigan avtomat yaratildi. Unda qo'llanilgan radioaktiv usul kabelning ulog'ida gamma-nurlarning yutilishiga asoslangan.

Radioaktiv nurlanish energiyasidan farmatsevtika sanoatida dori preparatlarni, konserva ishlab chiqarishda mahsulotlarni sterillash maqsadida foydalaniladi.

Har doim ham yadro nurlanishlari ta'siri zararli bo'lavermaydi. Bundan tibbiyotda turli kasalliklarni davolashda foydalaniladi. Masa-

lan, inson organizmidagi zararli shishlarni terapevtik  $\gamma$ -nurlantirib, o'sishi to'xtatiladi.

Qishloq xo'jaligida radioaktiv izotoplar vositasida o'simliklarning tezpisharlik, sovuqqa chidamlilik, kasalliklarga qarshi barqarorlik va shu kabi ba'zi irsiy xususiyatlariga kerakli yo'nalishda o'zgarish kiritish maqsadida o'simliklarning urug'lari va o'zlari nurlantiriladi. Masalan, ekish oldidan chigitni gamma-nurlar va neytronlar bilan nurlantirish chigitning unuvchanligiga, g'o'zaning o'sib-rivojlanishiga, ko'sak tuguviga hamda chigitning seryog' bo'lishiga ijobiy ta'sir etishi isbotlandi.

Shuningdek, gamma-nurlar bilan ta'sir etilgan pillaning po'sti yaxshi tortilishi sababli ko'proq xom ipak chiqishi, tortishda ipak kam uzilishi, tortilib chiqadigan ipakning umumiy va uzluksiz uzunligining oshishi, gamma-nurlar bilan nurlatilgan tut bargi bilan boqilgan ipak qurtlarining pilla o'rashi ko'payishi, qurtlarning yashash qobiliyati yaxshilanishi aniqlandi.

## **2. «Nishonli atomlar» usulidan foydalanish.**

«Nishonli atomlar» usuli radioaktiv izotoplarning kimyoviy xossalari o'sha elementning radioaktiv bo'lmagan izotoplarining kimyoviy xossalariidan farq qilmasligiga asoslangan. Radioaktiv izotoplarni ularning nurlanishiga qarab osongina payqash mumkin. «Nishonli atomlar» usuli biologiya, fiziologiya, tibbiyot va boshqa sohalarda ko'plab muammolarni hal qilishda eng samarali usul bo'lib hisoblanadi. Bu usulning mohiyati quyidagidan iborat.

Yarim yemirilish davri katta bo'lmagan radioaktiv izotopning mikroskopik dozasini tekshirilayotgan sistema qismlarining biriga, masalan, o'simlik ildizi yaqinidagi tuproqqa, suv yoki havo oqimiga, tirik organizm to'qimalariga va hokazolarga kiritiladi. So'ngra radioaktiv nurlanish schyotchigi yoki boshqa biror qayd qiluvchi asbob yordamida berilgan sistemaga kiritilgan izotopning ko'chishi kuzatiladi. Bu kuzatishlarning natijalari tahlil qilinib, tekshirilayotgan sistemada o'tadigan jarayonlar to'g'risida boshqa bironta hozirgi usullar vositasida o'rganib bo'lmaydigan muhim ma'lumotlar olinadi.

Hozirgi kunda YaFI ning «Radiopreparat» korxonasida yod-131 bilan nishonlangan natriyli izotopik eritma, kapsulalarda natriyli yod, natriyli ortogippurat, albumin, albumin makroagregati kabi radiofarmatsevtik preparatlar ishlab chiqarilmoqda. Bu preparatlar organizmdagi qalqonsimon va so'lak bezlari, bosh

miyadagi, jigar va taloqdagi shishlar, sirroz, gepatit, o't pufagi va boshqa kasalliklarni tashxis qilish va davolash uchun ishlatiladi. Fosfor-32 izotopi bilan nishonlangan natriy fosfat in'eksion eritmasi suyak metastazi (mikroblar yoki shish hujayralarining qon yoki limfatik yo'li bilan boshlang'ich joyidan organizmning boshqa joylariga ko'chishi)ni tashxis qilish va davolashda qo'llaniladi va hokazo. Qishloq xo'jaligida fosfor-32 izotopi bilan nishonlangan qo'shsuperfosfat o'simliklarda fosforning migratsiyasini o'rganish uchun qo'llaniladi.

Ma'limki, neft va tabiiy gaz uzoq masofalarga po'lat quvurlar orqali uzatiladi. Biror sababga ko'ra (quvurlarning biron joyi darz ketishi yoki ular bir-biriga yaxshi ulanmaganligi, yoxud eskirib, zanglab ketishi sababli) quvurlardan gaz sizib chiqishi mumkin. Hozir gaz sizib chiqayotgan joyni tezda topish mumkin. Buning uchun quvur ichidan oqayotgan moddaga (bizning misolimizda gazga) ozgina radioaktiv qo'shimcha qo'shiladi. Gaz sizib chiqayotgan joyga yetganda radioaktiv izotop tuproqqa o'tadi, nurlanishni qayd etuvchi ko'chma asbob esa bu joyni darhol aniqlab beradi.

Xulosa qilib shuni aytish mumkinki, radioaktiv izotoplar va nurlanish energiyasining qo'llanilishi haqida yuqorida keltirilgan g'oyat qisqa ma'lumotlar ularning xalq xo'jaligidagi ahamiyati juda muhim ekanligini ko'rsatadi. Shu sababli hozirda ma'lum usullar va asboblardan yanada kengroq foydalanish va ularni takomillashtirish, yangilarini yaratish xalq xo'jaligi uchun nihoyatda muhim masalalardan hisoblanadi.

### **Takrorlash uchun savollar**

1. *Yadro sintezi deganda nimani tushunasiz?*
2. *Termoyadro reaksiyasi deb qanday fizik jarayonga aytiladi?*
3. *Nima uchun deyeriy va tritiylar aralashmasida kechadigan termoyadro reaksiyasi eng samarali bo'ladi, deb hisoblanadi?*
4. *Litiy  ${}^6_3\text{Li}$  izotopidan tritiy  ${}^3_1\text{H}$  izotopini olish reaksiyasini yozing va tushuntiring.*
5. *Plazma moddaning qanday fizik holati?*
6. *Qanday sharoitda plazmani biror tayinli hajmda ushlab turish imkoniyati bor?*
7. *Toroidal magnit maydonda zaryadli zarraning harakatini tushuntiring. Uning harakat trayektoriyasi qanday ko'rinishda bo'ladi?*
8. *Tokomak qanday qurilma? Uning tuzilishini tushuntiring.*

9. Tokomakda plazma qanday hosil qilinadi va qanday ushlab turiladi?
10. Yadroviy nurlanish dozasi deb qanday kattalikka aytiladi? Nurlanish dozasining quvvati deb-chi?
11. Nurlanish dozasi va nurlanish dozasining quvvatining birliklarini tushuntiring.
12. Nurlanishning ekspozitsion dozasi deb nimaga aytiladi? Ekvivalent dozasi deb-chi? Ular qanday birliklarda o'lchanadi?
13. Dozimetrklar qanday asboblardir?
14. Yadroviy nurlanishning kimyoviy ta'sirini tushuntiring.
15. Yadroviy nurlanishning biologik ta'sirini tushuntiring.
16. Nurlanishdan biologik himoyani qanday amalga oshirish mumkin?
17. Radioaktiv izotoplar qanday olinadi?
18. Har bir radioaktiv izotopning o'ziga xos xususiyati nimadan iborat?
19. Radioaktiv nurlanish energiyasidan sanoatda, metallurgiyada, farmatsevtikada, tibbiyotda va qishloq xo'jaligida qanday maqsadlarda foydalaniladi?
20. «Nishonli atomlar» usulining fizik mohiyatini tushuntiring.
21. Bu usuldan tibbiyotda, qishloq xo'jaligida qanday maqsadlarda foydalaniladi?

## IX bob. ELEMENTAR ZARRALAR HAQIDA TUSHUNCHA

---

### 111- §. Elementar zarralar tarkibi

VII va VIII boblarda elementar zarra deb ataladigan zarralar: protonlar, elektronlar, neytronlar, pozitronlar, neytrinolar va fotonlar haqida gap yuritildi.

*Elementar zarralar deb, fizika fanining hozirgi taraqqiyot bosqichida eng sodda, ma'lum ichki strukturaga ega bo'lmagan, faqat bitta zarradan tashkil topgan zarralarga aytiladi.*

1932- yilgacha elementar zarralarning soni uchta — elektron, proton va neytron edi. 1956- yilga kelib ularning soni 30 ga bordi. Hozirgi vaqtda barqaror bo'lgan va o'rtacha yashash vaqti  $10^{-7}$  s dan kam bo'lmagan (qiyosan barqaror bo'lgan) 39 ta elementar zarra mavjud. Bundan tashqari 300 dan ortiq qisqa muddat yashovchi zarralar kashf qilindi. Avvalo shu zarralarning kashf qilinishi bilan qisqacha tanishaylik.

**Elektron**  $e$  — birinchi elementar zarra bo'lib, atom tarkibiga kiradi. Uning mavjudligi haqida 1881- yilda Stoney (J.J. Stoni) oldindan postulat tarzida aytgan. 1897- yilda J.J. Tomson elektronning  $\frac{e}{m}$  solishtirma zaryadini o'lchab, elektronning mavjudligini eksperimental kashf etgan. Elektron barqaror zarra, uning yashash vaqti kamida  $10^{22}$  yilga teng ekanligi aniqlangan (qiyoslash uchun: bizning Koinot «atigi»  $2 \cdot 10^{10}$  yil yashar ekan).

**Proton**  $p$  — atom yadrosi tarkibiga kiruvchi birinchi elementar zarra bo'lib, 1919- yilda kashf etilgan. Lekin qaysi hodisani proton kashf qilingan hodisa deb aytish qiyin, chunki vodorod ioni sifatida u uzoq vaqtdan buyon ma'lum edi. Protonning kashf qilinishida 1911- yilda E. Rezerford yaratgan atomning planetar modeli ham, 1906—1919- yillarda J. Tomson, F. Soddi, F. Aston tomonidan izotoplarning ochilishi ham, azot yadrosidan alfa-zarralar urib chiqargan vodorod yadrolarini kuzatish ham rol o'ynaydi.

Proton ham barqaror zarra. Uning yashash vaqti  $10^{32}$  yildan kam emas ekan.

**Neytron**  $n$  — atom yadrosining tarkibiga kiruvchi ikkinchi elementar zarra bo'lib, uni 1932- yilda J. Chedvig kashf etgan.

Neytron faqat barqaror atom yadrolari tarkibidagina turgʻundir. Erkin atom yadrosidan tashqarida neytron barqaror emas, uning oʻrtacha yashash vaqti 15 minutga yaqin.

**Neytrino**  $\nu$ . Neytrinoning mavjudligi haqidagi gipotezani 1930- yilda V. Pauli energiyaning saqlanish qonunini qutqarish maqsadida tavsiya qilgan edi. E. Fermining 1934- yilda yaratgan  $\beta$ -yemirilish nazariyasi (neytrino ishtirokida) eksperimentlarda tasdiqlandi. Biroq fiziklar neytrinoni «tutish»guncha 20 yildan ortiq vaqt oʻtdi va, nihoyat, 1953- yilda F. Reynis va K. Kouen tomonidan atom reaktorida oʻtkazilgan tajribalarda qayd etildi. Hozirgi vaqtda uning  $\nu_e$  — **elektron neytrino**,  $\nu_\mu$  — **myuon neytrino**,  $\nu_\tau$  — **taon neytrino** deb ataladigan uchta turi mavjud. Neytrino barqaror zarra.

**Myuon**  $\mu$  (yoki myu-mezon). Bu zarrani 1937- yilda K. Anderson va S. Nedermayyer kashf qilgan. Tabiatda ikki xil myuon uchraydi:  $\mu^-$  (myu-minus) — mezon va  $\mu^+$  (myu-plyus) — mezon.

**Pion**  $\pi$  (yoki pi-mezon). 1935- yilda X. Yukava nazariy yoʻl bilan  $\pi^+$ ,  $\pi^-$ ,  $\pi^0$  — pionlarni kiritgan.  $\pi^+$  — pionlarning haqiqatan ham mavjudligini 1947- yilda S. Pauell va J. Okkialini, neytral  $\pi^0$  — pionni esa 1950- yilda R. Berklund kashf etishgan.

1950- yillarda kashf qilingan  $\eta^0$  — **mezon** (eta-nol-mezon) ham myuonlar guruhiga kiradi.

XX asrning oʻrtalariga kelib yana yangi 15 ta elementar zarra kashf etildi. Bu elementar zarralarni **kaonlar** (yoki ka-mezonlar) va **giperonlar** deb ataladi. Kaonlarga  $K^+$ -,  $K^-$ - va  $K^0$  — mezonlar kiradi. Giperonlarga esa  $\lambda^0$  — lambda giperon,  $\Sigma^+$ ,  $\Sigma^-$ ,  $\Sigma^0$  — sigma

giperon,  $\Xi^+$ ,  $\Xi^-$ ,  $\Xi^0$  — ksi-giperon,  $\Omega^-$  — omega giperon kiradi.

Barcha kaon va giperonlar kuchli oʻzaro taʼsir natijasida paydo boʻlib, kuchsiz oʻzaro taʼsir natijasida yemiriladi (114- § ga qarang). Bundan tashqari ular juft-juft holda paydo boʻladi. Shuningdek, tajribada kaonlarning hosil boʻlishi sharoitlarida va oʻzaro taʼsir reaksiyalarida boshqa zarralardan farq qilishi aniqlandi. Masalan,  $K^+$  — kaon  $K^-$  — kaon bilan ham, giperonlar bilan ham birga paydo boʻlishi mumkin boʻlsa,  $K^-$  — kaon faqat  $K^+$  — kaon bilan birga vujudga kelishi mumkin ekan. Shuning uchun kaonlar va giperonlarning boshqa elementar zarralardan farqlanuvchi bunday tabiatini hisobga olib, ularni «gʻalati» **zarralar** deb ataladi.

$\tau$  — **taon** (yoki tau-mezon). Bu zarra 1975- yilda kashf qilingan. Uning yashash vaqti faqat 1981- yildagina ancha aniq topildi —  $3,4 \cdot 10^{-13}$  s.

XX asrning 50—60- yillariga kelib oʻrtacha yashash vaqti juda qisqa ( $10^{-23}$ — $10^{-22}$  s) boʻlgan zarralar kashf qilindi. Bu zarralarni **rezonans zarralar**, **rezonanslar** yoki **rezononlar** deb ataladi. Birinchi rezonansni 1952- yilda E. Fermi kashf qilgan. 1980- yilga kelib qayd qilingan rezonanslarning soni 300 dan ortib ketdi.

XX asrning 70—80- yillarida elementar zarralarning yangi guruhlar — ogʻir zarralar kashf qilindi. Ularning bir guruhi «**maftunkor**» zarralar, yana bir guruhi esa «**goʻzal**» zarralar deb ataladi. «Maftunkor» zarralar «gʻalati» zarralardan ogʻirroq, «goʻzal» zarralar esa «maftunkor» zarralardan ogʻirroqdir.

Elementar zarralar tarkibiga gravitonlar va fotonlar ham kiritiladi.

**Graviton**  $G$  gravitatsion oʻzaro taʼsirning tashuvchisidir. Gravitonning mavjudligi A. Eynshteynning tortishish nazariyasidan, kvant mexanika prinsiplaridan va nisbiylik nazariyasidan kelib chiqadi. Ammo uni tajriba yoʻli bilan hali qayd qilinmagan. Gravitonni topish juda qiyin, chunki u modda bilan juda kuchsiz taʼsirlashadi.

**Foton**  $\gamma$  — elektromagnit maydon kvanti boʻlib, u barcha elementar zarralar ichida eng keng tarqalgan zarradir. Foton koʻrinuvchi yorugʻlik oqimida ham, rentgen nurlanishida ham, lazer impulslarida ham mavjud. 1964- yilda amerikalik radioastronomlar A. Penzias va R. Vilson olam fazosi millimetrli radiotoʻlqinlar bilan toʻlganligini aniqladilar. Hozirgi zamon tasavvurlariga koʻra bu nurlanish koinot rivojlanishining ilk bosqichlarida modda temperaturasi va bosimi juda yuqori boʻlganda vujudga kelgan. Aniqlanishicha, koinotda fotonlar protonlarga qaraganda milliard marta koʻproq uchrar ekan.

Fotonni 1900- yilda M. Plank nazariy kashf qilgan. 1905- yilda A. Eynshteyn elektromagnit toʻlqin fotonlar oqimidan iborat, deb hisoblagan. 1922- yilda A. Kompton erkin elektronlarda rentgen nurlarining sochilishini oʻrganish boʻyicha oʻtkazgan tajribalaridan soʻng fizika faniga foton — yangi elementar zarra uzil-kesil kirib keldi.

Elementar zarralardan faqat uchta — elektron, proton va neytronlar asosiy zarralardir. Atomlar va umuman, bizni oʻrab olgan butun moddiy olam shu zarralardan tashkil topgan.

## **112- §. Elementar zarralarni xarakterlovchi kattaliklar. Antizarralar. Pozitronning kashf etilishi**

Barcha elementar zarralar massasi, elektr zaryadi, oʻrtacha yashash vaqti, spini va boshqa bir qator fizik kattaliklar bilan xarakterlanadi.

1. *Elementar zarralar hamma holatda massaga ega.* Zarralarning harakatdagi  $m$  massasi ularning  $W$  to'liq energiyasi bilan bog'liq:

$$W^2 = c^2 p^2 + m_0^2 c^4 = m^2 c^2, \quad (179)$$

bunda:  $p$  — zarraning impulsi;  $m_0$  — tinch holatdagi massasi. Formuladan ko'rinadiki, elementar zarraning harakatdagi massasi impulsi o'zgarishi bilan o'zgarib boradi, demak,  $m \neq \text{const}$ . Shuning uchun elementar zarralar tinchlikdagi  $m_0$  massalari bilan xarakterlanadi. Bu massa zarraning  $W_0$  ichki energiyasi bilan bog'liq:

$$W_0 = m_0 c^2. \quad (180)$$

Tinchlikdagi massasi  $m_0 = 0$  bo'lgan zarra (masalan, foton, neytrino)larning energiyasi ularning impulsi bilan bog'liq:

$$W = cp. \quad (181)$$

2. *Elementar zarralarning ko'pi elektr zaryadiga ega.* Musbat va manfiy zaryadli zarralar bor. Ularning zaryadi  $e$  elementar zaryad birligida  $+1$  va  $-1$  ga teng; ikki yoki undan ko'p zaryadli zarralar mavjud emas. Zaryadsiz zarralar ham bor. Masalan, neytron, neytrino uchun  $q = 0$ .

3. *Elementar zarralarning ko'pchiligi barqaror emas va o'rtacha yashash vaqti juda qisqa.* Bu zarralar hech qanday tashqi ta'sir bo'lmasa ham sekundning milliondan ikki ulushi ( $2 \cdot 10^{-6}$  s) dan ortiq vaqt davomida yashay olmaydi.

Faqat to'rtta zarra — foton, elektron, proton va neytrino barqarordir. Bu zarralardan har biri butun olamda yagona o'zi bo'lganda edi, o'zining o'zgarmasligini saqlashi mumkin edi.

4. *Barcha elementar zarralar spini bilan ham xarakterlanadi.*

Ko'pchilik elementar zarralarning spini  $\hbar$  birligida ( $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ ,  $h$  — Plank doimiysi)  $\frac{1}{2}$  ga teng. Masalan, proton va neytronning spini  $\frac{1}{2}$ .

Spini 1 bo'lgan zarra (foton) bilan birga spini 0 bo'lgan zarralar ( $K$  — mezon,  $\pi$  — mezon,  $\eta$  — mezon) ham bor.

5. *Elementar zarralarning xarakterli xususiyati yana shundaki: ular ikki — **zarra** va **antizarra** ko'rinishda namoyon bo'ladi.* Zarra va antizarraning massasi, elektr zaryadining kattaligi, spini bir xil, ammo zaryadining ishorasi bilan farq qiladi, zaryadi yo'q bo'lganda esa spinlarining qarama-qarshi yo'nalganligi bilan farq qiladi.

Masalan, proton  $p$  va antiproton  $\bar{p}$ , elektron  $e^-$  va pozitron  $e^+$ , neytron  $n$  va antineytron  $\bar{n}$  zarra hamda antizarralarga misol bo'la oladi.

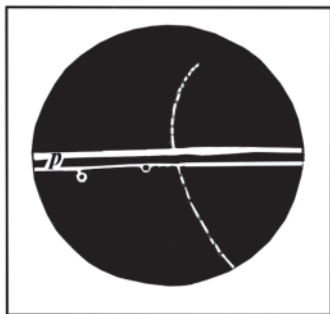
To'rtta zarra —  $\gamma$ -foton,  $\pi^0$ -mezon,  $K_1^0$ -mezon va  $K_2^0$ -mezonning antizarrasi mavjud emas. Bu zarralar **absolyut neytral zarralar** deb ataladi. Absolyut neytral tushunchasini zarraning elektr neytralligi bilan chalkashtirish kerak emas, chunki elektr jihatdan neytral zarraning antizarrasi bo'lishi mumkin (masalan, neytrino va antineytrino). Elektr zaryadining yo'qligi zarraning absolyut neytralligi uchun hali yetarli emas.

Antizarralar ichida pozitron nazariy aytilgan birinchi antizarradir. Pozitronning mavjud ekanligi P. Dirak tomonidan 1930-yilda aytilgan edi. Ikki yil o'tgandan so'ng 1932-yilda K. Anderson tomonidan kosmik nurlar tarkibida pozitron mavjud ekanligi magnit maydonga joylashtirilgan Vilson kamerasi yordamida payqaldi.

220- rasmda zarraning qoldirgan ingichka izi (treki)ning fotosurati keltirilgan. Bunda zarra pastdan yuqoriga qarab harakatlanadi. P qo'rg'oshin plastinkadan o'tayotganida zarra energiyasining bir qismini yo'qotgani sababli plastinkadan yuqorida uning trayektoriyasining egrilanishi ortadi. Zarra trekinging egrilanish yo'nalishiga qarab zaryadining ishorasi musbat ekanligi,

egrilik radiusi va energiyasiga ko'ra  $\frac{e}{m}$  solishtirma zaryadi aniqlandi.

Bu nisbat kattalik jihatdan xuddi elektronniki singari bo'lib chiqdi. Keyinchalik pozitronning sun'iy radioaktivlikda va katta energiyali  $\gamma$  kvantlarning atom yadrolari bilan o'zaro ta'sirlashganda hosil bo'lishi aniqlandi.



220- rasm.

1955—1956- yillarda amerikalik fiziklar B. Kork, G. Lambertson, O. Pichchioni, V. Venzellar tezlatkichda antiproton bilan antineytronning hosil bo'lish jarayonlarini kuzatdilar. Eksperimentlar bu zarralarning faqat mavjudligini isbotlabgina qolmay, balki yana nazariy ma'lum bo'lgan xossalarini ham tasdiqladi.

Keyinroq yuqori energiyali zarralar yadro reaksiyalarining mahsulotlari orasida **antideytronlar** (antiproton va *antineytron*dan tarkib topgan atom yadrosi) borligi aniqlandi. 1970- yilda Serpuxovoda (Rossiya) Yuqori energiyalar fizikasi institutida **antigeliy-3** (anti  ${}^3_2\text{He}$ ) yadrosi — ikkita antiproton va bitta antineytronlardan tarkib topgan yadro sintez qilindi. Nazariy antiproton va antineytronlardan turli antiyadrolarni qurish, binobarin, bu antiyadrolarga pozitronlarni biriktirib, odatdagi barqaror atomlarga o'xshash barqaror antiatomlarni hosil qilish mumkin. Bu esa antinuklonlar va pozitronlardan tarkib topgan antimodda mavjud bo'lishi mumkinligini bildiradi. Lekin hozirgacha astrofizik kuzatishlar antimoddani qayd etmagan.

### **113- §. Elementar zarralarning o'zaro aylanishlari. Annigilyatsiya va juftlarning hosil bo'lishi**

Elementar zarralarning o'zaro ta'sirlashishi ularning bir-biriga aylanishiga olib keladi. Bu o'zgarish elementar zarraning o'z-o'zidan parchalanib, bir necha yengilroq zarralarga bo'linib ketishidan iborat bo'lishi mumkin. Foton, elektron, protonlar, elektron bilan myu-mezonning neytrinolari hamda bularga tegishli antizarralar bu hisobga kirmaydi, ular barqaror zarralardir. O'z-o'zidan parchalanish har bir zarraga xos bo'lgan qandaydir o'rtacha vaqt oralig'ida sodir bo'ladi va bu vaqt ***o'rtacha yashash vaqti*** deyiladi. O'z-o'zidan parchalanishdan tashqari zarralarning bir-biriga aylanishi ularning o'zaro to'qnashishlarida ham sodir bo'lishi mumkin.

Elementar zarralarning bir-biriga aylana olishi ularning xarakterli xossalaridan biridir.

*Barcha elementar zarralar bir-biriga aylanib turadi va bu o'zaro aylanishlar ular mavjudligining asosiy dalilidir.*

Zarra bilan antizarra o'zaro to'qnashganda boshqa elementar zarralarga aylanadi, bunda ularning ikkalasi ham avvalgi holdagi mavjudligini yo'qotadi. Bu jarayonni ***juftlarning annigilyatsiyasi***

deyiladi. Har bir annigilyatsiyada hosil bo'lgan zarralar to'plami turlicha bo'lishi mumkin.

Juflarning annigilyatsiyasiga, masalan, proton va antiprotonning pi-nol-mezonga aylanishi:

$$p + \tilde{p} \rightarrow 2\pi^0,$$

yoki proton va antiprotonning neytron hamda antineytronga aylanishi:

$$p + \tilde{p} \rightarrow \tilde{n} + n,$$

yoxud elektron va pozitronlarning fotonlarga aylanishi:

$$e^- + e^+ \rightarrow 2\gamma$$

jarayonlari misol bo'la oladi.

Annigilyatsiyaga teskari jarayonlar ham uchraydi. Bunday jarayonlar natijasida zarralar va ularga mos antizarralar paydo bo'ladi. Bu jarayonni **juflarning paydo bo'lishi** deb ataladi. Juflarning hosil bo'lishi jarayoniga  $\gamma$ -fotonning elektron bilan ta'sirlashganda:

$$e^- + \gamma \rightarrow e^- + e^- + e^+,$$

ikki elektron o'zaro to'qnashganda:

$$e^- + e^- \rightarrow e^- + e^- + e^- + e^+$$

elektron bilan pozitronning hosil bo'lishi misol bo'la oladi.

«Annigilyatsiya» so'zi «yo'qolish» ma'nosini anglatga ham, bunda materiya butunlay yo'qolmaydi, balki boshqa ko'rinishgagina o'tadi. Masalan, elektron bilan pozitronning annigilyatsiyasida  $\gamma$ -fotonning hosil bo'lishida materiyaning zarra ko'rinishi maydon ko'rinishiga aylanganini ko'ramiz.

Hozirgi vaqtda elementar zarralar fizikasida eksperimental ravishda annigilyatsiya va juflarning hosil bo'lishidan tashqari ko'pgina aylanish jarayonlari aniqlangan. Ularda biror elementar zarralar boshqalariga aylanadi.

Atom yadrosi protonlar va neytronlardan tarkib topganini bilamiz; atom yadrosi tarkibiga boshqa hech qanday elementar zarralar kirmaydi.

Vaholanki, radioaktiv parchalanish natijasida yadrodan neytronlar va protonlardan tashqari yana  $\alpha$ -zarralar, elektronlar, pozitronlar, neytrinolar va fotonlar ajralib chiqadi.  $\alpha$ -zarralar

murakkab zarralar bo'lib, yadroning o'zida neytronlar va protonlardan hosil bo'ladi.

Elektronlar, pozitronlar, neytrinolar va fotonlar yadroda qayerdan paydo bo'lib qoladi, degan savol tug'iladi. Yadroda ular yo'q-ku. Demak, ular yadroning parchalanish jarayonida hosil bo'ladi.

Hozirgi vaqtda yadro neytronlaridan birining protonga aylanishi natijasida elektronlar sochilishi aniqlangan:

$$n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e,$$

bunda yana  $\tilde{\nu}_e$  elektron antineytrinosi hosil bo'ladi.

Shuningdek, atom yadrosidagi proton pozitron va neytrino chiqarib, neytronga aylanishi mumkin:

$$p \rightarrow n + e^+ + \nu_e.$$

Shunday qilib, bir-biriga aylana olish elementar zarralarning eng xarakterli belgisidir. *Elementar zarralar bo'linmaydi, ular bir-biriga aylanish xususiyatiga ega.*

Elementar zarralardagi barcha o'zgarishlar massa, energiya, impuls, impuls momenti, elektr zaryadining saqlanish qonunlariga qat'iy bo'ysunadi. Bundan tashqari yadro fizikasi va elementar zarralar fizikasida mavjud bir qator maxsus saqlanish qonunlari, shuningdek, massa va energiyaning o'zaro proporsionallik qonuni ham qat'iy bajariladi.

Elementar zarralarning bir-biriga aylana olishi mikrodunyoda yuz beradigan hodisalarning nihoyat darajada ko'p va xilma-xilligiga sababdir, shu bilan birga materiyaning xossalari bepoyon ekanligidan dalolat beradi.

## 114- §. Elementar zarralar sinflari

Yadro reaksiyalarini va yuqori energiyali zarralarning o'zaro ta'sirini o'rganish bo'yicha o'tkazilgan juda katta tadqiqot ishlari natijasida olingan eksperimental ma'lumotlar to'plami hozirgi vaqtgacha ma'lum bo'lgan elementar zarralarni tegishli sinflarga ajratishga imkon berdi.

Barcha elementar zarralar tinch holatdagi  $m_0$  massalarining ketma-ket ortib borishi tartibida va ularning bir qancha umumiy xususiyatlarini e'tiborga olgan holda to'rtta sinfga ajratiladi (jadvalga qarang. Rezonanslar jadvalga kiritilmagan):

1. Fotonlar ( $m_0=0$ ).
2. Leptonlar yoki yengil zarralar ( $0 < m_0 < m_e$ ).

3. Mezonlar yoki o'rtta og'irlikdagi zarralar ( $m_e < m_o < m_p$ ).
4. Barionlar yoki og'ir zarralar ( $m_p < m_o < m_d$ ).

Bu yerda  $m_e, m_p$  va  $m_d$  mos ravishda elektron, proton va deytron (og'ir vodorod yadrosi  ${}^2_1\text{H}$ ) ning tinch holatdagi massalari. Barionlar, o'z navbatida, yana nuklonlar va giperonlarga bo'linadi.

Tau-mezonning ko'p xossalari leptonlar xossalariga yaqin bo'lgani sababli, u og'ir zarra bo'lsa ham leptonlar sinfiga kiritilgan. Jadvalda keltirilgan barcha zarralarning ba'zi xarakteristikalarini berilgan: zarralarning massasi (elektronning tinch holatdagi massasi birligida):

Jadval

| Zarralarning nomi |                      | zarra       | anti-zarra        | Massasi, elektron massasi hisobida | Elektr zaryadi, $e$ hisobida | O'rtacha yashash vaqti, sekundlarda | Spini $\hbar$ birligida |
|-------------------|----------------------|-------------|-------------------|------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| Foton             |                      | $\gamma$    | $\gamma$          | 0                                  | 0                            | stabil                              | 1                       |
| Leptonlar         | Elektron neytrinosi  | $\nu_e$     | $\bar{\nu}_e$     | 0                                  | 0                            | stabil                              | 1/2                     |
|                   | Myu-mezon neytrinosi | $\nu_\mu$   | $\bar{\nu}_\mu$   | 0                                  | 0                            | stabil                              | 1/2                     |
|                   | Tau-mezon neytrinosi | $\nu_\tau$  | $\bar{\nu}_\tau$  | 0                                  | 0                            | stabil                              | 1/2                     |
|                   | Elektron             | $e^-$       | $e^+$             | 1                                  | -1                           | stabil                              | 1/2                     |
|                   | Myu-minus-mezon      | $\mu^-$     | $\mu^+$           | 206,7                              | -1                           | $2,2 \cdot 10^{-6}$                 | 1/2                     |
|                   | Tau-minus-mezon      | $\tau^-$    | $\tau^+$          | 352,8                              | -1                           | $2,8 \cdot 10^{-13}$                | 1/2                     |
| Mezonlar          | Pi-nol-mezon         | $\pi^0$     | $\pi^0$           | 264,1                              | 0                            | $0,8 \cdot 10^{-16}$                | 0                       |
|                   | Pi-plus-mezon        | $\pi^+$     | $\pi^-$           | 273,1                              | +1                           | $2,6 \cdot 10^{-8}$                 | 0                       |
|                   | Ka-plus-mezon        | $\kappa^+$  | $\kappa^-$        | 966,4                              | +1                           | $1,22 \cdot 10^{-8}$                | 0                       |
|                   | Ka-nol-mezon         | $\kappa^0$  | $\bar{\kappa}^0$  | 974,2                              | 0                            | $1 \cdot 10^{-10}$                  | 0                       |
|                   | Eta-nol-mezon        | $\eta^0$    | $\eta^0$          | 1074                               | 0                            | $10^{-19}$                          | 0                       |
|                   |                      |             |                   |                                    |                              |                                     |                         |
| Barionlar         | Nuklonlar            |             |                   |                                    |                              |                                     |                         |
|                   | Proton               | p           | $\bar{p}$         | 1836,1                             | +1                           | stabil                              | 1/2                     |
|                   | Neytron              | n           | $\bar{n}$         | 1838,6                             | 0                            | $1,01 \cdot 10^3$                   | 1/2                     |
|                   | Giperonlar           |             |                   |                                    |                              |                                     |                         |
|                   | Lyambida-nol-giperon | $\Lambda^0$ | $\bar{\Lambda}^0$ | 2183                               | 0                            | $2,5 \cdot 10^{-10}$                | 1/2                     |
|                   | Sigma-plus-giperon   | $\Sigma^+$  | $\bar{\Sigma}^+$  | 2327,7                             | +1                           | $8,1 \cdot 10^{-11}$                | 1/2                     |
|                   | Sigma-nol-giperon    | $\Sigma^0$  | $\bar{\Sigma}^0$  | 2331,8                             | 0                            | $10^{-14}$                          | 1/2                     |
|                   | Sigma-minus-giperon  | $\Sigma^-$  | $\bar{\Sigma}^-$  | 2340,6                             | -1                           | $1,65 \cdot 10^{-10}$               | 1/2                     |
|                   | Ksi-nol-giperon      | $\Xi^0$     | $\bar{\Xi}^0$     | 2572                               | 0                            | $3 \cdot 10^{-10}$                  | 1/2                     |
|                   | Ksi-minus-giperon    | $\Xi^-$     | $\bar{\Xi}^-$     | 2585                               | -1                           | $1,75 \cdot 10^{-10}$               | 1/2                     |
|                   | Omega-minus-giperon  | $\Omega^-$  | $\bar{\Omega}^-$  | 3273                               | -1                           | $1,5 \cdot 10^{-10}$                | 3/2                     |

elementar zaryadi ( $e$  elementar zaryad birligida); spini ( $\hbar$  birligida,  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ ,  $h$  — Plank doimiysi); oʻrtacha yashash vaqti (sekundlarda) ifodalangan.

Shuni qayd etib oʻtish kerakki, elementar zarralar jadvalda keltirilgan kattaliklardan tashqari yana bir qator kattaliklar bilan ham xarakterlanadi. Masalan, barionlarga **barion zaryadi**, leptonlarga **lepton zaryadi** mansub deb hisoblanadi. Gʻalati zarralarning gʻalati xossalari tavsiflash uchun **gʻalatilik** kvant soni kiritilgan va hokazo.

Biror jarayonning taqiqlanishiga biror saqlanish qonuni asos boʻladi. Masalan, barion zaryadining saqlanish qonuni protonning barqarorligini taʼminlaydi. Haqiqatan ham:

$$p = e^+ + \nu + \bar{\nu}$$

jarayonini barion zaryadining saqlanish qonunidan tashqari barcha saqlanish qonunlari taqiqlamaydi. Bu jarayonning ketishini faqat barion zaryadining saqlanish qonuni taqiqlaydi, aks holda bu jarayon atomlarning annigilyatsiyasiga olib kelar edi.

Shuningdek, leptonlar bilan boʻladigan jarayonlarda lepton zaryadining saqlanish qonuni bajariladi. Gʻalatilikning saqlanish qonuni esa gʻalati zarralarning yakka holda paydo boʻlishini taqiqlaydi.

### **Takrorlash uchun savollar**

1. *Elementar zarra nima?*
2. *Qanday elementar zarralarni bilasiz?*
3. *Atrofimizdagi butun moddiy olam qanday zarralardan tarkib topgan? Biz-chi?*
4. *Nima uchun kaonlarni va giperonlarni «gʻalati» zarralar deyiladi?*
5. *Foton ham zarrami? U qanday kashf qilingan?*
6. *Elementar zarralarni xarakterlovchi asosiy kattaliklarni ayting va tushuntiring.*
7. *«Antizarralar» qanday zarralar?*
8. *Absolyut neytral zarralar deganda qanday zarralar nazarda tutiladi? Ularga qaysi zarralar kiradi?*
9. *Pozitron qanday kashf qilingan?*
10. *Antideytron qanday zarralardan tarkib topgan? Antigeliy-chi?*
11. *Zarralarning oʻrtacha yashash vaqti deganda nima tushuniladi?*
12. *Zarralarning annigilyatsiyasi qanday jarayon? Misollar keltiring.*

13. Juftlarning hosil bo'lishi qanday jarayon? Misollar keltiring.
14. Elementar zarralarning o'zaro aylanishiga asoslanib radioaktiv yemirilishda yadrodan neytrino yoki antineytrino va elektron yoki pozitronlarning uchib chiqishini qanday tushuntirish mumkin?
15. Elementar zarralar qanday sinflarga bo'linadi?
16. Barqaror zarralarga qaysi zarralar kiradi?

## 115- §. Elementar zarralarning kvark modeli. Glyuonlar

Yuqoridagi paragraflarda qayd etilganidek, hozirgi vaqtga kelib elementar zarralarning soni ko'payib ketdi. Bundan tashqari elementar zarralar bir qator kattaliklar bilan xarakterlanadi. Bundan elementar zarralarning elementarligiga shubha tug'ila boshlandi: olimlar zarralarning hammasi ham birday me'yorda elementar emas, degan fikrga kela boshladilar. Yuksak energiyali elektronlarning vodorod va deyeriy yadrolarida sochilishi bo'yicha o'tkazilgan eksperimentlar natijalariga asoslanib, elementar zarralar ham atomlar kabi murakkab tuzilishga ega, degan xulosaga kelindi.

1964- yilda bir-biridan mustaqil ravishda amerikalik fiziklar M. Gell-Mann va J. Sveyglar tomonidan yadroviy o'zaro ta'sirda qatnashuvchi barcha zarralar (ularni **adronlar** deb ataladi) yanada fundamental (birlamchi) zarralar — **kvarklardan** tuzilgan, degan gipoteza o'rta tashlandi. Dastlab uchta kvark va ularga mos uchta antikvarkning mavjudligi haqida gipoteza oldinga surildi. Keyinchalik hamma adronlarni tavsiflash uchun uchta kvark va uchta antikvark yetarli emasligi ma'lum bo'ldi.

1974- yilda yangi turdagi kvark va antikvarkdan iborat psi-mezonlar kashf etildi. Bu to'rtinchi kvark bo'lib, unga **maftun kvark** degan nom berildi. 1977- yilda kvark va beshinchi turdagi antikvarklardan iborat epsilon-mezonlar kashf etildi. Yangi kvark **go'zal kvark** nomini oldi. Oltinchi kvarkdan tashkil topgan elementar zarra hali qayd qilinmagan. Lekin bu zarrani qidirish bo'yicha ko'pgina ishlar olib borilmoqda.

Kvarklarning elektr zaryadi  $e$  elementar zaryaddan kichik. Antikvarklarning elektr zaryadi esa kvarklarnikidan faqat ishorasining teskariligi bilan farqlanadi. Barcha kvarklarning spini  $\hbar$  birligida  $\frac{1}{2}$  ga teng. Kvarklar spindan tashqari «**xid**» («**aromat**») va «**rang**»ga

ega. Har bir kvark shartli ravishda «qizil», «ko'k» va «sariq» deb ataladigan uch «rang»li (antikvarklar mos ravishda «antiqizil», «antiko'k» va «antisariq» uch «antirang»li) holatlardan birida bo'lishi mumkin.

«Kvarklarning rangi» tushunchasini to'g'ridan-to'g'ri tushunish kerak emas, bu atamalar qulaylik uchun kiritilgan bo'lib, optik xossalarga aloqasi yo'q — barcha uch «rang»li holat yorug'lik kvantlarini bir xilda yutadi va chiqaradi. Barcha «rang»li holatlarning massasi ham qat'iy bir xil.

Har bir kvark turini «**kvark aromati**» deyiladi. Demak, kvarkning oltita aromati mavjud ekan. Har xil aromatli kvarklarning xossalari turlicha, shuning uchun ular massalari ortib borishi tartibida har xil harflar bilan belgilanadi:  $u$ ,  $d$ ,  $s$ ,  $c$ ,  $b$ ,  $t$ .  $d$ -,  $s$ - va  $b$ - kvarklarning elektr zaryadlari  $e$  elementar zaryad birligida  $-\frac{1}{3}$  ga teng, qolgan  $u$ -,  $c$ - va  $t$ - kvarklarning zaryadi  $+\frac{2}{3}$  ga teng.

1969- yilda J.Sveyg adronlarning kvark modelini tavsiya qildi. Bu modelga ko'ra barionlar uchta kvarkdan, shunga mos ravishda antibarionlar uchta antikvarkdan tuzilgan. Masalan, proton ikkita  $u$ -kvarkdan va bitta  $d$ -kvarkdan ( $p=uud$ ), antiproton esa ikkita  $\bar{u}$ -antikvarkdan va bitta  $\bar{d}$ -antikvarkdan ( $\bar{p}=\bar{u}\bar{u}\bar{d}$ ) tarkib topgan. Mezonlar kvark va antikvarklardan tarkib topgan. Masalan,  $\pi^+$ -mezon  $u$ -kvarkdan va  $\bar{d}$  antikvarkdan ( $\pi^+=u\bar{d}$ ),  $\pi^-$ -mezon esa  $d$ -kvarkdan va  $\bar{u}$ -antikvarkdan ( $\pi^-=d\bar{u}$ ) tuzilgan.

Ko'p (qariyb 20) yillik izlanishlarga qaramay hech bir kvark, xoh yengili, xoh og'iri hali biror marta erkin holda kuzatilmagan. Kvarklarni faqat adronlar ichida kuzatish mumkin. Kvarklar orasidagi o'zaro ta'sir  $g$  **glyuonlar** («yelim» ma'nosidagi ingliz so'zidan) vositasida amalga oshiriladi. Glyuonlar —kvarklar rangini tashuvchi va kuchli o'zaro ta'sirni amalga oshiruvchi zarralardir.

Bir «rang»li kvark o'zidan glyuon chiqarib, boshqa «rang»li kvarkka aylanishi mumkin. Glyuonlar va kvarklar nazariyasiga **kvant xromodinamikasi** deyiladi. Bu nazariyaga ko'ra rang tashuvchi 8 ta turli glyuon mavjud ekan. Glyuonlar adronlarning paydo bo'lishi va yo'qolishi reaksiyalarining oraliq bosqichlarida namoyon bo'ladi. Eksperimentda glyuonlar hosil qilgan adron oqimlari qayd etilgan. Kvarklar va glyuonlar nazariyasi bashorat qilgan barcha narsalar

tajriba natijalariga mos tushganligi sababli glyuonlarning mavjudligiga deyarli shubha yo‘q.

Shunday qilib, hozirgi zamon tasavvurlariga ko‘ra adronlar haqiqiy elementar zarralar hisoblanmaydi. Ular chekli o‘lcham va murakkab tuzilishga ega. Leptonlar ham, kvarklar ham ichki strukturaga ega emas. Bu ma‘noda leptonlar va kvarklar haqiqiy elementar zarralar deb hisoblanishi mumkin. Ularga yana elektromagnit maydon kvanti — fotonni, kvarklararo maydon zarralari — glyuonlarni va, nihoyat, kuchsiz o‘zaro ta’sir (116- § ga qarang) maydonining kvantlari — **vektor** (yoki **oralik**) **bozonlarni** qo‘shimcha qilish kerak.

### **116- §. Elementar zarralarning o‘zaro ta’sir turlari. Fizikaviy ta’sir turlarining birlashgan nazariyasi haqida tushuncha**

Hozirgi vaqtda elementar zarralar orasida ta’sir qiladigan va shu bilan tabiatdagi barcha hodisalarni belgilab beradigan kuchlarning to‘rt turi mavjud. Bular gravitatsion, elektromagnit, kuchsiz va kuchli o‘zaro ta’sir kuchlari.

1. **Gravitatsion o‘zaro ta’sir.** Bu ta’sir hamma elementar zarralar uchun universal xarakterga ega. Gravitatsion o‘zaro ta’sir gravitonlar vositasida uzatiladi. Ta’sir doirasining radiusi cheksiz katta ( $r \approx \infty$ ), ta’sir vaqti  $t \approx 10^9$  yil. Elementar zarralar uchun gravitatsion o‘zaro ta’sir shunchalik sustki, bu ta’sirning yadro fizikasi va elementar zarralar fizikasida sezilarli roli yo‘q.

2. **Elektromagnit o‘zaro ta’sir.** Bu ta’sirda elektr zaryadga ega barcha zarralar ishtirok etadi. Elektromagnit o‘zaro ta’sir fotonlar vositasida uzatiladi. Yadroda protonlarning kulon itarilishi, elektron-pozitron juftlarining annigilyatsiyasi va hosil bo‘lishi va shu kabi jarayonlarni elektromagnit o‘zaro ta’sir bilan tushuntiriladi. Elektromagnit o‘zaro ta’sirning ta’sir vaqti  $10^{-21} + 10^{-18}$  s, ta’sir doirasining radiusi cheksiz katta ( $r \approx \infty$ ).

3. **Kuchli o‘zaro ta’sir.** Bunday ta’sirda mezonlar va barionlar ishtirok etadi. Kuchli o‘zaro ta’sirda bo‘ladigan elementar zarralarni adronlar deb ataladi (adronlarga rezonanslar ham kiradi). Atom yadrosi nuklonlari orasidagi yadro kuchlari, yuqori energiyalarda o‘tadigan yadroviy ta’sirlarda mezonlarning hosil bo‘lish jarayonlari kuchli o‘zaro ta’sirga misol bo‘la oladi. Yadroda nuklonlarni, adronlar ichida kvarklarni kuchli o‘zaro ta’sir glyuonlar vositasida

biriktirib turadi. Bunday ta'sirning vaqti  $10^{-23} \div 10^{-22}$  s, ta'sir doirasining radiusi  $r \approx 10^{-15}$  m.

4. **Kuchsiz o'zaro ta'sir.** Kuchsiz o'zaro ta'sirda fotonlardan tashqari barcha elementar zarralar ishtirok etadi. Kuchsiz o'zaro ta'sir turli xil kvarklar orasidagi o'tishlarni yuzaga keltiradi, xususan, yadrolarda nuklonlarning  $\beta$ -yemirilishini aniqlaydi.  $\beta$ -yemirilishda nuklonni tashkil qilgan uchta kvarkdan bittasi boshqa tur kvarkka o'tadi va elektronlar hamda antineytrinoni nurlaydi. Kuchsiz o'zaro ta'sir, shuningdek, turli xil leptonlar orasidagi o'zaro o'tishlarni, masalan, myuonning elektron, neytrino va antineytrinoga yemirilishini keltirib chiqaradi.

Kuchsiz o'zaro ta'sir ham, kuchli o'zaro ta'sir kabi juda yaqin masofada ( $r \approx 10^{-18}$  m) ta'sir qiladi, ta'sir vaqti  $10^{-9}$  s. Kuchsiz o'zaro ta'sir protondan 100 marta og'irroq o'ta massiv zarralar — **oraliq bozonlar** yoki **vektor bozonlar** deb ataladigan zarralar vositasida uzatiladi. Bu zarralar 1983- yilda Bern (Shveysariya)da ulkan energiyaga ega bo'lgan o'zaro uchrashuvchi proton va antiproton dastalarida kashf etilgan.

Shunday qilib, tabiatdagi o'zaro ta'sirlar maxsus zarralar almashinishi bilan sodir bo'ladi. Elementar zarralarning o'zaro ta'sirlashuvida ishtirok qiladigan oraliq zarralarga **virtual zarralar** deyiladi.

Fizikaviy o'zaro ta'sirlarning zarralar vositasida almashinish xarakteri ularning **birlashgan nazariyasini** yaratish imkoniyatini beradi. Hozirgi vaqtda fizik olimlar tabiat kuchlari orasidagi bog'lanishni aniqlashga harakat qilmoqdalar.

1958- yildayoq A.Salam kuchsiz va elektromagnit o'zaro ta'sirlarni birlashtirish haqidagi g'oyani ilgari surdi. 1967- yilda S. Vaynberg kuchsiz va elektromagnit o'zaro ta'sirlarning yagona modelini tavsiya etdi. 1968- yili A. Salam S. Vaynbergdan mustaqil ravishda kuchsiz va elektromagnit o'zaro ta'sirlarning birlashgan nazariyasini ishlab chiqdi. 1970- yilda esa Sh. Gleshou Vaynberg-Salam nazariyasini rivojlantirdi. Shu yo'sinda birlashgan nazariya — **elektr kuchsiz kuchlar nazariyasi** yaratildi. Bu nazariyani batamom isbot qilingan deb bo'lmaydi, biroq uning asosiy g'oyasi ko'p tajribalar bilan tekshirilgan. Bu g'oyaning mazmuniga ko'ra elektromagnit maydon yanada umumiyroq bo'lgan elektr kuchsiz maydonning bir qismidir.

Elektr kuchsiz maydon esa bir necha shakllar yoki komponentlardan iborat. Bu maydondagi barcha komponentlar elektromagnit maydondagidan to'rt marta ortiq. Elementar

zarralar — kvarklar va leptonlar elektr kuchsiz maydon kvantlari — fotonlar va vektor — bozonlarni nurlaydi va yutadi. Bozonlarning massasi elektr kuchsiz kuchlar nazariyasining hisoblariga juda mos keladi. Bu hol elektromagnit va kuchsiz o‘zaro ta’sirlarning birligi to‘g‘risidagi yangi ishonarli dalil hisoblanadi. Kuchsiz kuchlarning ta’sir doirasi radiusi  $10^{-18}$  m. Bu masshtabda ular elektromagnit kuchlar bilan qo‘shilib ketadi.

1972- yilda Sh. Gleshou G. Jorji bilan birga, 1973—1974-yillarda A. Salam kuchli, elektromagnit va kuchsiz o‘zaro ta’sirlarni o‘z ichiga olgan **buyuk birlashish nazariyasini** tavsiya etdilar. Hozir olimlar bu masala ustida jadal ishlamoqdalar. Ko‘p gipotezalar ilgari surilgan. Ko‘pchilik gipotezalarga ko‘ra elektr kuchsiz ta’sirlar kuchli o‘zaro ta’sirlar bilan taxminan  $10^{-32}$  m masofalarda qo‘shilib ketadi. Bunday kichik masshtablarda eksperiment o‘tkazish juda katta energiyani talab etadi. Hozircha tezlatkichlarda bunday energiyaga erishilganicha yo‘q.

A. Eynshteyn va V. Geyzenberglar o‘z vaqtida maydonning yagona birlashgan nazariyasi ustida ish olib borganlar. Eynshteyn elektromagnit o‘zaro ta’sir bilan gravitatsion o‘zaro ta’sirni birlashtirish mumkin ekanligini aytgan edi.

Endi elektromagnit, kuchli va kuchsiz o‘zaro ta’sirlarni va, ehtimol, gravitatsion o‘zaro ta’sirlarning ham birlashishini nazarda tutsak, bu endi **superbirlashish** bo‘ladi, deb aytish mumkin. Tabiatning to‘rt kuchi qandaydir fundamental prinsipga asoslanib yagona kuchga keltiriladi.

Shunday qilib, fiziklar tabiatdagi barcha kuchlarning yagona birlashishini topishga intilmoqdalar. Bu sohada anchagina ishni qilishga ulgurdilar. Superbirlashish hali tajribada tekshirilmagan. Lekin uning muvaffaqiyatlari kelajakda materiyaning yagona nazariyasini yaratishga katta yo‘l ochgan bo‘lur edi.

## **117- §. Kosmik nurlar haqida tushuncha.**

### **Birlamchi kosmik nurlar**

Kosmik fazodan Yerga juda katta energiyali zarralar oqimi kelishini ko‘pgina kuzatishlar ko‘rsatadi. Bu zarralar oqimini **kosmik nurlar** deb ataladi.

Kosmik nurlarning mavjudligi XX asrning boshlarida quruq havoning ionlanishini o‘rganishda payqalgan. Tajribalarning ko‘rsatishicha, zaryadlangan elektroskop qalin qo‘rg‘oshin g‘ilof ichiga

joylashtirilganligiga qaramay o'z zaryadini yo'qotadi. Bu hodisaning sababini o'rganish kelib chiqishi Yerdan tashqarida bo'lgan, kuchli o'tuvchanlik qobiliyatiga ega ionlashtiruvchi nurlanishning mavjudligini aniqlashga olib keldi. Bu nurlanish Yerga kosmik fazodan kelishini avstriyalik olim V. Gess tomonidan o'tkazilgan tadqiqotlar tasdiqlaydi.

1912- yilda V. Gess har xil balandliklardagi ionlashtiruvchi nurlanishning intensivligini aniqlash maqsadida qayd qiluvchi asboblardan biri bilan jihozlangan havo sharini uchirdi. (Kosmik nurlarning intensivligi deganda, birlik yuzadan bir sekundda o'tayotgan zarralar soni — zarralar oqimining zichligi tushuniladi). Shar 5 km balandlikka ko'tarildi. Shunday balandlikda nurlanishning intensivligi dengiz sathidagiga qaraganda ancha kuchli ekanligi aniqlandi.

Gess bunday natijaga asoslanib, havoni ionlashtiruvchi nurlanishning manbai Yer atmosferasidan tashqarida bo'lishi kerak, degan xulosaga keldi. Keyingi tadqiqotlar bu xulosaning to'g'riligini to'la tasdiqladi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, kosmik nurlar ta'sirida havoning ionlanish intensivligi Yerning sutkalik aylanishiga bog'liq emas ekan. Bu hol kosmik nurlanish Yerga kosmik fazoning barcha yo'nalishdagi sohalaridan kelishini bildiradi.

Kosmik nurlarni tadqiq etishda 100- § da bayon etilgan zarralarni kuzatish va qayd etish usullaridan foydalaniladi.

*Olam fazosidan Yer atmosferasiga kirib keladigan kosmik nurlarni birlamchi kosmik nurlar deb ataladi.* Kosmik nurlarning har xil balandliklardagi va har xil geografik kengliklardagi tarkibini aniqlash maqsadida ko'p tadqiqotlar o'tkazilib, ancha ma'lumot to'plangan. Birlamchi kosmik nurlarning kimyoviy tarkibini o'rganish va tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, Yer atmosferasi chegarasida birlamchi kosmik nurlar turli massa soniga ega va bitta nukloniga taxminan  $10^9$ – $10^{20}$  eV tartibida energiya mos keladigan atom yadrolaridan tarkib topgan ekan. Shuningdek,  $10^{13}$  eV dan kichik energiyali birlamchi kosmik nurlarning 90 foizi protonlardan, taxminan 9 foizi geliy atomi yadrolaridan va qolgan 1 foizi esa og'irroq (litiy, berilliy, bor, uglerod va hokazo, to'g'ri zaryad soni  $z = 41$  bo'lgan niobiy) elementlarining yadrolaridan iboratdir.

Birlamchi kosmik nurlarning kelib chiqishi haqida bir necha gipotezalar mavjud. Bu gipotezalar birlamchi kosmik nurlar energiyasi haqidagi ma'lumotlarga hamda radioastronomik ma'lumotlarga asoslanadi. Hozirgi vaqtda kosmik nurlar o'ta yangi yulduzlarning chaqnashi (potrlashi)dan hosil bo'ladi, degan gipotezani haqiqatga

yaqinroq deb hisoblanadi. Galaktikamizda bir necha yuz yilda bir marta bo‘ladigan bahaybat portlash — o‘ta yangi yulduz paydo bo‘lishidir. Shu portlash paytida og‘ir element yadrolari yemirilib, protonlar,  $\alpha$ -zarralar va boshqa yengil yadrolar — birlamchi kosmik nurlar hosil qiladi.

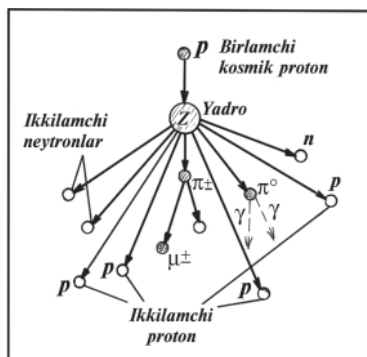
Kosmik nurlarning Yerga keltiradigan energiyasi uncha katta emas. Lekin birlamchi kosmik nurlarning ba’zi zarralari ulkan energiyaga ( $10^{19}$ – $10^{20}$  eV tartibida) ega. Shunga qaramay, ularning faqat oz qismigina Yer sirtiga yetib kela oladi. Bunga, birinchidan, Yerning magnit maydoni, ikkinchidan, Yer atmosferasi jiddiy to‘siq bo‘ladi. Birlamchi kosmik nurlanish zarralarining Yer magnit maydonida magnit kuch chiziqlariga ko‘ndalang ravishda harakat qilishida ularga harakat trayektoriyasini egrilovchi Lorens kuchi ta’sir qiladi. Past energiyali zarralarning trayektoriyasi kuchli egrilanadi, natijada magnit maydon bo‘lmagan taqdirda Yerga yetib kelishi mumkin bo‘lgan ayrim zarralar og‘adi, Yerga yetib kelishi mumkin bo‘lmagan zarralar Yerga tomon yo‘naladi, uchinchi xil zarralar esa Yer shari atrofida murakkab trayektoriya bo‘yicha aylanadi.

Birlamchi kosmik nurlanishning har qanday energiyali zarralari uchun Yer atmosferasi bartaraf qilib bo‘lmaydigan to‘siq hisoblanadi.

Gap shundaki, birlamchi kosmik nurlar Yer atmosferasiga kirganda atmosferaning yuqori qatlamlarida havoning azot va kislorod atomlari yadrolari bilan asosan noelastik to‘qnashib, o‘zining katta energiyasini yo‘qotadi. Bunday to‘qnashishlar yadro reaksiyalariga olib keladi, bu reaksiyalar natijasida yangi zarralar hosil bo‘ladi.

## **118- §. Ikkilamchi kosmik nurlar. Yadroviy va elektromagnit kaskadlar**

Birlamchi kosmik nurlanish zarralarining Yer atmosferasidagi havo atomlari yadrolari bilan o‘zaro to‘qnashishi tufayli sodir bo‘ladigan yadro reaksiyalari natijasida **ikkilamchi kosmik nurlar** deb ataladigan zarralar oqimi vujudga keladi. Zarralarning bu oqimi tez protonlar, neytronlar,  $\alpha$ -zarralar,  $\pi$ -mezonlar va yadrolarning bo‘laklaridan iborat. Ikkilamchi protonlar va neytronlar yangi yadrolar bilan to‘qnashib, yana yangi zarralar oqimini hosil qiladi. Yadroviy portlashning har keyingi bosqichida zarralar ko‘payaveradi — **kaskadli yadro quyuni** vujudga keladi.



221- rasm.

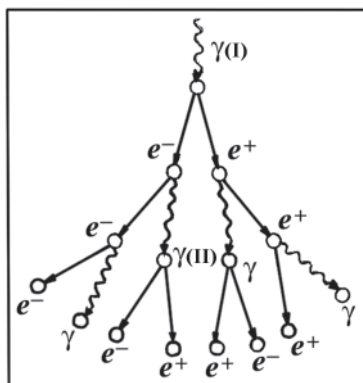
Ikkilamchi kosmik nurlarning paydo bo'lish sxemasini 221-rasmdagidek tasvirlash mumkin. Yuqori energiyali birlamchi kosmik proton atmosfera atomi yadrosiga uchib kelib uriladi va uni  $p$  va  $n$  nuklonlarga bo'lib yuboradi. Bunda bir vaqtda  $\pi^+$  va  $\pi^-$ -mezonlar uchib chiqadi.  $\pi^+$ -mezonlar yemirilib,  $\mu^+$ -mezonlarga, neytrino va antineytrinoga aylanadi:

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu; \pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$

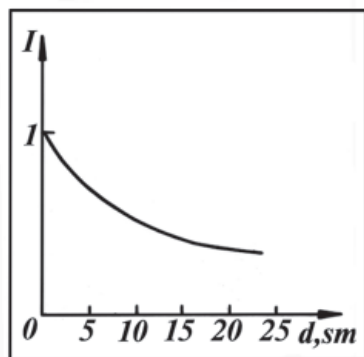
$\pi^0$ -mezonlar yemirilib, ikkita yuqori energiyali  $\gamma$ -fotonga ajraladi:

$$\pi^0 \rightarrow 2\gamma.$$

Ikkilamchi kosmik nurlarning ko'payishidagi eng muhim hodisalardan biri kaskadli **elektron-pozitron-foton quyuni**ning hosil bo'lishidir (222- rasm). Yuqori energiyali  $\gamma$ -foton (I) biror



222- rasm.



223- rasmi.

atmosfera yadrosi bilan o'zaro ta'sirlashib, elektron-pozitron juftini yuzaga keltiradi. Hosil bo'lgan bu zaryadlangan zarralar jufti ularni yuzaga keltirgan  $\gamma$ -foton harakati yo'nalishida harakatlanadi. Paydo bo'lgan elektron va pozitronning energiyasi juda katta. Ular atmosferada tormozlanganda yuzaga kelgan  $\gamma$ -foton(II) ham yadro yaqinidan o'tayotganda ular bilan ta'sirlashib, yana elektron va pozitron juftini hosil qiladi va hokazo. Boshlang'ich fotonning energiyasi juda katta ( $10^8 \div 10^{10}$  eV) bo'lgani uchun ikkilamchi zarralarning bir necha avlodi paydo bo'ladi, natijada ikkilamchi kosmik nurlarning kaskadli elektron-foton quyuni (elektromagnit kaskad) yuzaga keladi.

Ikkilamchi kosmik nurlar kuchli o'tuvchanlik qobiliyatiga ega. Ikkilamchi kosmik nurlarning o'tuvchanlik qobiliyatini o'rganish uchun ularni turli qalinlikdagi qo'rg'oshin qatlami orqali o'tkazib, so'ng intensivligi o'lchanadi. 223- rasmda shunday o'lchashlar natijasi tasvirlangan, bunda  $d=0$  da kosmik nurlarning intensivligi 1 ga teng qilib olingan.  $d$  qatlamning 0 dan  $10 \div 13$  sm gacha qalinliklarida ikkilamchi kosmik nurlarning intensivligi tez kamayib ketadi, qalinlikning keyingi ortib borishida esa intensivlik amalda o'zgarmay qoladi.

Shunga bog'liq holda ikkilamchi kosmik nurlarning **yumshoq komponenti** va **qattiq komponenti** deb ataladigan ikki tarkibiy qismi haqida gap yuritiladi. Ikkilamchi kosmik nurlarning yumshoq komponenti qo'rg'oshinda kuchli yutiladi. Bu komponentga zaryadlangan yengil zarralar — elektronlar va pozitronlar, shuningdek, fotonlar kiradi. Kosmik nurlarning qattiq komponenti qo'rg'oshinda katta o'tuvchanlik qobiliyatiga ega, u 10 sm

qalinlikdagi qo'rg'oshindan bemalol o'ta oladi. Nuklonlar, mezonlar kosmik nurlarning qattiq komponentini tashkil etadi. Bularning ichida  $\mu$ -mezonlarning energiyasi juda katta va yashash vaqti ham katta. Shuning uchun  $\mu$ -mezonlar Yer sirtigacha, hatto Yerga ancha chuqurlikkacha, dengiz, okean tubigacha kirib boradi.

Kosmik nurlarni tadqiq qilish energiyasi  $10^{19}$  eV gacha bo'lgan o'ta yuqori energiyali zarralar bilan bo'ladigan jarayonlarni o'rganishga imkon beradi. Bunday zarralarning modda bilan to'qnashishida, asosan, yangi yadro reaksiyalari vujudga keladi, ularni o'rganish yadrolarning xossalari va elementar zarralar to'g'risidagi bilimlarimizni chuqurlashtiradi, moddalarning tuzilishi, yadro kuchlarining tabiati va koinot haqidagi tushunchalarimizni boyitadi. Kosmik nurlarning asosiy ilmiy ahamiyati ham xuddi shunda. Ko'pchilik elementar zarralar birinchi marta kosmik nurlarda kashf qilinganligi haqida gapirilgan edi. Hozirgi vaqtda kosmik nurlarning tarkibida barcha elementar zarralar borligi aniqlangan.

XX asrning o'rtalaridayoq o'zbek olimlari akademik S. A. Azimov rahbarligida kosmik nurlarni tadqiq eta boshladilar va kosmik nurlar fizikasining rivojlanishiga salmoqli hissa qo'shib kelmoqdalar.

S.A. Azimov va uning shogirdlari tomonidan 1948- yilda kosmik nurlarning myu-mezonlar bilan muvozanatda bo'lmagan yumshoq elektron-foton komponentlari va nuklonlar vujudga keltiradigan elektron-yadro quyunlari kashf etildi. Kosmik nurlar zarralarining o'zaro ta'sirini tadqiq qilish maqsadida baland (Pamir) tog' ustida noyob qurilma o'rnatildi. Bu qurilmada zarralarning ko'pligi haqida, burchak va energiya bo'yicha taqsimlanishi haqida olingan asosli natijalar zarralarning yadrolar bilan o'zaro ta'siri haqidagi hozirgi zamon tasavvurlarining shakllanishida, adronlarning kvark strukturasini namoyon qilishda muhim rol o'ynadi. O'zbek kosmik olimlari birinchilar qatorida pionlarning yadrolarda noelastik difraksiyalanish jarayonlarini muntazam o'rganib bordilar va 1966-yilda ular tomonidan kashf etilgan protonlarning difraksion dissotsiatsiyasi jarayoni jahon olimlari tomonidan tan olindi.

Hozirgi vaqtda S.A. Azimov tomonidan yuqori energiyalar fizikasi sohasida tashkil etilgan ilmiy maktab kosmik nurlarni o'rganish bo'yicha o'z tadqiqotlarini davom ettirmoqda.

## **Takrorlash uchun savollar**

1. *Kvarklar qanday zarralar?*
2. *«Kvark aromati» nima? Nechta kvark aromati mavjud?*
3. *Kvarklar qanday «rangli» holatlarda bo'lishi mumkin?*
4. *Adronlarning kvark modelini tushuntiring.*
5. *Glyuonlar qanday zarralar?*
6. *Qanday fizik ta'sirlarni fundamental o'zaro ta'sirlar deb ataladi?*
7. *Bu o'zaro ta'sirlar qanday amalga oshiriladi? Har bir ta'sir misolida tushuntiring.*
8. *Fundamental o'zaro ta'sirlarning birlashgan nazariyasi, buyuk birlashish nazariyasi va super birlashish nazariyasi haqida nimalarni bilasiz?*
9. *Kosmik nurlar nima?*
10. *Birlamchi kosmik nurlar deb nimaga aytiladi? Ikkilamchi kosmik nurlar deb-chi?*
11. *Birlamchi kosmik nurlar qanday kimyoviy tarkibga ega?*
12. *Birlamchi kosmik nurlarning ba'zi zarralari ulkan energiyaga ega bo'lishiga qaramay, Yer sirtigacha yetib kela olmaydi. Nima uchun?*
13. *Ikkilamchi kosmik nurlarning kaskadli yadro quyuni qanday vujudga kelishini tushuntiring.*
14. *Ikkilamchi kosmik nurlarning kaskadli elektron-foton quyuni qanday vujudga keladi?*
15. *Ikkilamchi kosmik nurlarning o'tuvchanlik qobiliyati qanday aniqlanadi?*
16. *Ikkilamchi kosmik nurlarning yumshoq komponentiga qanday zarralar kiradi? Qattiq komponentiga-chi?*
17. *Kosmik nurlarni tadqiq etishning ahamiyati nimada?*

## **X bob. OLAMNING YAGONA FIZIK MANZARASI. FIZIKANING JAMIYAT TARAQQIYOTIDAGI AHAMIYATI**

---

Shunday qilib, fizika kursining «Mexanika», «Molekulyar fizika», «Elektrodinamika asoslari», «Tebranishlar va to'liqlar», «Optika», «Atom va yadro fizikasi» bo'limlarida tabiatning bizni o'rab turgan olamdagi va butun koinotdagi jarayonlarning borishini boshqarib turuvchi umumiy qonunlari bilan tanishdik.

Fizika fanining maqsadi, tabiatning bunday qonunlarini topish va ular asosida aniq jarayonlarning sabablarini aniqlash hamda bu qonunlardan amaliyotda foydalanish yo'l-yo'riqlarini ko'rsatishdan iboratdir. Bu maqsadga yaqinlashgan sari olimlar oldida tabiat birligining ulug' va murakkab manzarasi tobora ravshan bo'la boradi. Olam bir-biriga bog'liq bo'lmagan alohida-alohida hodisalarning to'plami emas, balki bir butunning turli-tuman va juda ko'p ko'rinishlarda namoyon bo'lishidan iboratdir.

Fizikaning rivojlanish jarayonida yaratilgan nazariyalar asosida olimlar olamning yagona fizik manzarasini tuzishga harakat qilib keldilar.

### **119- §. Olamning mexanik manzarasi**

Jismlarning harakati va muvozanati haqidagi fan-mexanika dunyoning fizik manzarasida markaziy o'rin tutadi. Buyuk ingliz olimi I. Nyuton ishlab chiqqan qonunlar mexanikaning mustahkam zaminini tashkil qiladi. I. Nyuton tomonidan kashf etilgan harakat qonunlarini asos qilib, olimlar olamning mexanik manzarasini tuzishga intildilar. Masalan, Nyutonning fikriga ko'ra butun olam «qattiq, og'ir, ichiga hech narsa singib kira olmaydigan harakatchan zarralardan» iboratdir. Bu «birlamchi zarralar absolyut qattiq: ular o'zlari tashkil qilgan jismlarga qaraganda haddan tashqari qattiq, shunchalik qattiqki, ular hech vaqt yeyilmaydi, mayda bo'laklarga bo'linib ketmaydi». Ular asosan bir-biridan miqdoriy jihatdan o'zining massalari bilan farq qiladi. Olamning butun boyligi, sifat jihatdan turli-tumanligi bu zarralar harakatidagi farqning natijasidir, deb qaraladi. Bunda zarralarning ichki mohiyati e'tiborga olinmaydi.

Uzoq vaqt davomida (XX asrning boshigacha) olimlar Nyuton mexanikasining qonunlari tabiatning yagona asosiy qonunlari deb hisoblab keldilar. Biroq elektromagnit jarayonlarni o'rganishda

ularning Nyuton mexanikasiga bo'ysunmasligi ma'lum bo'lib qoldi, Maksvell tomonidan yaratilgan elektromagnit maydon nazariyasi qonunlarini Nyuton mexanikasiga keltirib bo'lmadi. Olamning mexanik manzarasi asossiz bo'lib chiqdi.

## **120- §. Olamning elektromagnit manzarasi**

Fizikaning elektr zaryadlarining o'zaro ta'sirini o'rganuvchi bo'limi elektrodinamika bo'lib, uning asosini Maksvell tomonidan yaratilgan elektromagnit maydon nazariyasining qonunlarini ifodalovchi to'rtta differensial tenglamalar sistemasi tashkil etadi. Agar Nyuton mexanikasida jismlar bir-biri bilan bevosita bo'shliq orqali ta'sir qiladi va bu o'zaro ta'sir oniy ravishda uzatiladi, deb qaralsa, ya'ni olisdan ta'sir qilish nazariyasi o'rinli bo'lsa, elektrodinamika yaratilgandan so'ng kuchlar haqidagi bunday tasavvurlar o'zgardi, yaqindan ta'sir qilish nazariyasi yuzaga keldi. Bu nazariyaga ko'ra o'zaro ta'sirlashayotgan jismlarning har biri fazoda chekli tezlik bilan tarqaladigan elektromagnit maydon hosil qiladi va shu maydon orqali o'z ta'sirini uzatadi.

Elektromagnit kuchlar tabiatda keng tarqalgan: ular atom yadrosida, atomda, molekulada, makroskopik jismlardagi alohida molekulalar orasida ta'sir qiladi, chunki barcha atomlar elektr jihatdan zaryadlangan zarralardan tarkib topgan.

Elektrodinamikaning taraqqiyoti olamning yagona elektromagnit manzarasini yaratishga doir urinishlarga olib keldi. Bu manzaraga muvofiq olamdagi barcha hodisalar elektromagnit o'zaro ta'sirlar qonuni bilan boshqariladi.

Olamning elektromagnit manzarasi maxsus nisbiylik nazariyasi kashf etilgandan so'ng oliy ravnaqiga erishdi. Agar olamning mexanik manzarasi ravnaq topgan yillarda elektromagnit hodisalarni olam efiridagi mexanik jarayonlar deb qarashga urinilgan bo'lsa, endi, aksincha, zarralarning harakat qonunlarini elektromagnit nazariyadan keltirib chiqarishga urinishlar bo'ldi.

Biroq tabiatdagi barcha jarayonlarni elektromagnit jarayonlarga keltirish mumkin bo'lmadi. Zarralarning harakat tenglamalari va gravitatsion o'zaro ta'sir qonunini elektromagnit maydon nazariyasidan keltirib chiqarish mumkin emas. Bundan tashqari elektr jihatdan neytral zarralar va yangi tur o'zaro ta'sirlar kashf etildi. Tabiat dastlab tasavvur qilinganiga qaraganda murakkabroq bo'lib chiqdi: olamdagi turli-tuman jarayonlarning hammasini yagona

harakat qonuni ham, yagona kuch ham qamrab olishga qodir emas.

Olam qanchalik turli-tuman bo'lmasin, koinotdagi barcha jismlarni hosil qiluvchi atomlar mutlaqo bir xildir. Jonli organizmlar ham xuddi jonsiz organizmlar tuzilgan atomlardan tarkib topgan.

XX asrning birinchi yarmida barcha elementar zarralar bir-biriga aylana olishi aniqlandi. Elementar zarralar va ularning o'zaro aylanishlari kashf etilgandan so'ng materiya tuzilishining birligi olamning yagona manzarasida asosiy o'ringa chiqdi. Bu birlikning zahirida barcha elementar zarralarning moddiylik yotadi. Turli elementar zarralar materiya mavjudligining turli konkret shakllaridir.

## **121- §. Olamning hozirgi zamon fizik manzarasi**

Olamning yagonaligi materiya tuzilishining birligi bilangina cheklanib qolmaydi. Olamning yagonaligi zarralarning harakat qonunlarida va ularning o'zaro ta'sir qonunlarida ham namoyon bo'ladi. Oxirgi o'n yilliklarda fiziklarning erishgan muvaffaqiyatlari bizni o'rab olgan olam qanday tuzilganligini va qanday qonunlar asosida rivojlanganligini tasavvur qilish imkonini beradi.

Atrofimizda bo'layotgan barcha hodisalardagi asosiy harakatlanuvchi obyektlar ikki guruh zarralardan iborat. Bir guruhga fundamental o'zaro ta'sirlarda ishtirok etuvchi zarralar kirsa, ikkinchisiga fundamental o'zaro ta'sirlarni tashuvchisi bo'lgan zarralar kiradi.

Jismlarning bir-biri bilan o'zaro ta'siri nihoyatda turli-tuman bo'lishiga qaramay, hozirgi zamon ma'lumotlariga ko'ra kuchlarning faqat to'rtta turi mavjuddir: gravitatsion, kuchsiz, elektromagnit va kuchli o'zaro ta'sirlar (116- § ga qarang). Bu o'zaro ta'sirlar ishtirokchisiga fundamental zarralar — leptonlar va kvarklar kiradi. Leptonlar soni 6 ta edi (114- § dagi jadvalga qarang). Har bir leptonga uning antileptoni mos keladi. Xuddi shu kabi ma'lum aromatli har bir kvark rangi bo'yicha farqlanuvchi uch holatda bo'lishi mumkinligini inobatga olsak, har xil rangli va aromatli kvarklarning soni 18 ta bo'ladi. Har bir kvarkka antikvark mos keladi.

Shunday qilib, o'zaro ta'sir ishtirokchilari guruhiga 12 ta lepton va 36 ta kvark, demak 48 ta turli zarralar kiradi va ular ***tabiatning qurilish elementlari bo'lgan fundamental zarralarni*** hosil qiladi.

Bu fundamental zarralar orasidagi o‘zaro ta’sir uni tashuvchi boshqa zarralar hisobiga amalga oshadi. Gravitatsion o‘zaro ta’sir gravitonlar vositasida, kuchsiz o‘zaro ta’sir vektor bozonlar vositasida, elektromagnit o‘zaro ta’sir fotonlar vositasida va, nihoyat, kuchli o‘zaro ta’sir glyuonlar vositasida amalga oshiriladi.

Fundamental o‘zaro ta’sirlarning almashinish nazariyasi va modda tuzilishining lepton-kvark modeli umumiy ma’noda olamning hozirgi zamon fizik manzarasini tuzish imkonini beradi.

Endi fundamental zarralardan butun olamni qanday qurish mumkin ekanligini ko‘rib chiqaylik. Bunda bizni o‘rab turgan olamni tashkil qiluvchi turli strukturali sathlar haqidagi bilimlarimizdan foydalanamiz va ulug‘ tabiat binosining barcha qavatlaridan fikran o‘tishga harakat qilamiz.

Shunday qilib, birinchi qavatda 48 ta fundamental zarra bor. Ikkinchi qavatda turli aromatli kvarklardan tashkil topgan elementar zarralar joylashgan. Bu yerda mezonlar, nuklonlar, giperonlar, rezonanslar va ekzotik ismga ega boshqa zarralar bo‘ladi. Kvarklardan tashkil topgan zarralarning soni 300 dan ortiq.

Undan keyingi qavatni yadro va leptonlardan tashkil topgan atomlar egallaydi. Atomning yadrosi atrofida, odatda, elektronlar bo‘ladi, lekin **mezoatomlar** deb ataluvchi atomlar mavjud, ularda elektronlar mezonlar bilan almashtirilgan. Tabiatdagi turli atomlar soni undagi turli yadrolar soniga mos keladi.

Yana undan keyingi qavatni molekulalar egallaydi. Turli molekulalarning soni 10 mln dan ortiqni tashkil qiladi. Molekulalar soni olimlarning yangi molekulalarni sintezlashi hisobiga doimo ortib boradi.

Undan keyingi qavatni moddaning turli agregat holati — gazsimon, suyuq va qattiq holatdagi moddalar egallaydi. Bu yerda biz gazni, bug‘ni, amorf jismlarni, suyuqlik va kristallarni, metallarni, yarimo‘tkazgich va dielektriklarni, kvazikristall va suyuq kristallarni, ferrit va elektretlarni va hokazo, shuningdek, hozirgi sivilizatsiya ularsiz mavjud bo‘la olmaydigan ko‘p boshqa narsalarni ko‘rishimiz mumkin.

Undan keyingi qavatda o‘lchamlari molekulalar o‘lchamlaridan ancha katta, astronomik obyektlardan kichik bo‘lgan turli fizik jismlar joylashadi. Ularning qatoriga toshlarni, meteoritlarni, kometalarning yadrolarini va boshqalarni kiritisa bo‘ladi.

Bundan keyingi qavatni sayyoralar, yulduzlar, yulduzlar turkumi, galaktikalar, galaktikalar turkumi: tumanliklar va Koinot egallaydi.

Hozirgi vaqtda materiyani tashkil qilgan mikroobyektlar bilan boshlanib bir butun Koinot bilan tugallangan har bir holatdagi fizik sistemalar xossalarini tavsiflash uchun tegishli fizik nazariyasi ishlab chiqilgan. Birinchi ikki qavatdagi zarralarning tabiatini o'rganish uchun ***kvant xromodinamikasi*** qo'llaniladi. Kvant zarralarning elektromagnit ta'sirlashuvlarini ***kvant elektrodinamikasi*** tushuntirib beradi. Yadrolarning xossalarini ***yadro fizikasi***, atomlarning xossalarini esa ***atom fizikasi*** o'rganadi. ***Molekulyar fizika*** sohasi — bu molekulalar va moddaning turli agregat holatlaridir. Elektromagnit maydonlarning xossalarini o'rganish bilan ***elektrodinamika***, makroskopik jismlarning o'zaro ta'sirlashuvini o'rganish bilan ***mexanika***, ***maxsus nisbiylik nazariyasi*** shug'ullanadi. ***Umumiy nisbiylik nazariyasi*** va ***astrofizika*** astronomik obyektlarni va bir butun Koinot xossalarini o'rganadi.

## **122- §. Fizika va ilmiy-texnika inqilobi**

Fizika hozirgi zamon tabiyatshunosligining yetakchi fanlaridan biridir. Fizika fanining olamni bilishdagi erishgan yutuqlari hamda ochilgan qonuniyatlari tufayli XX asrning o'rtalaridan boshlab ilmiy-texnika inqilobi ro'y bermoqda. Ilmiy-texnika inqilobi fan, texnika va ishlab chiqarishning ko'plab sohalarida chuqur sifat o'zgarishlariga olib kelmoqda. Bu o'zgarishlarning ba'zilarini quyida qayd etib o'tamiz.

Astronomiya insonni kosmik fazoga chiqishi bilan bog'liq bo'lgan inqilobni boshidan kechirmoqda. Minglab yillar davomida astronomlar osmon hodisalari to'g'risida faqat ko'zga ko'rinadigan yorug'lik vositasida olinadigan informatsiya bilan cheklanib kelar edilar. XX asrning 50—60- yillarida radiofizikaning rivojlanishi tufayli radioastronomiya vujudga keldi va bizning Koinot haqidagi tasavvurlarimiz haddan tashqari kengaydi. Shu vaqtgacha bizga noma'lum bo'lgan kosmik obyektlarning mavjudligini bilishga imkon yaratildi. Insonning kosmosga chiqishi munosabati bilan astronomiyaning ultrabinafsha va infraqizil nurlar astronomiyasi, rentgen nurlari astronomiyasi, gamma-nurlar astronomiyasi kabi yangi bo'limlari paydo bo'ldi. Shuningdek, Yer atmosferasining chegarasiga tushuvchi birlamchi kosmik nurlarni tadqiq qilish imkoniyatlari ancha kengaydi. Bu inqilob natijasida astronomlar kosmik fazodan kelayotgan zarra va nurlanishlarning barcha turlarini tadqiq qilish imkoniyatiga ega bo'ldilar. Bunday tadqiqotlarni

o'tkazishda foydalaniladigan usullar va qayd qiluvchi apparatlarni astronomlar fizika arsenalidan oladilar.

Atom yadrolari va elementar zarralar fizikasida erishilgan yutuqlar tufayli hozirgi vaqtda neytrino astronomiyasi yaratilmoqda. Neytrino astronomiyasi olimlarga kosmik jismlarning qa'ridagi, masalan, Quyosh bag'ridagi jarayonlar haqida ma'lumot beradi, ularni o'rganishga imkon yaratadi.

Molekulyar biologiya va genetikaning yuzaga kelishi biologiyada inqilobni vujudga keltirdi. Molekulyar biologiya va genetika hayotni tirik organizmning eng kichik zarralarida — molekulalarda o'rganadi. Molekulyar biologiya o'z obyektlarini payqash, ajratish va o'rganishning asosiy vositalari va usullarini fizikadan oladi. Bunda elektron va proton mikroskoplar, rentgen struktura analizi, elektronografiya, neytron analizi, nishonlangan atomlar, ultrasentrifuga va hokazolardan foydalaniladi.

Hozirgi zamon fizikasining kimyo, geologiya, okeanologiya, tibbiyot kabi qator tabiiy fanlarni ham inqilob tarzda qayta qurishdagi roli nihoyatda muhimdir. Radioaktiv izotoplarni olish, lazer nurlarining keng imkoniyatlari inson salomatligini saqlash va hayotini asrab qolish sohasida tibbiyot hodimlariga katta ilmiy yordam ko'rsatmoqda.

Materialshunoslik sohasidagi inqilob sun'iy materiallar texnologiyasini yaratish va ishlab chiqarishga joriy etish bilan bog'liq. Yangidan-yangi xususiyatlarga ega bo'lgan xossalari oldindan belgilangan bunday materiallarni yaratishda kimyo fanidagi inqilob tufayli vujudga kelgan «katta kimyo» bilan bir qatorda moddaga ta'sir ko'rsatishning fizik usullari (elektron, ion va lazer nurlari dastalari, o'ta kuchli magnit maydonlar, o'ta yuqori bosim va temperaturalar, ultratovush va hokazo) tobora katta rol o'ynamoqda.

Energetikadagi inqilob organik yoqilg'i bilan ishlaydigan issiqlik elektr stansiyalaridan atom elektr stansiyalariga o'tish bilan bog'langan. Fizik olimlar atom ichki energiyasining g'oyat katta zaxirasi haqida taxminan XX asrning boshlarida bilgan bo'lsalarda, atom energetikasi haqidagi fikr shu asrning 40- yillarida ham xayoliy hisoblanar edi. Fizika fani yutuqlari asosida inson atom energiyasiga ega bo'ldi. Atom yadrolari fizikasining yutuqlariga tayanib yaqin kelajakda fiziklar boshqariladigan termoyadro reaksiyalarini amalga oshirishlariga hech qanday shubha yo'q. Shunday ekan, termoyadro elektr stansiyalari kelgusida insoniyatni

energiya manbalari haqidagi tashvishdan umrbod xalos etadi, deb umid qilamiz.

Qattiq jism fizikasi sohasidagi tadqiqotlar radiotexnikani, aloqa texnikasini, tez ishlovchi hisoblagich mashinalari texnikasini yangi, yanada yuqoriroq pog'onaga ko'taruvchi gurkirab rivojlanayotgan yarimo'tkazgichlar texnikasining yaratilishiga olib keldi. Shu kunlargaacha yaratilgan elektron hisoblash mashinalarining vakuum lampali, yarimo'tkazgichli va integral sxemali avlodi fizika laboratoriyalarida vujudga keltirildi. Lazerlarning qo'llanilishi va ularga asoslangan golografiyaning taraqqiyoti elektron hisoblash texnikasini yanada takomillashtirish uchun yangi-yangi imkoniyatlarni yaratib beradi.

Yuqorida keltirilgan misollar hozirgi zamon fizikasining ilmiy-texnika inqilobiga hal qiluvchi hissa qo'shayotganligiga ishonch hosil qilish uchun yetarlidir, deb o'ylaymiz.

Shuni qayd etish lozimki, zamonaviy texnika va texnologiya ham, o'z navbatida, fizika fanining rivojlanishiga ta'sir ko'rsatib kelmoqda. Masalan, yadro fizikasida tadqiqotlar olib borish uchun yetarlicha katta energiyali zarralar oqimi talab qilinadi. Bunday energiyali zarralarni texnikaning yuqori darajasi tufayligina yaratilgan qudratli tezlatkichlarda olish mumkin bo'ldi.

Amaliy fizikada eksperimental natijalarni nazariy asoslash uchun murakkab formulalar yordamida ayrim parametrlarni hisoblash lozim bo'ladi. Bunda zamonaviy elektron hisoblash mashinalarining xizmati beqiyos ekanligi tushunarli va hokazo.

## D. I. MENDELEYEVNING KIMYOVIY ELEMENTLAR DAVRIY JADVALI

[illegible]

---

## Mustaqil yechish uchun berilgan masalalarning javoblari

1.  $\vec{E}$  vektor vertikal bo'yicha pastga yo'nalgan 3.  $4,6 \cdot 10^{-2} \frac{\text{A}}{\text{m}}$ ;  $1,73 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  4. 15 m;  $5 \cdot 10^{-8}$  s 5.  $0,282 \leq L \leq 1,13$  mH 6.  $2,12 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ; 1,41 marta 7. 3770 m; 9230 m 8. 200 m; 1,5 marta 9.  $10 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ ;  $5,0 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ ;  $1,14 \frac{\text{V}}{\text{m}}$  10. Chunki elektromagnit to'liqin metall sirtidan qaytadi 11.  $S = 0,37 \cdot \cos^2(\omega t + \alpha) \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$  12. 1500 13. 60 km 14. 3 mm 15. Chunki ultraqisqa to'liqinlardan foydalaniladi. Bu to'liqinlar Yer sirtida kuchli yutiladi va ionosferadan deyarli qaytmaydi 16. 0,37 m 17. 14,6 lx; 14,6 lx; 12,8 lx 18. 400 cd 19. 36 cd 20. 65 lx; 35 lx; 12,5 lx 21. Kichik lampadan 0,33 m masofaga qo'yish kerak 22. 210 lx 23. 0,1 m 24.  $17,6 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$  25. 3,16 m 26.  $8 \cdot 10^4$  lx 27. 7,5 lx 28. 0,2 m 29.  $30^\circ$  31.  $45^\circ$  34. 0,3 m 35. 0,6 m; 4 D 37. 2 m 38.  $7,5 \cdot 10^{-2}$  m;  $-1,5 \cdot 10^{-2}$  m. Tasvir mavhum, to'g'ri va kichraygan 39. 2 m 40.  $28^\circ$ ;  $2 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  41.  $49^\circ$ ;  $42^\circ$ ;  $24^\circ 30'$ ;  $62^\circ 43'$  42. 1,11 43.  $32^\circ$  44. 1,4 45.  $50^\circ$  46. 0,02 m 47.  $1^\circ 30'$  48.  $18,6 \cdot 10^{-2}$  m 49. 0,86 m 50.  $9,9 \cdot 10^{-10}$  s; 0,22 m 51. Plastinkaning oldingi sirtidan  $5,32 \cdot 10^{-2}$  m masofada 54. 0,5 m 57. 0,1 m 58.  $R_1 = R_2 = 0,14$  m 59. 1,5 60.  $11 \cdot 10^{-2}$  m;  $22,5 \cdot 10^{-2}$  m; 9 D 61.  $-5,5 \cdot 10^{-2}$  m 62. 0,12 m; 8,3 D 63.  $F/2$  64. 0,2 m, tasvir jismdan 2,5 marta kichik, mavhum va to'g'ri 65. 0,59 m 67. Ko'zning ko'rish maydoni kattalashadi 68. 0,25 m 69. Yig'uvchi; 0,67 m; uzoqdan ko'ruvchi 70. 3 D 71.  $2,5 \cdot 10^{-2}$  m 72. 149 marta 73. 0,75 m 74. 562 marta 75. 3200 marta 76. 20 marta 77. 0,24 m; 0,02 m 81. Tebranishlar maksimumi kuzatiladi 82. 2 m 83. 1,3 marta 84.  $48,2 \cdot 10^{-3}$  mm 85.  $5 \cdot 10^{-7}$  m 86. 1,8 mm 87. 1,3 88. 2,82 mm; 3,1 mm 89. 275 91.  $k_{\text{max}} = 3$  92. Ekranni difraksion panjaradan taxminan 0,5 m

uzoqlikda joylashtirish kerak. **93.**  $4 \cdot 10^{-7}$  m. **94.**  $4,47 \cdot 10^{-7}$  m.  
**95.**  $45^\circ$ . **96.** 0,125. **97.** 2. **98.** 8. **99.** Siyoh qora bo'lib ko'rinadi.  
**100.** 1,335. **101.** Chunki suv ultrabinafsha nurlarni yutadi.  
**102.** Chunki rentgen nurlari qo'rg'oshinda va alyuminiyda yutiladi.  
**103.**  $9,6 \cdot 10^{-15}$  J. **104.** Kvars ultrabinafsha nurlarni yutmaydi.  
**105.**  $3 \cdot 10^{-8}$  m. **106.**  $2,6 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . **107.** 68,6%. **108.** 7,1 marta. **110.**  
 $1,5 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . **111.** 22,37 marta. **112.** 1,2 marta. **113.**  
 $E_k^{\text{kl}} = 114 \text{ keV}$ ;  $E_k^{\text{rel}} = 175 \text{ keV}$ . **114.**  $1,11 \cdot 10^{-17}$  kg. **115.**  $8,2 \cdot 10^{-14}$  J.  
**117.**  $E_q = 2,8 \cdot 10^{-19}$  J;  $E_{ya} = 4 \cdot 10^{-19}$  J. **118.**  $2,34 \cdot 10^{-7}$  m. **119.** 1,5. **120.**  
 $3,97 \cdot 10^{-19}$  J. **121.**  $5,1 \cdot 10^5$  eV. **122.**  $8,8 \cdot 10^{-32}$  kg;  $1,8 \cdot 10^{-30}$  kg. **123.**  
 $7,5 \cdot 10^{14}$  Hz. **124.**  $1,2 \cdot 10^3$  V. **125.**  $5 \cdot 10^{-28}$  N·s;  $1,3 \cdot 10^{-6}$  m. **126.**  
 $1400 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . **127.**  $7,84 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . **128.** a) nur yo'nalishida; b) plastinkaga  
 normal yo'nalishda. **129.**  $3,74 \cdot 10^{21}$  ta. **130.** 54 mkPa. **131.**  $1,2 \cdot 10^{-5}$   
 Pa. **132.**  $2,9 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . **134.**  $5,89 \cdot 10^{-7}$  m. **135.**  $0,53 \cdot 10^{-10}$  m. **136.**  
 $2,18 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ;  $1,1 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . **137.**  $8,2 \cdot 10^{-8}$  N;  $1,8 \cdot 10^{-40}$  N. **138.** 10,2 V.  
**139.**  $-5,44 \cdot 10^{-19}$  J. **140.**  $10,2 \leq W \leq 12,1$  eV. **142.**  $4,34 \cdot 10^{-7}$  m. **143.**  
 $\lambda_{\text{max}} = 6,56 \cdot 10^{-7}$  m;  $\lambda_{\text{min}} = 3,65 \cdot 10^{-7}$  m. **144.**  $0,91 \cdot 10^{-7}$  m. **145.**  $1,026 \cdot 10^{-7}$   
 m. **146.**  $12,2 \cdot 10^{-12}$  m;  $0,87 \cdot 10^{-12}$  m. **147.** 1)  $7,3 \cdot 10^{-12}$  m; 2)  $6,9 \cdot 10^{-12}$   
 m. **148.**  $1,67 \cdot 10^{-27}$  kg. **149.**  $7,3 \cdot 10^{-12}$  m;  $145 \cdot 10^{-12}$  m;  $28 \cdot 10^{-12}$  m.  
**150.**  $\Delta x \geq 5,8 \cdot 10^{-7}$  m. **151.**  $\Delta v_x \approx 10^{-23} \frac{\text{sm}}{\text{s}}$  shar uchun;  $\Delta v_x \approx 10 \frac{\text{km}}{\text{s}}$   
 elektron uchun. Demak, shar klassik trayektoriya bo'yicha  
 harakatlanadi, deb katta aniqlik bilan aytish mumkin; elektron esa —  
 yo'q. **154.** Neytronlar soni bilan. **155.**  $55 \cdot 10^{-5}$  m.a.b. **156.** 1,00759  
 m.a.b. **157.**  $4,6 \cdot 10^{-17}$  kg. **158.** 0,51 MeV. **159.**  $2,44 \cdot 10^{-29}$  kg. **160.**  
 225 MeV. **161.** 28,3 MeV. **162.** 1)  $\Delta \tau = 1$ ,  $\Delta A = 1$ ; 2)  $\Delta \tau = 2$ ,  $\Delta A = 4$ .  
**163.**  $^{235}_{92}\text{U}$  izotopi hosil bo'ladi. **164.** Vodorodning  $^2_1\text{H}$  izotopi. **165.**  
 8 va 6. **166.**  $1,354 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1}$ . **167.** 5025 ta atom. **168.**  $2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ .  
**170.** Pozitron chiqadi. **171.** Tritiy uchib chiqadi. **173.**  $2,28 \cdot 10^4$   
 kW-soat. **174.** 16,7%.

---

## Foydalanilgan adabiyotlar

1. Элементарный учебник физики, под редакцией академика Г.С. Ландсберга, М., «Наука», том III и II, 1972.
2. **Яворский Б.М., Пинский А.А.** Основы физики, том II. М., «Наука» 1981.
3. **R.I. Grabovskiy.** Fizika kursi, T., «O'qituvchi», 1973.
4. **I.V. Savelev.** Umumiy fizika kursi. III qism. T., «O'qituvchi», 1976.
5. **F.A. Korolev.** Fizika kursi. Optika, atom va yadro fizikasi, T., «O'qituvchi», 1978.
6. **G.Ya. Myakishev, B.B. Buxovsev.** Fizika-10, T., «O'qituvchi», 1986.
7. **G.S. Landsberg.** Optika, T., «O'qituvchi», 1981.
8. **R. Bekjonov.** Atom va yadro fizikasi. T., «O'zbekiston», 1972.
9. **M.X. O'lasova, J. Kamolov, F. Toshmuxamedov.** Fizika. Elektr, optika, atom va yadro fizikasi. T., «O'qituvchi», 1985.
10. **R. Basharuli, G.Z. Bayjasarova, U.K. Tokbergenova.** Fizika. Olmati, «Mektep», 2003.
11. **П.Л. Мухайлов.** «Гелиотехника в школе». T., «O'qituvchi», 1977.
12. **V.R. Demkovich, L.R. Demkovich.** Fizikadan masalalar to'plami. T., «O'qituvchi», 1975.
13. **A.P. Rimkevich.** Fizikadan masalalar to'plami. T., «O'qituvchi», 1991.
14. **V.S. Volkenshteyn.** Umumiy fizika kursidan savol va masalalar to'plami. T., «O'qituvchi», 1982.
15. Umumiy fizika kursidan masalalar to'plami. M.S.Sedrik tahriri ostida, T., «O'qituvchi», 1991.
16. **Храмов Ю.А.** Физики. Биографический справочник. М., «Наука», 1983.
17. Yosh fizik. Ensiklopedik lug'at. T., 1989.
18. **П.С. Кудрявцев.** Kurs istorii fiziki. M., «Prosveshcheniye», 1982.
19. **Raxmatov M.N.** Vatanimiz fiziklari. T., «O'qituvchi», 1983.

---

---

## Mundarija

|                |   |
|----------------|---|
| Soʻzboshi..... | 3 |
|----------------|---|

### I bob. Elektromagnit toʻlqinlar

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1- §. Elektromagnit maydon.....                                               | 4  |
| 2- §. Siljish toʻki.....                                                      | 6  |
| 3- §. Maksvellning elektromagnit maydon nazariyasi<br>haqida tushuncha.....   | 8  |
| 4- §. Elektromagnit toʻlqinlar. Gers tajribalari.....                         | 11 |
| 5- §. Yassi elektromagnit toʻlqini. Toʻlqin tenglamasi.....                   | 14 |
| 6- §. Elektromagnit toʻlqin tezligi. Elektromagnit toʻlqin uzunligi.....      | 16 |
| <i>Takrorlash uchun savollar</i> .....                                        | 18 |
| <i>Masala yechish namunalari</i> .....                                        | 19 |
| <i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i> .....                                 | 23 |
| 7- §. Elektromagnit toʻlqinlarning xossalari.....                             | 25 |
| 8- §. Elektromagnit toʻlqin energiyasi.<br>Umov – Poynting vektori.....       | 28 |
| 9- §. Elektromagnit toʻlqinlarni qayd etish. Radioning<br>kashf etilishi..... | 29 |
| 10- §. Modulyatsiya va detektorlash.....                                      | 31 |
| 11- §. Hozirgi zamon radioaloqasining prinsiplari.....                        | 33 |
| 12- §. Radiolokatsiya.....                                                    | 35 |
| 13- §. Telekoʻrsatuvlarning fizik asoslari.....                               | 36 |
| 14- §. Telekoʻrsatuvlarni uzatish.....                                        | 39 |
| <i>Takrorlash uchun savollar</i> .....                                        | 40 |
| <i>Masala yechish namunalari</i> .....                                        | 40 |
| <i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i> .....                                 | 44 |

## OPTIKA

### II bob. Fotometriya

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 15- §. Yorugʻlik oqimi. Yorugʻlik kuchi. Yoritilganlik..... | 46 |
| 16- §. Yorqinlik va ravshanlik.....                         | 48 |
| 17- §. Yoritilganlik qonunlari.....                         | 50 |
| 18- §. Fotometrlar va ularning qoʻllanilishi.....           | 52 |
| <i>Takrorlash uchun savollar</i> .....                      | 53 |
| <i>Masala yechish namunalari</i> .....                      | 53 |
| <i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i> .....               | 56 |

### III bob. Geometrik optika

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 19- §. Yorugʻlikning toʻgʻri chiziq boʻylab tarqalishi.<br>Ferma prinsipi..... | 58 |
| 20- §. Yorugʻlikning qaytishi. Koʻzgu.....                                     | 60 |
| 21- §. Yassi koʻzguda buyumning tasviri.....                                   | 62 |

|        |                                                                           |     |
|--------|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| 22- §. | Sferik ko'zgu. Sferik ko'zguning formulasi.....                           | 63  |
| 23- §. | Sferik ko'zguda tasvir yasash. Sferik ko'zguning<br>kattalashtirishi..... | 66  |
|        | <i>Takrorlash uchun savollar.....</i>                                     | 67  |
|        | <i>Masala yechish namunalari.....</i>                                     | 67  |
|        | <i>Mustaqil yechish uchun masalalar.....</i>                              | 71  |
| 24- §. | Yorug'likning sinishi.....                                                | 72  |
| 25- §. | Yorug'likning to'la ichki qaytishi.....                                   | 75  |
| 26- §. | Yorug'likning yassi-parallel plastinkadan o'tishi.....                    | 78  |
| 27- §. | Yorug'likning uchburchakli prizmadan o'tishi.....                         | 79  |
|        | <i>Takrorlash uchun savollar.....</i>                                     | 81  |
|        | <i>Masala yechish namunalari.....</i>                                     | 82  |
|        | <i>Mustaqil yechish uchun masalalar.....</i>                              | 85  |
| 28- §. | Linzalar. Yupqa linza formulasi.....                                      | 86  |
| 29- §. | Linzaning fokusi va optik kuchi.....                                      | 89  |
| 30- §. | Linzalarda tasvir yasash. Linzaning kattalashtirishi.....                 | 92  |
| 31- §. | Ko'z — optik sistema.....                                                 | 94  |
| 32- §. | Ko'zgudagi ba'zi nuqsonlar. Ko'zoynak.....                                | 96  |
|        | <i>Takrorlash uchun savollar.....</i>                                     | 97  |
|        | <i>Masala yechish namunalari.....</i>                                     | 97  |
|        | <i>Mustaqil yechish uchun masalalar.....</i>                              | 101 |
| 33- §. | Optik asboblari. Proyeksion apparat. Fotoapparat.....                     | 103 |
| 34- §. | Lupa. Mikroskop.....                                                      | 105 |
| 35- §. | Ko'rish trubalari. Teleskoplar.....                                       | 108 |
| 36- §. | Optik asboblarning nuqsonlari.....                                        | 110 |
|        | <i>Takrorlash uchun savollar.....</i>                                     | 113 |
|        | <i>Masala yechish namunalari.....</i>                                     | 113 |
|        | <i>Mustaqil yechish uchun masalalar.....</i>                              | 116 |

#### IV bob. To'liq optikasining asoslari

|        |                                                     |     |
|--------|-----------------------------------------------------|-----|
| 37- §. | Yorug'likning to'liq tabiati.....                   | 118 |
| 38- §. | Yorug'likning tezligi. Maykelson tajribasi.....     | 119 |
| 39- §. | Yorug'lik interferensiyasi.....                     | 122 |
| 40- §. | Interferensiyalar yo'llari.....                     | 125 |
| 41- §. | Yorug'lik interferensiyasini kuzatish usullari..... | 127 |
| 42- §. | Yupqa pardalarda yorug'lik interferensiyasi.....    | 129 |
| 43- §. | Nyuton halqalari.....                               | 131 |
| 44- §. | Interferensiyaning texnikada qo'llanishi.....       | 133 |
| 45- §. | Yorug'lik difraksiyasi.....                         | 136 |
| 46- §. | Gyuygens—Frenel prinsipi.....                       | 138 |
| 47- §. | Difraksion panjara. Difraksion spektr.....          | 141 |
| 48- §. | Optik asboblarning ajrata olish qobiliyati.....     | 144 |
|        | <i>Takrorlash uchun savollar .....</i>              | 146 |
|        | <i>Masala yechish namunalari.....</i>               | 147 |
|        | <i>Mustaqil yechish uchun masalalar.....</i>        | 153 |
| 49- §. | Yorug'likning qutblanishi.....                      | 154 |
| 50- §. | Malyus qonuni.....                                  | 157 |
| 51- §. | Yorug'likning yutilishi. Buger—Lambert qonuni.....  | 160 |
| 52- §. | Yorug'lik dispersiyasi. Dispersion spektr.....      | 163 |

|        |                                                                               |     |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 53- §. | Spektral asboblari. Spektr turlari.....                                       | 166 |
| 54- §. | Nurlanish va yutilish spektrlari. Spektral analiz.....                        | 168 |
| 55- §. | Infraqiliz va ultrabinafsha nurlari.....                                      | 169 |
| 56- §. | Rentgen nurlari.....                                                          | 170 |
| 57- §. | Gamma nurlanishlar haqida tushuncha.<br>Elektromagnit to'liqlar shkalasi..... | 173 |
|        | <i>Takrorlash uchun savollar</i> .....                                        | 174 |
|        | <i>Masala yechish namunalari</i> .....                                        | 175 |
|        | <i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i> .....                                 | 178 |

## V bob. Nisbiylik nazariyasi elementlari

|        |                                                                  |     |
|--------|------------------------------------------------------------------|-----|
| 58- §. | Elektrodinamika qonunlari va nisbiylik prinsipi.....             | 180 |
| 59- §. | Olam efiri muammosi. Maykelson-Morli tajribasi.....              | 181 |
| 60- §. | Maxsus nisbiylik nazariyasi postulatlarini.....                  | 184 |
| 61- §. | Nisbiylik nazariyasidan kelib chiqadigan<br>ba'zi natijalar..... | 186 |
| 62- §. | Jismi massasining tezlikka bog'liqligi.....                      | 189 |
| 63- §. | Massa bilan energiya o'zaro bog'liqligi.....                     | 192 |
|        | <i>Takrorlash uchun savollar</i> .....                           | 194 |
|        | <i>Masala yechish namunalari</i> .....                           | 195 |
|        | <i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i> .....                    | 199 |

## VI bob. Kant fizikasi

|        |                                                                                  |     |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 64- §. | Yorug'likning kvant nazariyasining vujudga kelishi.<br>Yorug'lik kvantlari ..... | 200 |
| 65- §. | Fotoeffekt hodisasi .....                                                        | 203 |
| 66- §. | Fotoeffekt qonunlari. Eynshteyn tenglamasi.....                                  | 205 |
| 67- §. | Foton va uning xarakteristikalarini .....                                        | 207 |
| 68- §. | Fotoeffektning qo'llanilishi .....                                               | 209 |
|        | <i>Takrorlash uchun savollar</i> .....                                           | 212 |
|        | <i>Masala yechish namunalari</i> .....                                           | 213 |
|        | <i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i> .....                                    | 215 |
| 69- §. | Geliotexnika elementlari. Quyosh energiyasidan<br>foydalanish.....               | 216 |
| 70- §. | Yorug'likning bosimi. Lebedev tajribasi.....                                     | 221 |
| 71- §. | Yorug'likning kimyoviy ta'siri.....                                              | 224 |
| 72- §. | Fotografiya.....                                                                 | 226 |
| 73- §. | Kinoda ovoz yozib olish va uni eshittirish.....                                  | 228 |
| 74- §. | Yorug'likning korpuskulyar-to'liq dualizmi.....                                  | 230 |
|        | <i>Takrorlash uchun savollar</i> .....                                           | 232 |
|        | <i>Masala yechish namunalari</i> .....                                           | 232 |
|        | <i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i> .....                                    | 234 |

## ATOM VA YADRO FIZIKASI

### VII bob. Atom fizikasi

|        |                                                |     |
|--------|------------------------------------------------|-----|
| 75- §. | Atom tuzilishi. Tomsonning atom modeli .....   | 235 |
| 76- §. | Rezerford tajribasi. Rezerford formulasi ..... | 237 |

|        |                                                                                                           |     |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 77- §. | Atomning planetar modeli va uning kamchiliklari .....                                                     | 240 |
| 78- §. | Bor postulatları. Energetik sathlar .....                                                                 | 243 |
| 79- §. | Vodorod atomi uchun Borning elementar nazariyasi .....                                                    | 245 |
| 80- §. | Frank va Gers tajribasi .....                                                                             | 248 |
| 81- §. | Atom spektridagi qonuniyatlar. Balmerning<br>umumlashgan formulasi .....                                  | 251 |
| 82- §. | Kombinatsion prinsip. Bor nazariyasining<br>kamchiliklari .....                                           | 252 |
|        | <i>Takrorlash uchun savollar</i> .....                                                                    | 256 |
|        | <i>Masala yechish namunalari</i> .....                                                                    | 257 |
|        | <i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i> .....                                                             | 259 |
| 83- §. | Moddalarning to'liq xususiyatlari.<br>Lui de-Broyl gipotezasi .....                                       | 259 |
| 84- §. | Geyzenbergning noaniqlik munosabatlari .....                                                              | 262 |
| 85- §. | Kvant mexanika haqida tushuncha .....                                                                     | 263 |
| 86- §. | Atom sistemasini xarakterlovchi kvant sonlar. Spin .....                                                  | 265 |
| 87- §. | Pauli prinsipi. Medeleevning kimyoviy elementlari<br>davriy sistemasining fizikaviy tushuntirilishi ..... | 268 |
|        | <i>Takrorlash uchun savollar</i> .....                                                                    | 270 |
|        | <i>Masala yechish namunalari</i> .....                                                                    | 271 |
|        | <i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i> .....                                                             | 274 |
| 88- §. | Spontan va majburiy nurlanishlar. Yorug'likni<br>kuchaytirish prinsipi .....                              | 275 |
| 89- §. | Lazerlar .....                                                                                            | 278 |
| 90- §. | Lazer nurlanishining xossalari. Lazerlarning<br>qo'llanilishi .....                                       | 280 |
| 91- §. | Optikada nochiziqlik effektlar .....                                                                      | 283 |
| 92- §. | Golografiya .....                                                                                         | 285 |
|        | <i>Takrorlash uchun savollar</i> .....                                                                    | 288 |

## VIII bob. Atom yadrosi fizikasi

|         |                                                                                     |     |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 93- §.  | Atom yadrosining tarkibi. Atom yadrosini xarakterlovchi<br>asosiy kattaliklar ..... | 289 |
| 94- §.  | Yadroning zaryadi, massasi va radiusini<br>aniqlash usullari .....                  | 291 |
| 95- §.  | Yadro kuchlari. Yadro modellari haqida tushuncha .....                              | 293 |
| 96- §.  | Yadroning bog'lanish energiyasi. Massa defekti .....                                | 296 |
|         | <i>Takrorlash uchun savollar</i> .....                                              | 299 |
|         | <i>Masala yechish namunalari</i> .....                                              | 299 |
|         | <i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i> .....                                       | 301 |
| 97- §.  | Radioaktivlik. Alfa-, beta- va gamma-nurlar .....                                   | 301 |
| 98- §.  | Siljish qoidalari. Neytrino .....                                                   | 304 |
| 99- §.  | Radioaktiv yemirilish qonuni. Radioaktiv oila .....                                 | 307 |
|         | <i>Takrorlash uchun savollar</i> .....                                              | 310 |
|         | <i>Masala yechish namunalari</i> .....                                              | 310 |
|         | <i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i> .....                                       | 312 |
| 100- §. | Zarralarni kuzatish va qayd qilish usullari .....                                   | 312 |
| 101- §. | Yadro reaksiyalari. Neytronning kashf etilishi .....                                | 316 |

|                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 102- §. Sun'iy radioaktivlik. Yadro reaksiyalarida saqlanish qonunlari .....                                                                                   | 319 |
| 103- §. Yadrolarning bo'linishi .....                                                                                                                          | 321 |
| 104- §. Zanjir yadro reaksiyasi .....                                                                                                                          | 324 |
| 105- §. Yadro energiyasini olish. Yadro reaktorlari .....                                                                                                      | 326 |
| <i>Takrorlash uchun savollar</i> .....                                                                                                                         | 328 |
| <i>Masala yechish namunalari</i> .....                                                                                                                         | 329 |
| <i>Mustaqil yechish uchun masalalar</i> .....                                                                                                                  | 331 |
| 106- §. Termoyadro reaksiyasi .....                                                                                                                            | 332 |
| 107- §. Yuqori temperaturali plazmani yaratish va uni saqlab turish. Tokamak .....                                                                             | 334 |
| 108- §. Yadroviy nurlanish dozasi .....                                                                                                                        | 337 |
| 109- §. Yadroviy nurlanishning kimyoviy va biologik ta'siri. Biologik himoya .....                                                                             | 339 |
| 110- §. Radioaktiv izotoplarni olish, ulardan nishonli atomlar va nurlanishlar manbayi sifatida foydalanish. Bu sohada O'zbekistonda qilinayotgan ishlar ..... | 342 |
| <i>Takrorlash uchun savollar</i> .....                                                                                                                         | 345 |

## **IX bob. Elementar zarralar haqida tushuncha**

|                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 111- §. Elementar zarralar tarkibi .....                                                                                        | 347 |
| 112- §. Elementar zarralarni xarakterlovchi kattaliklar. Antizarralar. Pozitronning kashf etilishi .....                        | 349 |
| 113- §. Elementar zarralarning o'zaro aylanishlari. Annigilyatsiya va juftlarning hosil bo'lishi .....                          | 352 |
| 114- §. Elementar zarralar sinflari .....                                                                                       | 354 |
| 115- §. Elementar zarralarning kvark modeli. Glyuonlar .....                                                                    | 357 |
| 116- §. Elementar zarralarning o'zaro ta'sir turlari. Fizikaviy ta'sir turlarining birlashgan nazariyasi haqida tushuncha ..... | 359 |
| 117- §. Kosmik nurlar haqida tushuncha. Birlamchi kosmik nurlar .....                                                           | 361 |
| 118- §. Ikkilamchi kosmik nurlar. Yadroviy va elektromagnit kaskadlar .....                                                     | 363 |
| <i>Takrorlash uchun savollar</i> .....                                                                                          | 367 |

## **X bob. Olamning yagona fizik manzarasi. Fizikaning jamiyat taraqqiyotidagi ahamiyati**

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| 119- §. Olamning mexanik manzarasi .....                      | 368 |
| 120- §. Olamning elektromagnit manzarasi .....                | 369 |
| 121- §. Olamning hozirgi zamon fizik manzarasi .....          | 370 |
| 122- §. Fizika va ilmiy-texnika inqilobi .....                | 372 |
| Mustaqil yechish uchun berilgan masalalarning javoblari ..... | 376 |
| Foydalanilgan adabiyotlar .....                               | 378 |

MUHABBAT HAMDAMOVNA O'LMASOVA

**FIZIKA  
OPTIKA, ATOM  
VA YADRO FIZIKASI**

**3- kitob**

*Akademik litseylar uchun o'quv qo'llanma*

Ikkinchi hashri

Muharrir *Xudoyberdi Po'latxo'jayev*

Rassom *Shuhrat Odilov*

Badiiy muharrir *Uyg'un Solihov*

Texnik muharrir *Yelena Tolochko*

Musahhih *Mahmuda Usmonova*

Kompyuterda sahifalovchi *Davron Hamidullayev*

Bosishga ruxsat etildi 05.07.2010. Bichimi 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Ofset qog'ozi. Tayms TAD garniturası. Shartlı b.t. 24,0. Nashr b.t. 23,98. Shartnoma № 68–2010. 1346 nusxada. Buyurtma № 650.

O'zbekiston Matbuot va axborot agentligining Cho'lpon nomidagi nashriyot-matbaa ijodiy uyi. 100129, Toshkent, Navoiy ko'chasi, 30- uy.

«Shoakbar» xususiy ilmiy ishlab chiqarish tijorat firmasi bosmaxonasida chop etildi. 100031, Toshkent, To'g'on Rejаметov ko'chasi, 1 a.

**O'lmasova M.H.**

O' 70

**Fizika optika, atom va yadro fizikasi:** Akad. litseylar uchun o'quv qo'llanma/M.H. O'lmasova; B.M. Mirzaahmedov tahriri ostida; O'zbekiston Respublikasi oliy va O'rta-maxsus ta'lim vazirligi, O'rta maxsus, kasb-hunar ta'limi markazi. — T.:, Cho'lpon nomidagi nashriyot-matbaa ijodiy uyi, 2010

K. 3. — 384 b.

**BBK 22.343ya722**