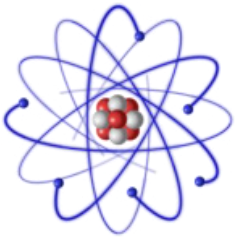
O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA’LIM,
FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI

F I Z I K A

(Optika va atom fizikasi)
(III qism)

- *Fotometriya asoslari*
- *Geometrik optika*
- *To‘lqin optikasi*
- *Nisbiylik nazariyasi*
- *Yorug‘likning kvant tabiati*
- *Atom, yadro va zarralar fizikasi*



TOSHKENT – 2023

SINOV UCHUN BERILGAN

Sh.B.Axmedov, M.B.Dusmuratov. Fizika (III qism). Toshkent: 2023. 375 b.

Mazkur darslik O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta‘lim vazirligi tasdiqlagan «Fizika» bo‘yicha namunaviy o‘quv dasturi asosida yozilgan bo‘lib, fizika chuqurlashtirib o‘qitiladigan akademik litseylar uchun mo‘ljallangan. Unda fizikaning mexanika, molekulyar fizika va termodinamika asoslari, elektrodinamika asoslari hamda optika, atom, yadro va zarralar fizikasi bo‘limlari yoritilgan. Har bir bob so‘nggida bobga doir masalalar numuna sifatida yechib ko‘rsatilgan hamda bobga doir testlar va masalalar berilgan. Darslikning ilova qismida masalalar yechishda kerak bo‘ladigan jadval ma‘lumotlari, turli fizik doimiylar, fizik kattaliklar o‘lchov birliklarining ta’riflari keltirilgan.

Данный учебник написан на основании примерной программы по “Физике”, утверждённой министерством высшего и средного специального образования Республики Узбекистан и предназначен для академических лицеев с углубленным изучением физики. В нем освещены такие разделы как механика, основы молекулярной физики и термодинамики, основы электродинамики, оптика, атомная и ядерная физика и физика элементарных частиц. В конце каждой главы даны примерные решения задая и даны тесты и задачи для самостоятельного решения. В приложении учебника приведены табличные данные для решения задач, различные физические постоянные величиниы, даны определения единицам измерения основныч физических величин.

This coursebook has been created on the basis of exemplary curriculum in “Physics” confirmed by the Mimistery of higher and secondary specialized education of the Republic of Uzbekistan and it is appropriate to be used at the academic lyceums where physics is a specialized discipline. The coursebook comprises the units concerning mechanics, the bases of molecular physics and thermodynamics, the bases of electrodynamics, optics and the physics of atom, nuclear and elementary particles. At the end of each unit there are examples and tests and examples for solving independently. In appendix there are tables, different physical constants and descriptions of physical units of measurements.

Taqrizchilar:

M.Q.Jabborova	-	I.Karimov nomidagi TDTU akademik litseyi fizika fani bosh o‘qituvchisi
Sh.M.Kamolxujayev	-	I.Karimov nomidagi TDTU, “Fizika” kafedrasi professori, p.f.d.
A.G.Gaibov	-	I.Karimov nomidagi TDTU fizika kafedrasi dotsenti, f-m.f.n.
M.Qurbonov	-	O‘zMU “Fizika” fakulteti professori,p.f.d.
R.M.Abdullayev	-	O‘zMU “Fizika” fakulteti dotsenti,f-m.f.n.
A. Shodiyev	-	A.Navoiy nomidagi SamDU dotsenti, f-m.f.n.
A. Jumabayev	-	A.Navoiy nomidagi SamDU professori, f-m.f.d.
Sh.N.Usmonov	-	O‘zRFA Fizika texnika instituti, laboratoriya mudiri, f-m.f.d.
K.T.Suyarov	-	TVChDPI “Fizikava astronomiya o‘qitish metodikasi” kafedrasi dotsenti, kafedra mudiri, p.f.d.(PhD)
M.N.Mirahmedov	-	Al-Xorazmiy nomidagi TATU akademik litseyi fizika fani bosh o‘qituvchisi, f-m.f.n
R.A.Gulamov		Namangan muhandislik qurilish instituti akademik litseyi ijrochi direktori, f-m.f.n
M.M.Abdulxayeva		Namangan muhandislik qurilish instituti akademik litseyi fizika fani bosh o‘qituvchisi

SINOV UCHUN BERILGAN

SO‘Z BOSHI

Fizika – tabiat to‘g‘risidagi fan hisoblanib, bu fan materiyaning turli ko‘rinishlari va xossalarini, ularning xilma-xil o‘zgarishlarini, bu o‘zgarishlarni tavsif etadigan qonunlarni, hodisalar o’rtasidagi munosobatlarni, zamon va makon xususiyatlarini o‘rganadi.

Boshqa fanlardan fizika fani shu jihati bilan farq qiladiki, materiyaning xususiyatlarini, uning o‘zgarishlarini o‘rganishda o‘lchash va sonlar bilan ifodalash mumkin bo‘lgan turli xil fizik kattaliklar kiritiladi. Shu tufayli hodisalarning kechishi va ular orasidagi eng muhim bog’lanishlar qonunlar deb atalib, ular ham matematik munosobatlar tarzida ifoda qilinadi.

Materiya xossalarining hammasi ham insoniyatga ma’lum bo‘lmasdan, o‘z yechimini topmagan tabiat hodisa va jarayonlari hali hamonki ko‘pdir. Biroq fizika va boshqa fanlarning taraqqiyoti dunyoda o‘rganib, tushunib bo‘lmaydigan hech narsa yo‘q ekanligini ko‘rsatadi. Moddiy olamni bilish mumkinligini ham uning asosiy xususiyati deb hisoblash mumkin. Shu boisdaham har bir yangi kashf etilgan nazariya oldingisini rad etmasdan, balki uni to‘ldirib, boyitib boradi, ya’ni moslik prinsipi bajariladi, shu tariqa insoniyat absalyut haqiqatga yaqinlashib boradi. Materiyaning xossalarini, uning o‘zgarish qonunlarini bilish uning tevarak atrofdagi olamni bilishga bo‘lgan tabiiy intilishiga mos keladi. Shuning uchun bu tabiat to‘g‘risidagi fanlar birinnchi darajali amaliy ahamiyatga egadir. Chunkki ular biror tabiat hodisasining qanday kechishini oldindan bilishga imkon beradi. Busiz esa hach qanday muvaffaqiyatli ishlab chiqarish bo‘lmaydi. Qudratli texnikaga bolgan kishilar faoliyati atrofimizdagi muhitga katta ta’sir ko‘rsatayotgan hozirgi davrda tabiat qonunlariga tayanib kelajakni oldindan ko‘ra bilish ayniqsa muhimdir. Bu ta’sir insonga tuzatib bo‘lmas halokat keltirmasligi uchun uning oqibatlarini oldindan ko‘ra bilish kerak. Buning uchun esa tabiat qonunlari to‘g‘risida, jumladan fizika o‘rganadigan to‘g‘risida mumkin qadar ko‘proq ma’lumotga ega bo‘lish kerak.

Har qanday fanning vazifasi inson qo‘lida biror hodisaning qay tarzda yuz berishini oldindan bilishga imkon yaratadigan tadqiqot metodlarini berishdan iborat. Boshqacha aytganda, fan kelajakni oldindan ko’ra bilishga va o‘tmishni izohlay olishga yordam qilishi kerak. Shundagina tabiat hodisalarini jamiat va tarqqiyot foydasiga ishlatish mumkin.

Bizga ma’lumki, fizikani o’qitishdan asosiy maqsad, birinchidan tabiatnning fundamental qonunlarini ilmiy aqsosda tushuntirish, o‘quvchilarning ilmiy dunyuqarash va falsafiy mulohaza yuritish qobiliyatlarini rivojlantirish, texnika va turmushda foydalaniladigan uskuna va vositalarning ishlash prinnsipini tushuntiruvchi fizik jarayonlar haqida tasavvurlarni shaklllantirish bo‘lsa,

SINOV UCHUN BERILGAN

ikkinchidan esa ta’lim olishni davom ettirish, olgan bilimlarni chuqurlashtirish va kelgusida ilmiy izlanishlarni davom ettirish uchun mustahkam zamin yaratishdan iborat.

Ushbu darslik ham yuqoridagi maqsadlardan kelib chiqib, fizika chuqurlashtirib o‘tiladigan akademik litseylar uchun mo‘ljallangan o‘quv dasturi asosida tayyorlangan. Mazkur darslik O‘zbekiston Respublikasining 2020 yil 3 dekabrdagi “Iqtidorli yoshlarni saralab olish tizimi va akademik litseylar faoliyatini takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida” gi PQ-4910-son qarori, O‘zbekiston Respublikasi bosh vazirining o‘rinbosari tomonidan 2021 yil 8 mayda tasdiqlangan “Akademik litseylar uchun ikki yillik tizmga moslashtirilgan hamda o‘quvchilarda muayyan kompetensiyalarni shakllantirishga qaratilgan ta’lim va fan dasturlari asosida o‘qub adabiyotlari – darsliklar, o'quv va o‘quv metodik qo‘llanmalar yaratish tizimini takomillashtirish bo‘yicha chora-tadbirlar dasturida” belgilangan topshiriqlar ijrosini ta’minlash maqsadida ishlab chiqildi..

Darslikning ushbu uchinchi qismida optika, maxsusu nisbiylik nazariyasi, kvant fizikasi asoslari hamda atom, yadro va zarralar fizikasi bo‘limlari yoritib berilgan. Har bir bobdagi mavzuni yoritib berishda mavzuga oid ko‘plab adabiyotlar chuqur tahlil qilingan, mavzular ketma-ketligi va izchilligi hamda fanlararo aloqadorlik ham e’tiborga olingan. Mavzuga oid chizma va grafiklar zamonaviy dasturlar yordamida olingan bo‘lib, ular o‘quvchilarda mavzuga oid fizik tasavvurni kengaytirishga xizmat qiladi.

Darslikning har bir mavzusi kichikroq mavzuchalarga bo‘lingan bo‘lib, ular o‘quvchilardagi bilimlarni konkretlashtirishga xizmat qiladi. Har bir mavzudan keyin mavzu yuzasidan bir nechta savollar hamda bir nechta masalalar yechimlari berilgan bo‘lib, bu esa o‘quvchilarda mavzuni yana bir qayta yod etishga hamda ularda ko‘nikma shakllanishiga sabab bo‘ladi. Har bir bobdan keyin mazkur bobga oid laboratoriyalar, mustaqil yechish uchun testlar va topshiriqlar berilgan. Undan tashqari fizika fani rivojiga muhim hissa qo‘shgan, fundamental tajribalar o‘tkazgan va qonunlar kash qilgan olimlarning hayoti va ijodi haqida qisqacha ma’lumotlar berib o‘tilgan.

Darslikdan foydalanish fizika-matematika fanlariga ixtisoslashtirilgan maxsus maktablar va o’rta maktabni yuqori sinf o‘quvchilari, oliy o‘quv yurtlariga kiruvchi abituriyentlar hamda fizika o‘qituvchilari uchun ham foydali bo‘lib, darslik ularni fizikadan bilim va saviyalarini yanada oshirishga katta yordam beradi.

SINOV UCHUN BERILGAN

OPTIKA

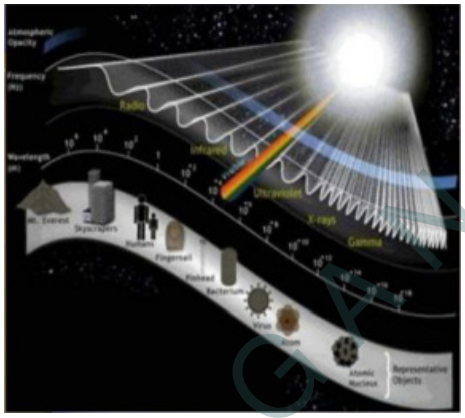
Optika – elektromagnit to‘lqinlarining inson ko‘zi sezadigan qismini o‘rganuvchi fizikaning bir bo‘limidir. Elektromagnit to‘lqinlari radioto‘lqinlar, mikroto‘lqinlar, infraqizil nurlar, oq yorug‘lik, ultrabinafsha nurlar, Rentgen nurlari va gamma nurlardan tashkil topgan bo‘lib, shulardan to‘lqin uzunligi $\lambda = 400 - 760\,nm$ *bo‘lgan nurlar oq yorug‘lik deb ataladi. Oq yorug‘lik inson ko‘ziga tushganda unda ko‘rish tuyg‘usi hosil qiladi. Optika bo‘limida ana shu oq yorug‘lik, uning xususiyatlari, turli moddalar bilan ta’siri va shu bilan bog‘liq turli qonunlar o‘rganiladi.*

Ushbu darslikda elektrodinamika asoslari bo‘limini 4 qismga bo‘lib o‘rganamiz:

- *Fotometriya asoslari*
- *Geometrik optika*
- *Fizik optika (yoki to‘lqin optikasi)*
- *Yorug‘likning kvant tabiati (yoki kvant fizikasi asoslari)*

SINOV UCHUN BERILGAN

I BOB. FOTOMETRIYA ASOSLARI



Fotometriya – yorug‘lik energiyasining o‘lchash usullarini o‘rganuvchi optikaning bir bo‘limidir. Fotometriya yorug‘likning ichki tabiatiga e’tibor bermasdan, faqat yorug‘lik manbalari va yoritilgan sirtlarni energetik jihatdan o‘rganadi. Yorug‘likning nurlanishi, tarqalishi va jismlar bilan o‘zaro ta’sirini energetik jihatdan miqdoriy baholash ishlari – bu Fotometriyaning asosiy vazifasidir. Bunda fazoviy burchak, yorug‘lik oqimi, yorug‘lik kuchi, yoritilganlik, ravshanlik kabi yangi tushunchalar o‘rganiladi. Inson miyasining psixofizialogik xususiyati, ya’ni ko‘rish tuyg‘usi bilan baholanadigan yangi kattalik kiritiladi.

§ 1. YORUG‘LIK VA UNING MANBALARI. YORUG‘LIK OQIMI VA YORUG‘LIK KUCHI.

Yorug‘lik va uning manbalari:

Qadimgi olimlarning yorug‘lik to‘g‘risidagi tasavvurlari juda sodda edi. Ular “Ko‘zdan juda kichik maxsus paypaslagichlar chiqadi va narsalarni borib paypaslaganlarida ko‘rish tuyg‘usi hosil bo‘ladi” deb hisoblaganlar. Hozirda esa yorug‘lik ko‘zimizga tushganda miyada ko‘rish tuyg‘usi hosil bo‘lishi natijasida narsalarni ko‘rishimiz hech kimga sir emas. Agar jism biror yorug‘lik manbaidan yoki biror sirtdan ko‘zimizga tushmas ekan, biz manbani va narsalarni ko‘rishimiz mumkin emas.

Yorug‘likning tabiati qanday degan savolga javob tariqasida XIIasrda deyarli bir vaqtda bir-biriga mutlaqo zid bo‘lgan ikki nazariya paydo bo‘ldi. Bu nazariyalardan biri Nyuton nomi bilan, ikkinchisi esa Gyugens nomi bilan bog‘liq edi. Nyuton yorug‘likning korpuskulyar nazariyasi ijodchisi edi. Uning nazariyasiga ko‘ra yorug‘lik – manbadan har tarafga sochiluvchi korpuskulalar (zarralar) dan iborat. Gyugensning tasavvuriga ko‘ra esa hamma narsani, olamni qamragan va barcha jismlarga singib kirgan alohida faraziy ***efir*** deb nomlangan elastik muhit mavjud bo‘lib, yorug‘lik ana shu efirda tarqaladi (xuddi mexanik to‘lqinlar elastik muhitda tarqalgani kabi). Ikkala nazariya ham uzoq vaqt bir-birining ustidan g‘olib chiqa olmadi, faqat Nyutonning obro‘sigina ko‘pchilik olimlarni o‘z tomonga og‘dirishga sabab bo‘ldi. Yorug‘likning to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqalishi va bunda aniq soyalar hosil bo‘lishini korpuskulyar nazariya yaxshi tushuntirib bera oldi. Ammo ikkita yorug‘lik dastasi kesishganda ular bir-biriga xalaqit bermasdan va sochilmasdan to‘g‘ri chiziqdan og‘ishmasligi sababini to‘lqin nazariya yaxshi tushuntirib bera oldi. XX asrning boshlariga kelibgina

SINOV UCHUN BERILGAN

yorug‘likning asl tabiati, ***korpuskulyar-to‘lqin dualizmi*** yaratildi. Unga ko‘ra yorug‘lik to‘lqin va zarra xususiyatlarini o‘zida jamlagan materiyaning bir ko‘rinishidir.

Hozirgi zamonaviy tasavvurlarga ko‘ra elektromagnit nurlanishlari juda keng diopazonda bo‘lib, bu nurlanishlarning inson ko‘zi ko‘radigan qismi yorug‘lik deb yuritiladi. Yorug‘likni ba’zida ko‘rinadigan nurlar yoki oq yorug‘lik deb ham atashadi.

Yorug‘lik nurlanishi elektromagnit nurlanishning ko‘rish tuyg‘usi bilan baholanadigan qismini tashkil qiladi.

Zamonaviy tasavvurlarga ko‘ra biror temperaturadagi har qanday jism o‘zidan elektromagnit nurlari chiqaradi, va bu nurlarni past temperaturalarda ko‘rmaymiz. Jismni isitgan sari qizarib borishini bilamiz. Demak, har qanday isitilgan jism yorug‘lik manbai bo‘lishi mumkin. Yorug‘lik manbalariga ko‘plab misollar keltirish mumkin. Masalan, pechka, plita, sham, elektrolampa, Quyosh, Oy va yulduzlar.

Nuqtaviy manba:

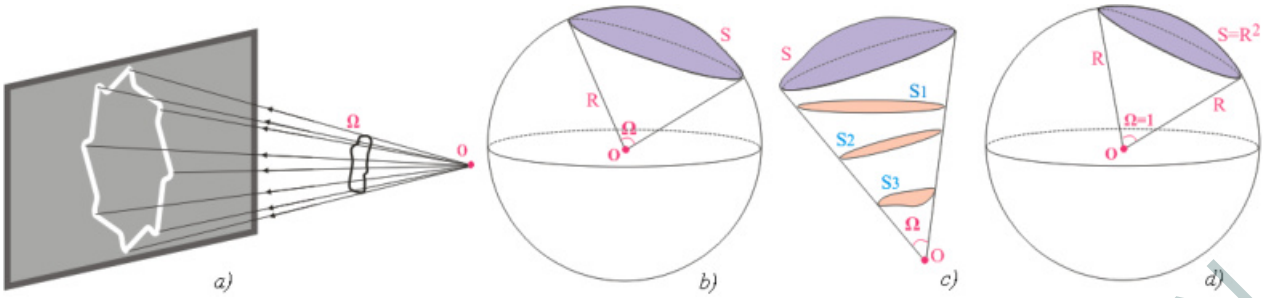
Yorug‘lik manbalari odatda barcha yo‘nalishlar bo‘ylab bir tekis yorug‘lik chiqarmaydi. Agar manbaning o‘lchami yorug‘lik ta’siri baholanayotgan masofadan ancha kichik bo‘lsa, bunday yorug‘lik manbasini ***nuqtaviy manba*** deyish mumkin. Undan tashqari nuqtaviy manbalar barcha yo‘nalishlar bo‘yicha bir tekis yorug‘lik tarqatadi deb hisoblanadi. Masalan, yulduzlar bizdan juda olisda bo‘lgani tufayli o‘lchamlari nihoyatda katta bo‘lishiga qarmasdan nuqtaviy manbaning eng yaxshi modelidir. Nuqtaviy manba ham xuddi fizikada qa’bul qilingan boshqa (moddiy nuqta, ideal gaz, absalyut qattiq jism, absalyut qora jism) modellari kabi ideallashtirilgan modeldir.

Yorug‘lik manbaidan kuzatilayotgan nuqtagacha masofa ortib borgan sari manba nuqtaviy manbaga yaqinlashib boradi. Agar kuzatilayotgan nuqtagacha masofa manba o‘lchamlaridan 10 martadan ko‘proq ortiq bo‘lsa, manbani nuqtaviy deb hisob-kitob qilish ishni osonlashtiradi va yo‘l qo‘yilgan xatolik uncha katta bo‘lmaydi. Masalan, *25sm* radiusli yorug‘lik tarqatuvchi sharni nuqtaviy deb faraz qilsak, shar sirtidan *50 sm* masofadagi nuqta uchun xatolik *25%*, *2m* masofadagi nuqta uchun *1,5%, 5m* masofadagi nuqta uchun esa *0,25%* dan oshmaydi.

Fazoviy burchak:

Devordan shakli istalgancha qilib yuzacha chizaylik, va bu yuzachani chegaralovchi egri chiziq nuqtalarini yuzachadan uzoqroqda joylashgan *O* nuqta bilan tutashtiraylik. Bu chiziqlar fazoda konus shaklidagi soha hosil qiladi. Fazoning bunday sohasini ***fazoviy burchak*** deb ataladi va Ω bilan belgilanadi (1.1,a-rasm). Markazi *O* nuqtada bo‘lgan *R* radiusli sfera bor deb faraz qilaylik. Fazoviy Ω burchak sferadan yuzasi *S* bo‘lgan segment ajratadi.

SINOV UCHUN BERILGAN



1.1-rasm

Segment yuzining sfera radiusi kvadratiga nisbatiga teng kattalik fazoviy burchakning kattaligini beradi (1.1,b-rasm).

$$\Omega = \frac{S}{R^2} \qquad (1.1)$$

Agar S yuza sfera markazidan Ω fazoviy burchak ostida ko‘rinsa, S yuzani tutib turuvchi konus ichida olingan ixtiyoriy $S_1, S_2, S_3, \ldots S_n$ yuzalar ham sfera markazidan o‘sha Ω fazoviy burchak ostida ko‘rinadi (1.1,c-rasm).

Fazoviy burchak yassi burchakdan farqli ravishda steradian (*sr*) larda o‘lchanadi.

Sferadan radius kvadratiga teng yuza ajratuvchi fazoviy burchak *1sr* fazoviy burchak deyiladi.

$$\Omega = \frac{S}{R^2} = \frac{1m^2}{1m^2} = 1\ [sr] \qquad (1.2)$$

Nuqta atrofidagi butun fazoni qamrovchi to‘liq fazoviy burchak quyidagicha bo‘ladi:

$$\Omega = \frac{S}{R^2} = \frac{4\pi R^2}{R^2} = 4\pi\ [sr] \qquad (1.3)$$

Yorug‘lik oqimi:

Oldingi boblarda biz tebranish konturi yordamida radioto‘lqinlar hosil qilinishini ko‘rgan edik. Radioto‘lqin uzun to‘lqinli elektromagnit to‘lqinidir. Hozirgi zamonaviy hisob-kitoblarga binoan elektromagnit to‘lqinlarini har qanday qizigan jism nurlashi mumkin ekan.

Boshqa to‘lqinlar kabi elektromagnit nurlanish ham biror muhitda tarqalayotganida bir nuqtadan boshqa nuqtaga energiya olib o‘tadi. Agar elektromagnit to‘lqinlar manbaidan biror masofada ixtiyoriy yuzachani fikran ajratsak, bu yuzachadan vaqt birligida biror nurlanish energiyasi o‘tadi.

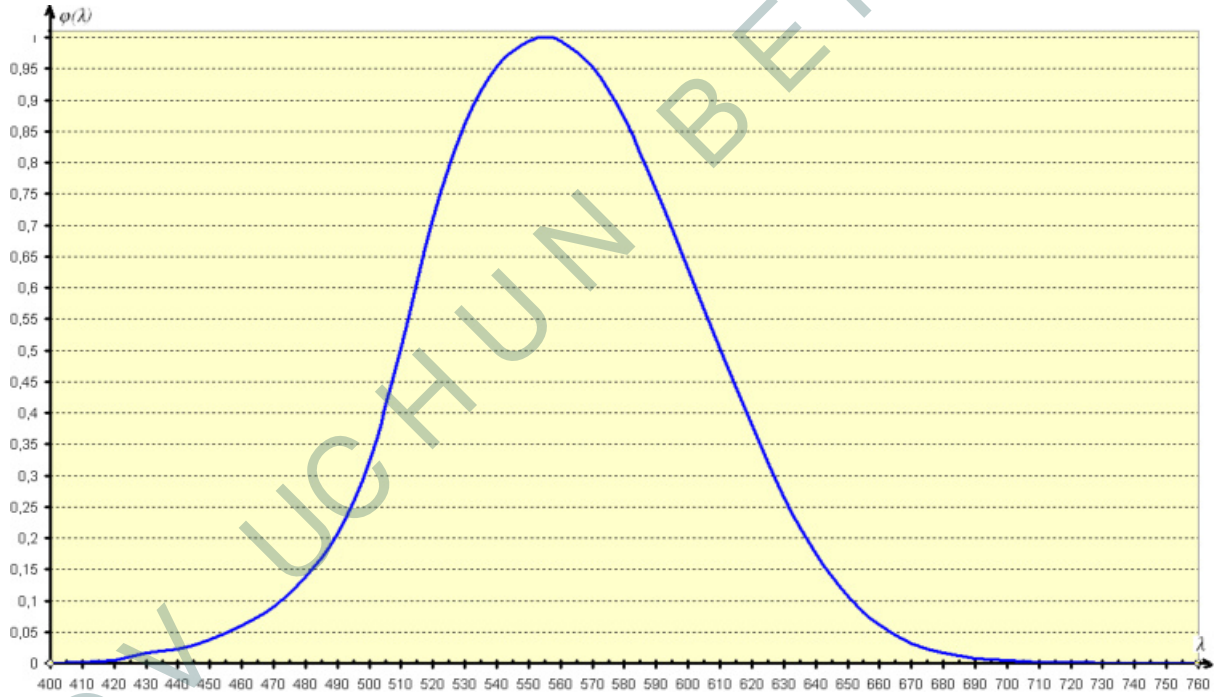
Biror sirtdan vaqt birligi ichida o‘tgan elektromagnit to‘lqin energiyasiga ***elektromagnit nurlanish oqimi*** deyiladi.

$$\Phi = \frac{W}{t} \quad [J/s = Vt] \qquad (1.4)$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Elektromagnit nurlanish oqimi quvvatning o‘lchamiga egadir. Bu yerda: W – sirt orqali o‘tuvchi to‘lqin uzunligi $0 \le \lambda \le \infty$ oraliqda bo‘lgan bo‘lgan barcha elektromagnit to‘lqinlar (radioto‘lqinlar, mikroto‘lqinlar, infraqizil nurlar, oq yorug‘lik, ultrabinafsha nurlar, Rentgen nurlari va gamma nurlar) energiyasidir.

Optikada bizni sirt orqali o‘tuvchi to‘liq elektromagnit to‘lqin energiyasi emas, balki bu elektromagnit to‘lqinlarning bevosita ko‘zga ta’sir etadigan qismi qiziqtiradi. To‘lqin uzunligi $\lambda = 400 - 760\ nm$ oraliqda bo‘lgan nurlar oq yorug‘lik (ko‘rinadigan nurlar) deb ataladi. Oq yorug‘lik inson ko‘ziga tushganda unda ko‘rish tuyg‘usi hosil qiladi. Lekin, ko‘zga ko‘rinuvchi nurlarning barchasi bir xil ko‘rish tuyg‘usi hosil qilmaydi. Bizda oq yorug‘likning har bir tor oraliqlari uchun bir xil quvvatga ega spektrlar olish imkoniyati bo‘lsin. Bu spektrlar inson ko‘ziga tushganida, ularning barchasi birdek sezgirlik uyg‘otmas ekan. Shulardan $\lambda = 555\ nm$ $(\nu = 540\ TGs)$ to‘lqin uzunlikdagi yashil nurlarni inson ko‘zi juda yaxshi sezar ekan.



1.2-rasm

Keling, quvvati $P = 1W$ bo‘lgan lampa faqat $\lambda = 555\ nm$ to‘lqin uzunlikdagi yashil nurlar chiqaryapti deb faraz qilaylik. Ana shu yashil nurlar ko‘zda hosil qilgandek ko‘rish tuyg‘usini hosil qilish uchun $\lambda = 610\ nm$ uzunlikdagi qizg‘ish to‘lqin chiqaruvchi lampaning quvvati $P = 2W$, $\lambda = 495\ nm$ uzunlikdagi havorang to‘lqin chiqaruvchi lampaning quvvati esa $P = 4W$ bo‘lishi kerak ekan. Ko‘z sezgirligining to‘lqin uzunligiga bog‘-liqligini baholash maqsadida tajribalarga asoslangan holda yangi sezgirlik koeffitsiyenti $\varphi(\lambda)$ degan kattalik kirgizamiz. Sezgirlik koeffitsiyentining qiymati eng yaxshi ko‘rinuvchi yashil $(\lambda = 555\ nm)$ nur uchun $\varphi(\lambda) = 1$ bo‘lib, qolgan barcha nurlar uchun $\varphi(\lambda) < 1$ bo‘ladi, jumladan

SINOV UCHUN BERILGAN

$\lambda = 610\,nm$ uzunlikdagi qizg‘ish to‘lqin uchun $\varphi(\lambda) = 0{,}5$ ga, λ=495 nm uzunlikdagi havorang to‘lqin uchun $\varphi(\lambda) = 0{,}25$ ga teng bo‘ladi. Sezgirlik koeffitsiyentining to‘lqin uzunligiga bog‘lanish grafigi ***sezgirlik egri chizig‘i*** deyiladi. Sezgirlik egri chizig‘i 1.2-rasmda tasvirlangan bo‘lib, son qiymatlari esa 1.1-jadvalda berilgan.

1.1-jadval

λ, nm	φ_λ	λ, nm	φ_λ	λ, nm	φ_λ	λ, nm	φ_λ
400	0,0004	495	0,260	590	0,757	685	0,0126
405	0,0007	500	0,323	595	0,694	690	0,0082
410	0,0012	505	0,408	600	0,631	695	0,0060
415	0,0024	510	0,503	605	0,567	700	0,0041
420	0,004	515	0,605	610	0,503	705	0,0031
425	0,009	520	0,710	615	0,442	710	0,0021
430	0,016	525	0,786	620	0,381	715	0,00155
435	0,019	530	0,862	625	0,343	720	0,00105
440	0,023	535	0,914	630	0,265	725	0,00078
445	0,030	540	0,954	635	0,220	730	0,00052
450	0,038	545	0,978	640	0,175	735	0,00038
455	0,047	550	0,995	645	0,140	740	0,00025
460	0,06	555	1,000	650	0,107	745	0,00018
465	0,074	560	0,995	655	0,083	750	0,00012
470	0,091	565	0,977	660	0,061	755	0,00009
475	0,113	570	0,952	665	0,046	760	0,00006
480	0,139	575	0,918	670	0,032	765	0,00003
485	0,170	580	0,870	675	0,024	770	0,00001
490	0,208	585	0,816	680	0,017		

Yorug‘lik energiyasini baholash uchun alohida kattalik – ***yorug‘lik oqimi*** kiritilgan.

Biror sirt orqali vaqt birligida o‘tadigan va ko‘rish sezgisi bilan baholanadigan yorug‘lik energiyasiga yorug‘lik oqimi deb ataladi.

Boshqacha aytganda, yorug‘lik oqimi yorug‘lik nurlarining biz ko‘zimiz bilan baholaydigan quvvatidir. Yorug‘lik oqimi biror asbob bilan qayd etiladigan yoki o‘lchanadigan kattalik bo‘lmasdan, balki inson miyasining psixofizialogik xususiyati, ya’ni ko‘rish tuyg‘usi bilan baholanadigan kattalikdir. Shuning uchun ham bu kattalik quvvat birligini Vattlarda emas, balki yangi kattalik *lyumen*(lm) larda o‘lchanadi. Endi quvvat birligi W hamda yorug‘lik oqimi birligi lm orasida bog‘lanishni aniqlashimiz kerak.

Hisob-kitoblarning ko‘rsatishicha ko‘rinuvchanligi $\varphi(\lambda) = 1$ ga teng bo‘lgan tor diapozondagi yashil $(\lambda = 555\ nm)$ nur dastasining quvvati P=$1W$ bo‘lganda, bu yorug‘lik oqimi $\Phi = 683\,lm$ ga teng bo‘lar ekan. Xuddi shunday quvvatlari bir xil

SINOV UCHUN BERILGAN

$P=1W$ bo‘lgan $\lambda=610\,nm$ uzunlikdagi qizg‘ish nur $\Phi=0,5\cdot 683lm=343,5lm$ ga teng, $\lambda=495\,nm$ uzunlikdagi havorang nur esa $\Phi=0,25\cdot 683lm=170,75lm$ ga teng yorug‘lik oqimi hosil qilar ekan. Boshqacha qilib aytganda, $\Phi=1lm$ ga teng aynan bir xil yorug‘lik oqimi hosil qilish uchun yashil nurning quvvati $P=\frac{1}{683}W=0,01464W$ ga teng, qizg‘ish nurning quvvati $P=\frac{1}{0,5}\cdot\frac{1}{683}W=0,02928W$ ga teng, havorang nurning quvvati esa $P=\frac{1}{0,25}\cdot\frac{1}{683}W=0,05856W$ ga teng bo‘lish kerak.

Maksimal ko‘rinuvchan yashil $(\lambda=555\,nm)$ nur dastasi yordamida *1 lm* ga teng yorug‘lik oqimi hosil qilish uchun kerak bo‘lgan quvvatga ***yorug‘likning mexanik ekvivalenti*** deyiladi.

$$A=\frac{1}{683}\left[\frac{W}{lm}\right]=0,01464\left[\frac{W}{lm}\right] \qquad (1.5)$$

Agar quvvati P bo‘lgan yorug‘lik manbai to‘lqin uzunligi λ bo‘lgan monoxromatik nurlar chiqarayotgan bo‘lsa, bu yorug‘likning oqimi quyidagicha bo‘ladi:

$$\Phi=\varphi(\lambda)\cdot\frac{P}{A}=683\varphi(\lambda)\cdot P \quad [lm] \qquad (1.6)$$

Quvvatlari $P_1,P_2,P_3,...P_n$ bo‘lgan bitta joyda turgan yorug‘lik manbalari mos ravishda uzunliklari $\lambda_1,\lambda_2,\lambda_3,...\lambda_n$ bo‘lgan ko‘rinuvchi monoxromatik to‘lqinlar nurlayotgan bo‘lsa, bu manbalar hosil qilgan natijaviy yorug‘lik oqimi quyidagicha bo‘ladi:

$$\Phi_{nat}=683\left(\varphi_1P_1+\varphi_2P_2+\varphi_3P_3+...+\varphi_nP_n+\right)=683\sum_{i=1}^{n}\varphi_iP_i \quad [lm] \qquad (1.7)$$

Tabiiy yorug‘lik manbaining tarkibida $0\le\lambda\le\infty$ oraliqda bo‘lgan bo‘lgan barcha elektromagnit to‘lqinlar, shuningdek $\lambda=400-760\,nm$ uzunlikdagi ko‘rinuvchi nurlar ham bor. Tabiiy yorug‘lik manbai hosil qilgan yorug‘lik oqimini topish uchun ko‘rinuvchi to‘lqinlarni $d\lambda$ qalinlikdagi elementar tasmalarga bo‘lamiz. Manbaning ixtiyoriy λ va $\lambda+d\lambda$ oraliqdagi qismining nurlanish qobiliyati $E_\lambda=\frac{\partial P}{\partial\lambda}$, uning sezgirlik koeffitsiyenti φ, elementar nurlanish quvvati $dP=E_\lambda d\lambda=\frac{\partial P}{\partial\lambda}d\lambda$ va elementar yorug‘lik oqimi $d\Phi=683\varphi dP=683\varphi\frac{\partial P}{\partial\lambda}d\lambda$ bo‘lsin. Buni $\lambda=400-760\,nm$ oraliqda integrallash orqali tabiiy yorug‘lik manbai hosil qilgan to‘la yorug‘lik oqimini topish mumkin.

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\Phi = \int_{400\,nm}^{760\,nm} d\Phi = 683 \int_{400\,nm}^{760\,nm} \phi E_\lambda d\lambda = 683 \int_{400\,nm}^{760\,nm} \varphi \frac{\partial P}{\partial \lambda} d\lambda \qquad (1.8)$$

Yorug‘lik kuchi:

Real yorug‘lik manbalari turli yo‘nalishlarda turlicha oqim tarqatadi. Yorug‘lik manbai chiqarayotgan yorug‘lik oqimining nurlanish yo‘nalishiga bog‘liqligini xarakterlash uchun yorug‘lik kuchi degan yangi kattalik kiritiladi.

O‘lchamlari kichik bo‘lgan manbaning yorug‘lik kuchi shu manbaning berilgan yo‘nalishda birlik fazoviy burchak ichida tarqatayotgan yorug‘lik oqimiga miqdor jihatidan teng kattalikdir.

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \qquad (1.9)$$

Yorug‘lik manbaining biror yo‘nalishdagi yorug‘lik kuchini aniqlashda juda kichik $d\Omega$ fazoviy burchakdagi elementar $d\Phi$ yorug‘lik oqimi o‘lchanada va hisoblanadi.

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \qquad (1.10)$$

Tabiiy yorug‘lik manbalarida barcha yo‘nalishlar bo‘yicha turlicha yorug‘lik tarqaladi. Demak, turli yo‘nalishlarda yorug‘lik kuchi ham turlicha bo‘ladi. Bundan keyin masalalar yechishda yorug‘likning barcha yo‘nalishdagi kuchi bir xil bo‘ladi deb hisoblaymiz.

Agar yorug‘lik manbasi barcha yo‘nalish bo‘yicha bir xil yorug‘lik tarqatsa, bu manbaning butun fazo bo‘yicha o’rtacha sferik kuchi quyidagicha bo‘ladi:

$$I = \frac{\Phi}{4\pi} \qquad (1.11)$$

XBS sistemasida yorug‘lik kuchining o‘lchov birligi kandela bo‘lib, bu asosiy o‘lchov birligi hisoblanadi.

1-ta’rif: ***ν=540 TGs (yoki λ=555 nm) chastotali monoxromatik nurlanish chiqarayotgan manbadan yorug‘lik tarqalish yo‘nalishida 1 st fazoviy burchakdan 1s. vaqtda 1/683 J yorug‘lik energiyasi o‘tsa, bu yorug‘likning kuchi 1kd deb qa’bul qilingan.***

2-ta’rif: ***Erigan platinaning qotish temperaturasida (2046,6 K) 1/60 sm^2 yassi sirtidan perpendikulyar ravishda hosil qiladigan yorug‘lik kuchiga 1 kandela (kd) bo‘ladi.***

Demak, *1sr* fazoviy burchak ichida *1lm* yorug‘lik oqimi tarqalayotgan bo‘lsa, yorug‘lik manbasining kuchi *1kd* ga teng bo‘ladi deyish mumkin.

1 W elektr quvvatiga to‘g‘ri kelgan yorug‘lik oqimiga lampaning ***yorug‘lik berishi*** deyiladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

$$k = \frac{\Phi}{P} \quad \text{yoki} \quad k = \frac{\varphi(\lambda)}{A} = 683 \cdot \varphi(\lambda) \qquad (1.12)$$

Masalan, *100 W* quvvatli elektrolampa *100 kd* ga yaqin o'rtacha yorug'lik kuchiga ega bo'lib, lampaning atrofga beradigan yorug'lik oqimi $\Phi = 4 \cdot 3{,}14 \cdot 100\,kd = 1256\,lm$ ga teng bo'ladi. Yorug'lik berishi esa $k = 1256\,lm / 100W = 12{,}56\,lm/\text{W}$ ga teng bo'ladi. 1.2- jadvalda har xil quvvatga ega bo'lgan cho'g'lanma lampalarning yorug'lik berishi keltirilgan.

1.2-jadval

Quvvati, *W*	To'la yorug'lik oqimi, *lm*	Yorug'lik berishi, $\frac{lm}{W}$	Yorug'likning o'rtacha sferik kuchi, *kd*
15	124	8,25	10
25	225	9,00	18
40	380	9,50	30
60	645	10,75	51
100	1275	12,75	103
150	2175	14,50	173
200	3050	15,25	243
300	4875	16,25	388
500	8725	17,45	695
1000	19000	19,00	1530

Cho'g'lanma lampalarning yorug'lik berishi juda past, shuningdek FIK ham juda past taxminan $\eta = 5-6\%$ dan oshmaydi. Sarflanayotgan elektr energiyasining katta qismini infraqizil nurlar, ya'ni issiqlik tarzida nurlaydi. Kunduzgi lampalarning yorug'lik berishi va FIK cho'g'lanma lampalarga qaraganda ancha yuqori bo'ladi. Kunduzgi lampalar sarflanayotgan elektr energiyasining asosiy qismini yorug'likka aylantirib beradi. Shuning uchun, kunduzgi lampalar cho'g'lanma lampalar kabi qizimaydi.

Mavzu yuzasidan savollar

1. *Yorug'lik va uning manbalari haqida so'zlab bering.*
2. *Fazoviy burchak nima?Uning o'lchov birligi va eng katta qiymati qanday?*
3. *Yorug'lik oqimi nima? Yorug'lik oqimi va elektromagnit nurlanish oqimining qanday farqi bor?*
4. *Sezgirlik koeffitsiyenti nima? Sezgirlik egri chizg'i-chi?*
5. *Ko'rinuvchi ixtiyoriy λ to'lqinni nurlovchi yorug'lik manbasi uchun quvvat va oqim orasidagi bog'lanishni yozib bering.*
6. *Yorug'likning mexanik ekvivalenti nima?To'la yorug'lik oqimi qanday aniqlanadi?*
7. *Yorug'lik kuchi deb nimaga aytiladi? Uning formulasi va o'lchov biriligini yozing.*
8. *Nuqtaviy yorug'lik manbaining kuchi nimaga teng?*

SINOV UCHUN BERILGAN

9. Yorug‘lik kuchining $1kd$ kattaligiga ta’rif bering.

10. Yorug‘lik lampalarining yorug‘lik berishi deb nimaga aytiladi? Ularning FIK deb nimaga aytiladi?

Masala yechish:

1. *Quvvati 1,8 W bo‘lgan monoxromatik nur chiqaruvchi yorug‘lik manbasining yorug‘lik oqimi 310 lm ga teng. Bu monoxromatik nur uchun sezgirlik koeffitsiyenti nimaga teng? Bu qaysi to‘lqin uzunliklarga to‘g‘ri keladi?*

Berilgan	Yechilishi
$P = 1,8\ W$ $\Phi = 310\,lm$ $\varphi(\lambda) = ?$ $\lambda = ?$	*Monoxromatik yorug‘lik manbasi yorug‘lik oqimining energetik va fotometrik kattaliklarini bog‘lashda* $\Phi = \varphi(\lambda)\cdot\frac{P}{A} = 683\,\varphi(\lambda)\cdot P$ *formuladan foydalaniladi. Bundan sezgirlik koeffitsiyentini qiymatini aniqlaymiz.* $\varphi(\lambda) = \frac{\Phi}{683\cdot P} = \frac{310}{683\cdot 1,8} = 0,252$

Endi 1.1-jadvaldan foydalanib, sezgirlik koeffitsiyentining $\varphi(\lambda)=0,252$ qiymatiga to‘lqin uzunliklarining $\lambda_1=494$ nm bo‘lgan havorang va $\lambda_2=631$ nm bo‘lgan qizil nurlarini mos kelishini aniqlaymiz.

Javob: *$\varphi(\lambda)=0,252$; $\lambda_1=494$ nm; $\lambda_2=631$ nm*

2. *Yorug‘lik kuchi 300 kd bo‘lgan manbadan 3 m uzoqlikda joylashgan va yuzi 15 cm^2 bo‘lgan sirtga tik tushayotgan yorug‘lik oqimini toping.*

Berilgan	Yechilishi
$S = 15\ cm^2$ $r = 3\,m$ $I = 300\,kd$ $\alpha = 0^0$ $\Phi - ?$	*Manbani radiusi 3 m bo‘lgan sfera markazida joylashgan deb hisoblaymiz. S sirt sferik sirtning bir qismini tashkil etadi. U holda bunday sirtning yoritilganligi* $E = \frac{I}{r^2}\cos\alpha$ *bo‘ladi. Ikkinchi tomonda esa* $E = \frac{\Phi}{S}$. *Bu ifodalarning o‘ng tomonlarini tenglashtirib, S sirtga tushayotgan yorug‘lik oqimi uchun quyidagi munosobatni olamiz.* $\Phi = \frac{I\,S}{r^2}\cos\alpha$. *Hisoblashlar natijasida* $\Phi = \frac{300\,kd\cdot 1,5\cdot 10^{-3}\,m^2}{9\,m^2}\cos 0^0 = 0,05\ lm$ *javob chiqadi.*

Javob: *0, 05 lm.*

SINOV UCHUN BERILGAN

§ 2. FOTOMETRIYA QONUNLARI

Yoritilganlik:

Qorong‘u joyda odam buyumlarni ko‘rmaydi. Har qanday buyumdan yorug‘lik tarqalsagina u inson ko‘ziga tushib uni ko‘radi. Agar buyum o‘zi yorug‘lik tarqatmasa, boshqa yorug‘lik manbaidan kelgan nurni qaytarganda uni ko‘ramiz. Qaralayotgan jismga qanchalik ko‘p yorug‘lik oqimi tushsa, uning sirtidan ham shuncha ko‘p yorug‘lik oqimi qaytadi va shu jismni yaxshiroq ko‘ramiz.

Yorug‘lik manbai narsalarning sirtlarini bir tekis yoritmaydi. Masalan, stol ustiga osilgan lampa tufayli stolning hamma yuzasi bir tekisda yoritilmaydi. Chunki, stolning har xil nuqtalari lampaga nisbatan turli uzoqlikda joylashgan. Stolning chetlari eng xira yoritilgan bo‘lib, lampa tagidagi nuqta esa yaqinligi tufayli eng kuchli yoritiladi.

Sirtga tushayotgan yorug‘lik oqimi tekis taqsimlanganda, sirtning yoritilganligi shu sirtning birlik yuziga to‘g‘ri kelgan ***yorug‘lik oqimi*** bilan o‘lchanadi.

$$E = \frac{\Phi}{S} \qquad (2.1)$$

Agar sirt tekis yoritilmasa, uning turli nuqtalarida yoritilganlik ham turlicha bo‘lib, har bir nuqta uchun elementar yuzacha dS va bu yuzachaga tushayotgan elementar yorug‘lik oqimi $d\Phi$ o‘lchanishi kerak bo‘ladi. Unda elementar dS yuzachaning yoritilganligi

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \qquad (2.2)$$

bo‘ladi.

Agar $1\ m^2$ yuzaga $1\ lm$ yorug‘lik oqimi tekis tushsa, bu yuzaning yoritilganlig $1\ lk$ (*lyuks*) ga teng bo‘ladi.

$$\frac{1lm}{1m^2} = 1lk \qquad (2.3)$$

$1\ lk$ yoritilganlikning katta-kichikligini chamalash uchun bir necha misollar keltiramiz. Tush paytida Quyosh nurlari Yerga tik tushayotganda $100\ 000\ lk$ yoritilganlik hosil qiladi, tunda to‘linoy $0,2\ lk$ yoritilganlik hosil qiladi, $1m$ balandlikda osilgan $100\ W$ quvvatli cho‘g‘lanma lampaning yoritilganligi $100\ lk$ ga teng bo‘ladi. Quyidagi jadvalda ba’zi tabiiy va sun’iy yorug‘lik manbalarining hosil qilgan yoritilganliklariga misollar keltirilgan.

SINOV UCHUN BERILGAN

2.1-jadval

Yoritish uchaskalari	Yoritilganlik, *lk*
Tushda Quyosh nurlari bilan yoritilganda	100 000
Suratga olish maydonchasidaga	10 000
Ochiq joyda bulutli kunda	1000
Nozik ishlar bajarilayotgan xonalarda	100 – 200
Yorug‘ xonada	100
Sinf va laboratoriya xonalarida.....	75
Kinoteatr ekranida	20 – 80
Yo‘lak va zinalarda	15 gacha
Ko‘chalar sun’iy yoritilganda	4 gacha
To‘lin Oy tunida	0,2
Oy chiqmagan yulduzli osmonda	0,0003

Ravshanlik:

Kitob o‘qiyotganda harflarni ko‘ramiz va uni o‘qiymiz. Oq qog‘oz va undagi qora harflar sirtga tushayotgan yorug‘lik nurlarini birday qaytarmadi. Oq qog‘oz ko‘proq qaytarish, qora harflar esa ko‘proq yutish xususiyatiga ega. Ikkalasidan kelayotgan yorug‘lik oqimlari turlicha bo‘lgani uchun ham harflarni ko‘ramiz. Juda mayda narsalarni ularning sirtlaridan kelayotgan yorug‘lik oqimlari farqiga qarab ajratamiz.

Yorug‘lik oqimiga bog‘liq holda yorug‘lik oqimini tarqatayotgan sirtning ayrim uchastkalarining turlicha ko‘rinishini xarakterlochi kattalikka ***ravshanlik*** deyiladi.

Sirt tekis yoritilganda sirtning ravshanligi shu sirtning birlik yuzidan unga perpendikulyar yo‘nalishda nurlanayotgan yorug‘lik kuchi bilan o‘lchanadi.

$$B = \frac{I}{S} \qquad \textbf{(2.4)}$$

Agar tekis yoritilgan sirtning har *1* m^2 yuzidan *1 kd* ga teng yorug‘lik kuchi olinsa, sirtning ravshanligi *1 nt (nit)* ga teng bo‘ladi.

$$\frac{1kd}{1m^2} = 1nt \qquad \textbf{(2.5)}$$

1 *nt* ravshanlik nisbatan kichik ravshanlik hisoblanib, agar nuqtaning ravshanligi 10^{-6} nt dan kam bo‘lmasa, odam bu yorug‘ sirtni ko‘ra oladi. Agar yorug‘ manbaning ravshanligi $1{,}6\cdot10^5\,nt$ dan ortiq bo‘lsa, ko‘zda og‘riq seziladi va bunday sirtlarga qarashga tavsiya berilmaydi. Quyosh gardishi sirtining ravshanligi $1{,}5\cdot10^9\,nt$, Oy sirtining ravshanligi esa $2{,}5\cdot10^3\,nt$ ga teng. Yorug‘lik kuchining ta’rifidan kelib chiqsak, platina qotayotganda $1/60\,sm^2$ yuzasida tik ravishda yorug‘lik chiqishi 1 *kd* bo‘lishini e’tiborga olsak, bunda sirtning ravshanligi $B = \frac{1kd}{1/60\,sm^2} = 6\cdot10^5\,nt$ ga teng bo‘lar ekan.

SINOV UCHUN BERILGAN

Quyidagi jadvalda yorug‘lik manbalari hamda qaytaruvchi sirtlarning ravshanligi keltirilgan.

2.2-jadval

Manba, sirt	**Ravshanlik, *nt***
Quyosh sirti	$1{,}5\cdot10^{9}$
Ko‘mir krateri	$1{,}5\cdot10^{8}$
Cho‘g‘lanma lampaning metall tolasi	$1{,}5\cdot10^{6} - 2\cdot10^{6}$
To‘g‘ri quyosh nurlari ostidagi qor	$3\cdot10^{4}$
Kerosin lampasining alangasi	$1{,}5\cdot10^{4}$
Sham alangasi	$5\cdot10^{3}$
Musaffo zangori osmon	$4\cdot10^{3}$
Oy sirti	$2{,}5\cdot10^{3}$
Kinoteatrda ekran sirti	5 – 20
Oq qog‘oz varag‘i	10 – 15
Oy chiqmagan tundagi osmon	10^{-4}

Yortilganlik qonunlari:

Yorug‘lik kuchi *I* bo‘lgan nuqtaviy yorug‘lik manbai atrofida radiusi *r* bo‘lgan sferik sirt chizaylik. Bunda sfera ichki qismining hamma nuqtalarida yoritilganlik bir xil bo‘ladi va nurlar radius bo‘yicha sfera sirtiga perpendikulyar holatda yo‘naladi. Bunda yorug‘lik nurlarining sfera sirtiga tushish burchagi nolga teng bo‘ladi. Ushbu sharoitda sferaning ichki sirtidagi yoritilganlikni E_0 bilan, butun sferaning ichki yuzini S_{sh} bilan, to‘la yorug‘lik oqimini Φ_T bilan belgilasak, yoritilganlik formulasiga ko‘ra

$$E_0 = \frac{\Phi_T}{S_{sh}}$$

bo‘ladi. Bu yerda $S_{sh} = 4\pi r^2$, $\Phi_T = 4\pi I$ ekanligini bilgan holda $E_0 = \frac{4\pi I}{4\pi r^2} = \frac{I}{r^2}$ ifodaga ega bo‘lamiz, ya’ni

$$\boxed{E_0 = \frac{I}{r^2}} \qquad \textbf{(2.6)}$$

bo‘ladi.

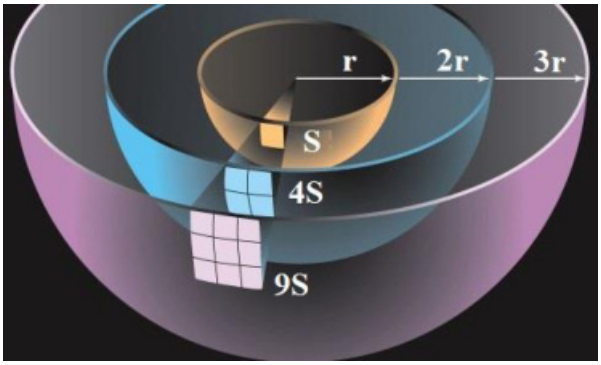
Ushbu munosobat yoritilganlikning birinchi qonunining matematik ifodasidir.

Nurlar perpendikulyar tushayotganda sirtning yoritilganligi nuqtaviy yorug‘lik kuchiga to‘g‘ri proporsional va manbadan yortilgan sirtgacha bo‘lgan masofaning kvadratiga teskari proporsional bo‘ladi.

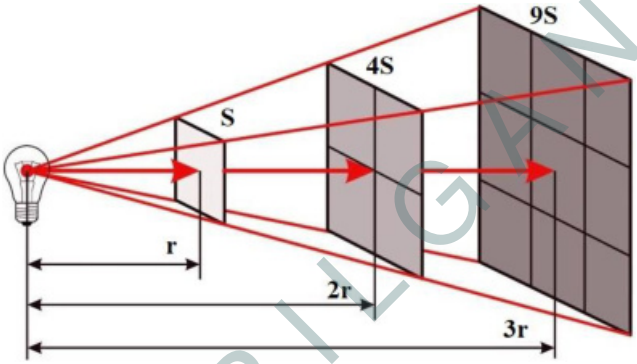
Bu teskari kvadratlar qonunini tushuntirishga harakat qilaylik. Nuqtaviy yorug‘lik manbasi turgan nuqtani markaz qilib radiuslari *r, 2r, 3r,* ... bo‘lganbir necha konsentrik sferalar chizaylik (2.1-a,rasm). Sfera sirtini aniqlaydigan $S=4\pi R^2$ formulaga binoan sferralar sirtlari *S, 4S, 9S,* ... qiymatlarga ega bo‘ladi. Manbadan

SINOV UCHUN BERILGAN

tarqalgan yorug‘lik esa mana shu yuzalarga yoyilib ketadi. Natijada sferalarning ichki sirtidagi yoritilganliklar *E, 1/4E, 1/9E,* ... qiymatlarga ega bo‘ladi. Yanada aniqroq tushunish uchun *r* radiusli sferadan kichkina *S* yuza ajratsak, mana shu *S* yuzani qamragan fazoviy burchak *2r* radiusli sferadan *4S*, *3r* radiusli sferadan *9S* yuzalarni qamraydi. Buni kattalashgan tasviri 2.1-b,rasmda keltirilgan.



a)



b)

2.1-rasm

Endi yoritirilganlik nurlarning sirtga tushish burchagiga bog‘liqligini ko‘rib chiqaylik. Aytaylik yorug‘lik nurlari Yer sirtiga tik tushayotgan bo‘lsin. Yer sirtiga nisbatan α burchak tashkil qiluvchi *ABCD* to‘g‘ri to‘rtburchak shaklidagi qiya sirtning yoritilganligini topish so‘ralgan bo‘lsin. Bunda qiya sirt normali va yorug‘lik nurlari ham α burchak tashkil qiladi. *ABCD* to‘rtburchakning gorizontal sirtga proyeksiyasi ABC_1D_1 to‘g‘ri to‘rtburchak bo‘ladi (2.2-rasm).

Qiya *ABCD* sirtning yoritilganligi

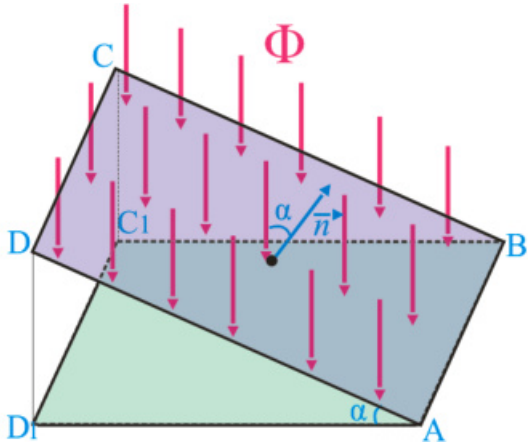
$$E = \frac{\Phi}{S} = \frac{\Phi}{AB \cdot AD}$$

bo‘ladi. Agar *ABCD* sirtni olib tashlasak, yorug‘lik nurlari ABC_1D_1 sirtga tik holda tushib uni yoritadi. Bunda yoritilganlik

$$E_0 = \frac{\Phi}{S_0} = \frac{\Phi}{AB \cdot AD_1}$$

bo‘ladi. *E* va E_0 yoritilganliklar nisbati

$$\frac{E}{E_0} = \frac{\Phi/(AB \cdot AD)}{\Phi/(AB \cdot AD_1)} = \frac{AD}{AD_1} = \cos\alpha$$



2.2-rasm

bo‘ladi. Shunday qilib, yorug‘lik nurlari sirtga qiya holatda tushganda sirtning yoritilganligi quyidagicha bo‘lar ekan:

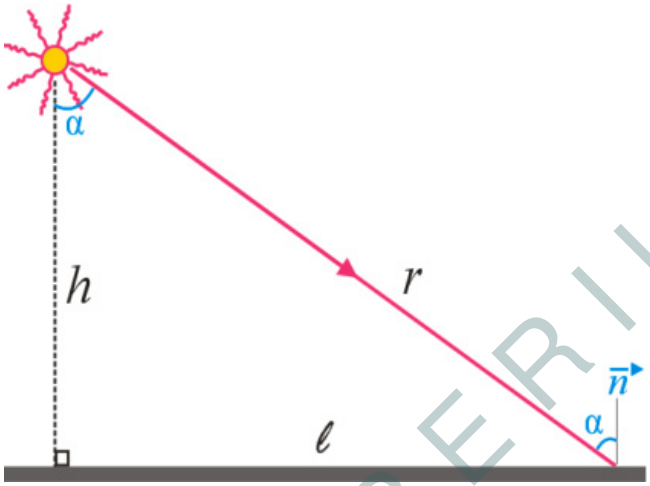
$$E = E_0 \cos\alpha = \frac{I}{r^2}\cos\alpha \qquad (2.7)$$

Ushbu munosobat yoritilganlikning ikkinchi qonunining matematik ifodasidir.

SINOV UCHUN BERILGAN

Parallel nurlar bilan yoritilganda sirtning yoritilganligi shu sirtga tushayotgan nurlarning tushish burchagi kosinusiga to‘g‘ri proporsional bo‘ladi.

Yoritilganlikning ikkinchi qonunidan tushish burchagi kattalashganda sirtning yoritilganligi kamayadi degan xulosaga kelish mumkin. Qishda issiq, yozda sovuq bo‘lish sababini ham shu orqali tushuntirish mumkin.



2.3-rasm

Endi birir yorug‘lik manbasining sirtni yoritishi burchak bo‘yicha qanday o‘zgarishini aniqlaylik (2.3-rasm). Aytaylik biror sirtdan h balandlikdagi yorug‘lik manbasi shu manba tagidagi elementar sirtni E_0 yoritilganlik bilan yoritayotgan bo‘lsin. Manbaning nurlari sirtga α burchak ostida tushayotgan elementar sirtdagi yoritilganlikni esa E bilan belgilaylik. Agar bizga E_0 va α burchak ma’lum bo‘lsa, E qanday qonun bo‘yicha o‘zgarishini aniqlashimiz talab etilgan. Bu bog‘lanish quyidagi korinishda bo‘ladi:

$$E = E_0 \cos^3 \alpha \qquad \textbf{(2.8)}$$

Shu formulani isbotlaylik. 2.2-rasmdan ko‘rinadiki, $r = \dfrac{h}{\cos\alpha}$. Yorug‘lik manbasi tagidagi yoritilganlik yoritilganlikning birinchi qonuniga ko‘ra $E_0 = \dfrac{I}{h^2}$ ga, sirtga α burchak ostida tushayotgan yuzachadagi yoritilganlik esa yoritilganlikning ikkinchi qonuniga ko‘ra $E = \dfrac{I}{r^2}\cos\alpha$ ga teng. Bun davom ettirib

$$E = \frac{I}{r^2}\cos\alpha = \frac{I}{\left(h/\cos\alpha\right)^2}\cos\alpha = \frac{I}{h^2}\cos^3\alpha = E_0\cos^3\alpha$$

deb yozish mumkin.

Yuqoridagi formladan shuni tushunish mumkinki, burchak kattalashgan sari sirtfagi yoritilganlik manba tagidagi yuzacha yoritilganligiga nisbatan jadal suratda kamayib ketar ekan. Masalan, yuzachalardagi yoritilganliklar farqi $\alpha=30^0$ da *1,54*

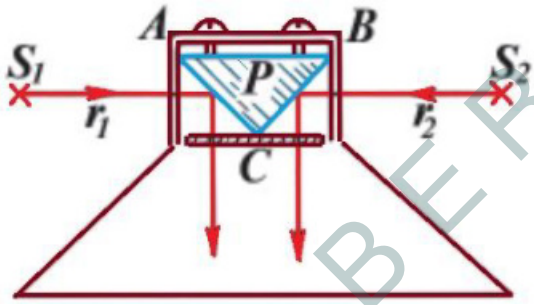
SINOV UCHUN BERILGAN

marta, $\alpha=45^0$ da *2,83* marta, $\alpha=60^0$ da *8* marta, $\alpha=70^0$ da *25* marta, $\alpha=80^0$ da 191 marta farq qiladi va hokoza.

Ikkita manbaning yorug‘lik kuchini taqqoslash. Fotometrlar:

Yorug‘lik manbaining kuchini bilgan holda boshqa fotometrik kattaliklarni aniqlash osondir. Yorug‘lik kuchini o‘lchashda fotometr deb ataladigan asbobdan foydalaniladi. Oddiy fotometrda noma’lum manbaning yorug‘lik kuchini yorug‘lik kuchi ma’lum bo‘lgan etalon manba bilan bir xil yoritilganlik hosil qilish orqali aniqlanadi.

Turlicha yoritiligan sirtlarni inson ko‘zi yaxshi ajratadi, lekin necha marta farq qilishini ajratish qiyin. Ammo sirtlar birday yoritilganda esa buni yazshi sezadi. Fotometr deb ataladigan optis asbobning ishlashi xuddi mana shunga asoslangan.



2.4-rasm

Oddiy fotometrlardan biri 2.4-rasmda sxematik ravishda tasvirlangan. Bunda: a) yuqoridan ko‘rinishi; b) old tomondan ko‘rinishi. Fotometrda uch yoqli 1 prizma bo‘lib, u yorug‘likni yaxshi qaytaradigan oq bo‘yoq bilan qoplangan. Yorug‘lik manbalari prizmaning chap va o‘ng tomonlariga joylashtiriladi. Prizmadan qaytgan nurlar 2 xira shishaga tushadi va 3 qorong‘u ekran ichidan o‘tib, kuzatuvchining ko‘ziga tomon yo‘naladi. Yorug‘lik manbalaridan biri, masalan etalon manbani prizmadan r_1 masofaga qo‘yiladi, ikkinchi optik kuchi noma’lum bo‘lgan manbani siljitish orqali shunday r_2 masofaga joylashtiriladiki, bunda shisha prizmaning ikkita yog‘i aynan birday yoritilsin. Yoritilganlikning birinchi qonuniga ko‘ra

$$E_1=\frac{I_1}{r_1^2} \quad \text{va} \quad E_2=\frac{I_2}{r_2^2}$$

bo‘ladi. E_1 va E_2 yoritilganliklar bir xil bo‘lgani uchun

$$\frac{I_1}{r_1^2}=\frac{I_2}{r_2^2}, \quad \rightarrow \quad \frac{I_2}{I_1}=\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2$$

bo‘ladi. Bundan esa

$$\boxed{I_2=\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 I_1} \qquad \textbf{(2.9)}$$

formulani hosil qilish mumkin. Bu formuladan noma’lum manbaning yorug‘lik kuchi I_2 ni aniqlash mumkin. Bu fotometr orqali olingan natijalar uncha aniq

SINOV UCHUN BERILGAN

bo‘lmaydi. Aniq natijalar olish talab etiladigan holatlarda esa ancha takomillashtirilgan fotometrlar va fotoelementlar bilan jihozlangan luksmetrlardan foydalaniladi.

Mavzu yuzasidan savollar



1. *Yoritilganlik deb nimaga aytiladi? Uning formulasi va o‘lchov biriligini yozing.*
2. *Ravshanlik deb nimaga aytiladi? Uning formulasi va o‘lchov biriligini yozing.*
3. *Platina sirtining erish temperaturasida ravshanligi nimaga teng?*
4. *Yoritilganlikning 1-qonunini ayting va formulasini yozing.*
5. *Teskari kvadratlar qonunini tushuntirib bering.*
6. *Yoritilganlikning 2-qonunini ayting va formulasini yozing.*
7. *Yoritilganlikning burchakka bog‘lanish formulasini yozing.*

Masala yechish:

1. *Toshkent shahri* $\varphi \approx 41^0$ *shimoliy kenglikda joylashgan deb hisoblab, Toshkent shahrining tush vaqtida yozda va qishda yoritilganliklari necha marta farq qilishini aniqlang. Yer o‘qining ekliptika o‘qiga nisbatan og‘ish burchagi* $\delta \approx 23{,}5^0$ *ga teng.*

Berilgan

$\varphi \approx 41^0$

$\delta \approx 23{,}5^0$

1) yozda

2) qishda

$\frac{E_1}{E_2} - ?$

Yechilishi

Yozda Quyosh nurlari Toshkent shahriga $\alpha_1 = \varphi - \delta = 41^0 - 23{,}5^0 = 17{,}5^0$ *burchak ostida, qishda esa* $\alpha_2 = \varphi + \delta = 41^0 + 23{,}5^0 = 64{,}5^0$ *burchak ostida tushadi. Yerdan Quyoshgacha bo‘lgan masofani* r*, Quyoshning yorug‘lik kuchini esa* I *desak, yozdagi va qishdagi yoritilganliklar* $E_1 = \frac{I}{r^2}\cos\alpha_1$ *va* $E_2 = \frac{I}{r^2}\cos\alpha_2$ *bo‘ladi. Ularning nisbati esa*

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\cos\alpha_2}{\cos\alpha_1} = \frac{\cos 17{,}5^0}{\cos 64{,}5^0} = \frac{0{,}9537}{0{,}4305} = 2{,}215$$

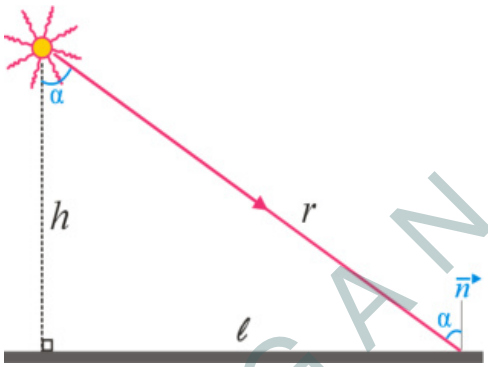
ga teng bo‘ladi. Demak, yozda Toshkent shahriga qishdagiga nisbatan taxminan 2,2 marta ko‘proq energiya tushar ekan.

Javob: *2,2 marta ko‘p*

2. *Gorizontal sirtdan h balandlikda lampa osilgan. Lampa tagidan qancha* ℓ *masofadagi nuqtada yoritilganlik lampa tagidagi yoritilganlikdan n marta kichik bo‘ladi?*

SINOV UCHUN BERILGAN

Berilgan	*Yechilishi*
h $\frac{E_1}{E_2}=n$	*Lampa tagidagi yoritilganlik birinchi qonunga ko‘ra* $E_0=\frac{I}{h^2}$ *bo‘ladi. Lampa tagidan* ℓ *masofada esa yoritiliganlikning ikkinchi qonuniga asosan*
$\ell-?$	$E=\frac{I}{r^2}\cdot\cos\alpha=\frac{I}{r^2}\cdot\frac{h}{r}=\frac{I\,h}{r^3}=\frac{I\,h}{\left(h^2+\ell^2\right)^{3/2}}=$ $=\frac{I}{h^2}\cdot\frac{h^3}{\left(h^2+\ell^2\right)^{3/2}}=E_0\cdot\frac{h^3}{\left(h^2+\ell^2\right)^{3/2}}$



bo‘ladi. Masala shartiga ko‘ra $\frac{E_0}{E}=n$ *ekanini e’tiborga olsak,* $\frac{\left(h^2+\ell^2\right)^{3/2}}{h^3}=n$ *ga teng bo‘ladi. Bundan so‘ralgan kattalikni topa olamiz, ya’ni*

$$\left(h^2+\ell^2\right)^3=n^2h^6,\ \rightarrow\ h^2+\ell^2=\sqrt[3]{n^2}\ h^2,\ \rightarrow\ \ell=\sqrt{\sqrt[3]{n^2}-1}\ h$$

bo‘ladi.

Javob: $\ell=\sqrt{\sqrt[3]{n^2}-1}\ h$

I BOBGA DOIR LABORATORIYA ISHLARI

Laboratoriya ishi: № 1.
Fotometr yordamida manbaning yorug`lik kuchini aniqlash.

Ishning maqsadi: Fotometriya qonunidan hamda fotometr asbobidan foydalanib noma’lum yorug‘lik manbaining optik kuchini aniqlash.

Kerakli asbob va jihozlar: Fotometr, tok manbai, chizg‘ich, etalon lampa, optik kuchi noma’lum lampa.

NAZARIY QISM

Sirtlarning yoritilganligini tekshirish yo'li bilan 2 manbaning yorug'lik kuchini taqqoslab noma'lum manbani yorug'lik kuchini aniqlanadigan asbob fotometr deb ataladi. Fotometr yoritilganlik qonunlari asosida yorug'lik kuchini aniqlaydi. Manbalarga nisbatan fotometrni u yoki bu manba tomonga turib bir xil yoritilganlikka erishib $I_1 = I_2$

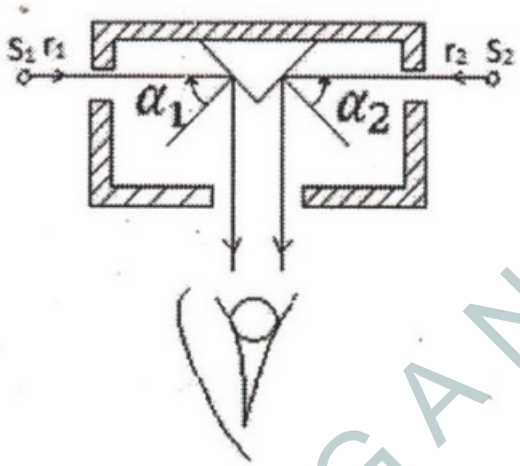
SINOV UCHUN BERILGAN

$$\frac{I_1}{r^2}\cos\alpha = \frac{I_1}{r^2}\cos\alpha \frac{I_1}{r^2} = \frac{I_2}{r_1^2}$$

Ifodadan r_1, r_2 larni o'lchab I_1 bilgan holda I_1,

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

o'lchash va hisoblash natijalarini ushbu jadvalga yoziladi.



1-rasm

Ishni bajarish tartibi:

1. Fotometrning o'ng va chap yoritilganligi tenglashguncha r2 masofanini o'zgartiramiz.
2. Formula (1) ga ko'ra noma'lum yorug'lik manbaini yorug'lik kuchini aniqlaymiz.
3. Jadvalni to'ldiramiz.

1-jadval

№	$I_1\ [kd]$	$r_1[cm]$	$r_2[cm]$	$I_2[kd]$	$\overline{I_2}$	ΔI_2	$\overline{\Delta I_2}$	$\varepsilon = \frac{\overline{\Delta I_2}}{\overline{I_2}} \cdot 100\%$
1								
2								
3								
$I_2 = \overline{I_2} \pm \overline{\Delta I_2}$								

Nazorat uchun savollar

1. Yorug'li kuchi deb nimaga aytiladi? Uning o'lchov birligi qanday?
2. Yoritilganlik deb nimaga aytiladi? Uning o'lchov birligi qanday?
3. Fotometriyaning teskari kvadratlar qonunini aytib bering.
4. Fotometriyaning kosinuslar qonunini aytib bering.
5. Fotometr asbobining tuzilishini aytib bering.

I BOBGA DOIR TESTLAR

1. Fazoviy burchak deb ... ga aytiladi.

A) Yuzaning radius kvadratiga ko'paytmasi
B) Yuzaning radius kvadratiga nisbati
C) Radiusning yuzaga nisbati
D) Radius kvadrati va yuzaning yig'indisi

2. Fazoviy burchakning eng kattta qiymati nimaga teng?

SINOV UCHUN BERILGAN

A) 2π B) 3π C) 4π D) 6π

3. $1lm$ yorug‘lik oqimiga ta’rif bering.

A) Quvvati $\frac{1}{683}Vt$ bo‘lgan manba faqat to‘lqin uzunligi $555\ nm$ bo‘lgan yashil to‘lqin nurlasa, uning yorug‘lik oqimi $1lm$ ga teng bo‘ladi.

B) Quvvati $\frac{1}{683}Vt$ bo‘lgan manba faqat to‘lqin uzunligi $760\ nm$ bo‘lgan qizil to‘lqin nurlasa, uning yorug‘lik oqimi $1lm$ ga teng bo‘ladi.

C) Quvvati $683Vt$ bo‘lgan manba faqat to‘lqin uzunligi $555\ nm$ bo‘lgan yashil to‘lqin nurlasa, uning yorug‘lik oqimi $1lm$ ga teng bo‘ladi.

D) Quvvati $\frac{1}{683}Vt$ bo‘lgan manba faqat to‘lqin uzunligi $410\ nm$ bo‘lgan binafsha to‘lqin nurlasa, uning yorug‘lik oqimi $1lm$ ga teng bo‘ladi.

4. Yorug‘lik oqimining formulasini yozing.

A) $E=\frac{\Phi}{S}$ B) $E=\frac{\Phi}{S^2}$ C) $E=\Phi S$ D) $E=I\,S$

5. Manbadan 3 marta uzoqlashganda sirtning yoritilganligi necha marta kamayadi?

A) *3 marta* B) *9 marta* C) *27 marta* D) *1/3 marta*

6. *100 kd* bo‘lgan cho‘g‘lanma lampaning yorug‘lik oqimi nimaga teng?

A) *628 lm* B) *314 lm* C) *1256 lm* D) *157 lm*

7. Agar quvvati *150 W* bo‘lgan cho‘g‘lanma lampa *120 kd* yorug‘lik kuchiga ega bo‘lsa, u holda bu lampaning yorug‘lik berishi nimaga teng?

A) *15 lm/W* B) *10,05 lm/W* C) *105 lm/W* D) *12,56 lm/W*

8. Ravshanlikning formulasini yozing.

A) $B=\frac{I}{S}$ B) $B=\frac{I}{S^2}$ C) $\Phi=I\,S$ D) $\Phi=S/I$

9. Agar yorug‘lik kuchi *100 kd* bo‘lgan cho‘g‘lanma lampaning sirti $40cm^2$ bo‘lsa, u holda bu manbaning ravshanligi qanday?

A) *100 000 nt* B) *50 000 nt* C) *1256 nt* D) *25 000 nt*

10. Yoritilganlik va ravshanli nimani xarakterlaydi?

A) Yoritilganlik yorug‘lik chiqaruvchi manba sirtni xarakterlaydi, ravshanlik esa yorug‘lik kelib tushadigan manba sirtini xarakterlaydi.

B) Yoritilganlik ham ravshanlik ham yorug‘lik kelib tushadigan sirtni xarakterlaydi.

SINOV UCHUN BERILGAN

C) Yoritilganlik yorug‘lik kelib tushadigan sirtni xarakterlaydi, ravshanlik esa yorug‘lik chiqaruvchi manba sirtini xarakterlaydi.

D) Yoritilganlik ham ravshanlik ham manba sirtini xarakterlaydi.

11. Poldan h balandlikda osilgan lampa polning lampa tagidagi yuzachasini E_0 yoritilganlik bilan yoritadi. Polning yorug‘lik nurlari α burchak ostida tushadigan yuzachasidagi yoritilganlik qanday bo‘ladi?

A) $E_0 \cdot sin^3\ \alpha$ B) $E_0 \cdot cos^3\ \alpha$ C) $E_0 \cdot cos^2\ \alpha$ D) $E_0 \cdot sin^3\ \alpha$

12. Gorizontal sirtdan h balandlikda osilgan lampa o‘zining tagidagi yuzachada E_0 yoritilganlik hosil qiladi. Bu gorizontal sirtning yorug‘lik nurlari α burchak ostida tushadigan nuqtasiga vertikal yuzacha o‘rnatilgan. Bu yuzachasidagi yoritilganlik qanday bo‘ladi?

A) $E_0 \cdot sin\alpha \cdot cos\alpha$ B) $E_0 \cdot cos^3\ \alpha \cdot sin\ \alpha$

C) $E_0 \cdot cos^2\ \alpha \cdot sin\ \alpha$ D) $E_0 \cdot sin^3\ \alpha \cdot cos\alpha$

13. Nuqtaviy yorug‘lik manbasidan *20 cm* masofada joylashgan yuzasi *10* cm^2 bo‘lgan sferik sirtga *4 lm* yorug‘lik oqimi tushmoqda. Nuqtaviy manbaning yorug‘lik kuchi aniqlansin.

A) *80 kd* B) *180 kd* C) *120 kd* D) *160 kd*

14. Yorug‘lik kuchi *200 kd* bo‘lgan elektr lampasi shiftning o‘ziga mahkamlangan. Xonaning yon devorlari va poliga tushadigan to‘la yorug‘lik oqimini aniqlang. J:

A) *1256 lm* B) *628 lm* C) 2512 *lm* D) *314 lm*

15. Yuzasi *3* m^2 bo‘lgan sirtga *150 lm* yorug‘lik oqimi tushmoqda. Sirtning yoritilanliqi qanday?

A) *450 lk* B) *50 lk* C) *150 lk* D) *30 lk*

I BOBGA DOIR TOPSHIRIQLAR

1. Bir-biridan *20 cm* masofada turgan ikkita ekran orasiga yorug‘lik manbai joylashtirilgan. Chap ekran o‘ng ekranga nisbatan 3 mata ko‘proq yoritilishi uchun manbani chap ekrandan qanday masofada qo‘yish kerak?

2. Bir-biriga nisbatan *6 m* masofada, *4 m* uzunlikdagi vertikal holda o‘rnatilgan ikki simyog‘ochga yorug‘lik kuchlari $I_1 = I_2 = 200\ kd$ bo‘lgan yorug‘lik manbalari osilgan. Har bir lampa ostidagi va simyog‘ochlar o’rtasidagi er yuzining yoritilganligini toping.

3. 0,6 *str* fazoviy burchak uchiga o‘rnatilgan nuqtaviy manba shu burchak uchida *240 lm* yorug‘lik oqimini tarqatadi. Manbaning yorug‘lik kuchini aniqlang.

SINOV UCHUN BERILGAN

4. Fotometr bir tomondan *50 sm* narida turgan yorug‘lik kuchi *100 kd* bo‘lgan lampa bilan yoritilmoqda. Fotometrning qismlari (har ikki tomoni) bir xil yoritilishi uchun uning ikkinchi tomoniga *30 sm* masofada turgan lampaning yorug‘lik kuchi qancha bo‘lishi kerak?

5. Yassi sirtning nuqtaviy manbaga eng yaqin nuqtasidagi yoritilganligi *100 lk* ga teng. Shu sirtga nurning tushish burchaklari $30^0, 45^0, 60^0$ bo‘lgan joylaridagi yoritilganliklar nimaga teng bo‘ladi?

6. *25 kd* va *100 kd* li ikkita lampa bir-biridan *1 m* masofada joylashgan. Fotometrning ikkala tomoni bir xilda yortilishi uchun uni manbalar orasiga qaysi joyga qo‘yish kerak bo‘ladi?

7. *100 kd* yorug‘lik kuchig ega bo‘lgan lampochka bilan yuzasi $300 cm^2$ bo‘lgan qog‘oz varag‘i yoritiladi? Unga lampochkadan butun yorug‘likning *0,5* foizi tushadi. Shu qog‘iz varag‘ining yoritilganligini toping.

8. Quyoshning to‘g‘ri tushayotgan nurlari 10^5 *lk* yoritilganlik hosil qiladi. Yorug‘lik uuchi *1000 kd* bo‘lgan lampadan qanday masofada xuddi shunday yoritilganlik hosil qilish mumkin?

9. Yorug‘lik nurlari tik tushayotgan sirtning *500 W* quvvatli lampa tomonidan yortilganligi *28 lk* ga teng. Lampa bilan sirt orasidagi masofa *5 m*. Lampaning yorug‘lik berishini (*lm/Vt*) larda toping.

10. Bir ishni bajarish uchun stolning yoritilganligi *10 lk* bo‘lishi kerak. Yorug‘lik kuchi *100 kd* bo‘lgan lampani stol markazidan qanday balandlikka o‘rnatish kerak bo‘ladi?

11. Normal tushayotgan Quyosh nuridan Yer sirtining yoritilganligini aniqlang. Quyoshning ravshanligi $1{,}2 \cdot 10^9$ *nt*.

12. O’rta asrlarda tunda dengiz kemalarini yoritish uchun machtaga fonuslar osilgan. Agar yorug‘lik kuchi *200 kd* bo‘lgan fonus *5 m* balandlikdagi machtaga osilgan bo‘lsa, machta asosidan qanday masofada gorizontal sirtning yoritilganligi *2 lk* ga teng bo‘ladi?

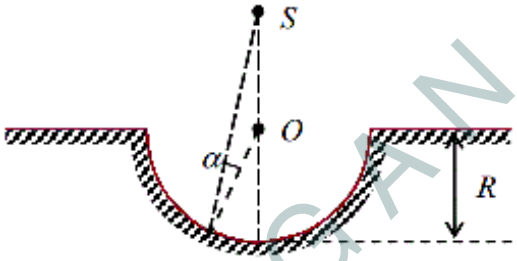
13. Yuzasi *9* m^2 bo‘lgan kvadrat shaklidagi stolni shunday yoritish kerakki, bunda stol burchaklaridagi yoritilganlik maksimal bo‘lsin. Chiroqni stol markazidan qanday balandlikka osish kerak?

14. Yoritish chirog‘i yoritiladigan maydoncha ustida *15 m* balandlikda o‘rnatilgan. Maydonchaning biror nuqtasida gorizontal yuzachaning yoritilganligi *1 lk* ga, vertikal yuzachaning yoritilganligi esa *2 lk* ga teng. Chiroqning bu naqta yo‘nalishidagi yorug‘lik kuchi nimaga teng?

SINOV UCHUN BERILGAN

15. Balandligi *3m* bo‘lgan xonaning shivti ko‘zgudan iborat. Poldan *2,5 m* balandlikda yorug‘lik kuchi *200 kd* bo‘lgan kichik o‘lchamdagi chiroq osilgan (chiroqni nuqtaviy deb oling). Lampaning tagidagi polning yoritilganligini aniqlang.

16. Yarimsfera ustida yarimsfera diametriga teng balandlikda yorug‘lik kuchi *50 kd* bo‘lgan nuqtaviy manba joylashgan. Yarimsferaning yorug‘lik nurlari 35^0 burchak ostida tushadigan nuqtasidagi yoritilganlikni aniqlang. Yarimsfera radiusi *1 m* ga teng.



17. Shiftga osilgan lampa gorizontal yo‘nalishda *60 kd* yorug‘lik kuchi beradi. Agar lampadan *2 m* masofada devorda katta ko‘zgu osilgan bo‘lsa, u holda lampadan *2 m* masofada joylashgan qarama-qarshi devorda osilgan yuzasi *0,5* m^2 bo‘lgan tasvirga qanday yorug‘lik oqimi beriladi?

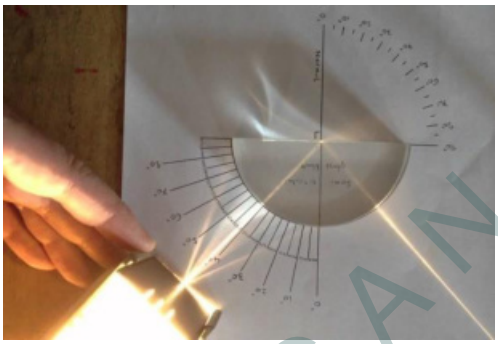
18. Suv sirtidan *H* chuqurlikda yorug‘lik kuchi *I* ga teng bo‘lgan nuqtaviy manba joylashgan. Bu manba bilan bitta vertikalda suv sirtidan *H* balandlikda ekran joylashgan. Suvning nur sindirish ko‘rsatkichi *n* ga teng. Yorug‘lik nurlarining suvda yutilishini e’tiborga olmasdan, ekrandagi yoritilganlikni aniqlang.

19. Stanoklarda ishlash joylarida yoritilganlik *20 lk* bo‘lishi va simmetrik holda joylashgan ikkita lampa bilan yoritilish talab etiladi. Lampalar stanokdan *1,5 m* balandlikda osilgan va ular orasidagi masofa *2 m* ga teng. Har bir lampaning yorug‘lik kuchi qanday bo‘lishi kerak?

20. Kunduzgi yoritish lyuminessent lampasi uzunligi *420 mm* va diametri *22 mm* bo‘lgan slindrik shaklga ega. Lampaning slindr o‘qiga perpendikulyar yo‘nalishdagi yorug‘lik kuchi *65 kd* ga teng. Lampaning ravshanligini aniqlang.

SINOV UCHUN BERILGAN

II BOB. GEOMETRIK OPTIKA



Geometrik optika yorug‘likning qaytish va sinish qonunlari, optik asboblar, ko‘z va uning nuqsonlar va boshqalarni o‘rganuvchi fizikaning bir bo‘limidir. Geometrik optikada yorug‘lik nurini yorug‘lik energiyasi tarqalayotgan to‘g‘ri chiziq deb hisoblab, uning ichki xususiyatlariga e’tibor berilmaydi. To‘siq va tirqishlarga duch kelganda yorug‘lik nuri o‘z yo‘nalishini o‘zgartirmaydi, geometrik soya tomonga og‘maydi deb hisoblanadi.

Geometrik optikada asosan 4ta qonunga tayanib ish ko‘riladi:

1. Yorug‘lik nurlarining to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqalish qonuni;
2. Yorug‘lik nurlarining mustaqillik qonuni;
3. Yorug‘likning qaytish qonuni;
4. Yorug‘likning sinish qonuni.

Shulardan masalalar yechishda yorug‘likning qaytish va sinish qonunlariga ko‘p duch kelamiz.

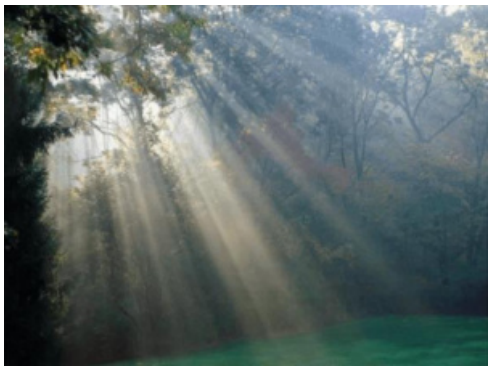
§ 3. GEOMETRIK OPTIKA QONUNLARI. YORUG‘LIKNING QAYTISH QONUNI. YASSI KO‘ZGU VA UNDA TASVIR YASASH.

Yorug‘likning to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqalish qonuni:

Ma’lumki, ikki nuqta orasidagi eng yaqin masofa to‘g‘ri chiziqning bir qismidir. Nur – bu bir nuqtadan chiqib cheksizlikka ketgan to‘g‘ri chiziqdir (bular geometriya fanidan ma’lum). Yorug‘lik nuri esa – bu yorug‘lik manbasidan yorug‘lik energiyasi tarqalish yo‘nalishidagi chiziqdir (3.1-rasm). Boshqacha aytganda, yorug‘lik nuri boshi bor oxiri bo‘lmagan to‘g‘ri chiziqdir.



3.1-rasm



3.2-rasm

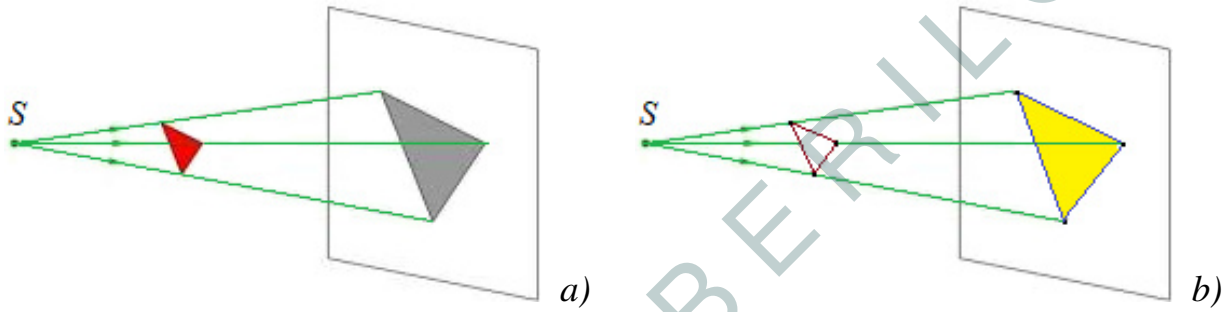
Bir jinsli muhitda yorug‘lik to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqaladi.

Bir jinsli muhit deganda optik xususiyatlari barcha nuqlalarda aynan bir xil bo‘lgan muhitni tushunamiz. Bu qonun eramizdan oldingi III asrda yashab ijod etgan yunon faylasufi Yevklidning optikaga oid asarlarida uchraydi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Yorug‘likning to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqalish qonunini tajribada puxta aniqlangan qonun deb hisoblash mumkin. Bu qonun juda chuqur ma’noga ega bo‘lib, to‘g‘ri chiziq tushunchasining o‘zi qadimdan optik kuzatishlardan kelib chiqqan tushunchadir. Endi bir necha tabiat hodisalari va misollarni yorug‘likning to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqalish qonuni asosida tushuntirishga harakat qilamiz.

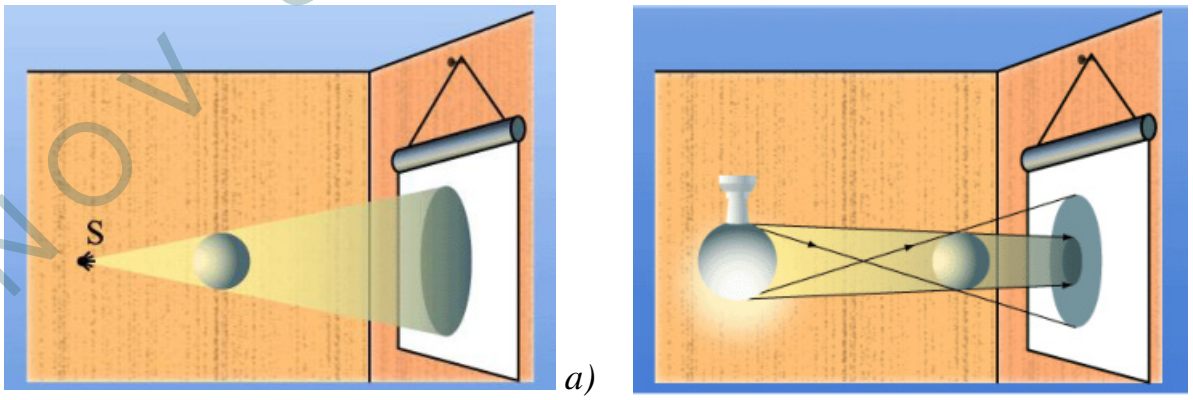
O‘rmonda tuman tarqalayotgan vaqtda quyosh nurlarining to‘g‘ri chiziqlar bo‘yicha daraxt shoxlari orasidan o‘tib yerga tushayotganini aniq kuzatish mumkin (3.2-rasm). Nuqtaviy manbalar hosil qilgan keskin soyalar ustida o‘tkazilgan kuzatishlar yoki teshiklar hosil qilgan tasvirlar yorug‘likning aynan to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqalishi natijasi ekanini tasdiqlaydi (3.3-rasm).



a) *b)*

3.3-rasm

Agar yorug‘lik manbasi nuqtaviy bo‘lsa, u holda buyumlarning ekrandagi soyasi aniq qop-qora tusda bo‘ladi (3.4-a,rasm). Agar yorug‘lik manbasi nuqtaviy bo‘lmasdan ahamiyatli darajada biror o‘lchamga ega bo‘lsa, u holda buyumlarning ekrandagi qop-qora tusdagi aniq soyasidan tashqari qoramtir (yoki qo‘ng‘ir rang) tusdagi yarimsoyasi ham paydo bo‘ladi (3.4-b,rasm). Bu yarimsoyadagi qoramtir tusning o‘zi ham bir xil bo‘lmasdan, soyadan uzoqlashgan sari qop-qoradan och qoraga o‘zgarib boradi. Yarimsoya hosil bo‘lishining sababi bo sohaga manbadan chiqqan nurlarning barchasi tushmasdan, balki biror qismi tushishidir.

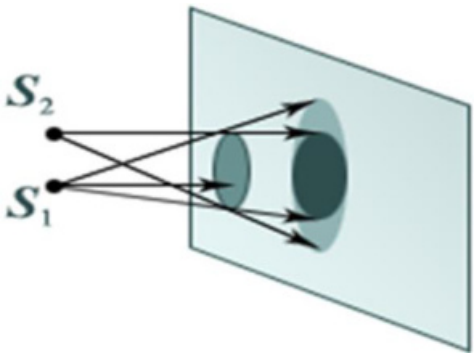


a) *b)*

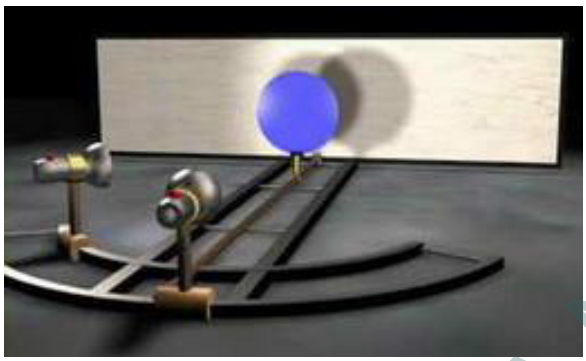
3.4-rasm

Soya va yarimsoyani ikkita yorug‘lik manbasi orqali ham hosil qilish mumkin (3.5-a,rasm). Bunda soya va yarimsoya zonalari qat’iy o‘zgarmas bo‘ladi. Agar ularni dinamik o‘zgarish jarayonini kuzatmoqchi bo‘lsak, u holda yorug‘lik manbalariini 3.5-b,rasmdagi kabi siljitish imkoni talab etiladi.

SINOV UCHUN BERILGAN



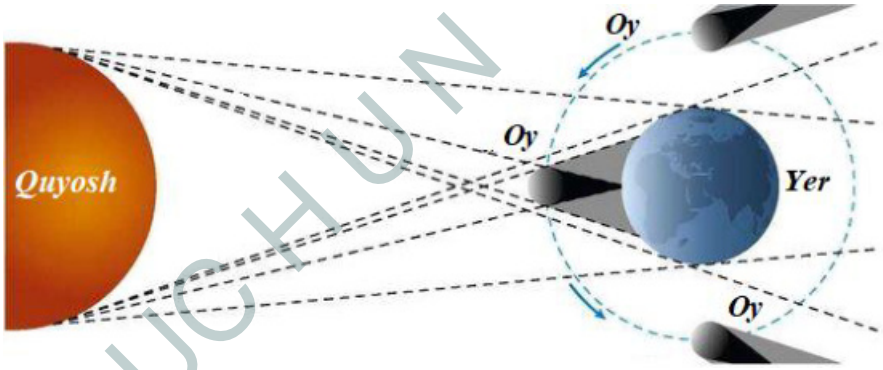
a)



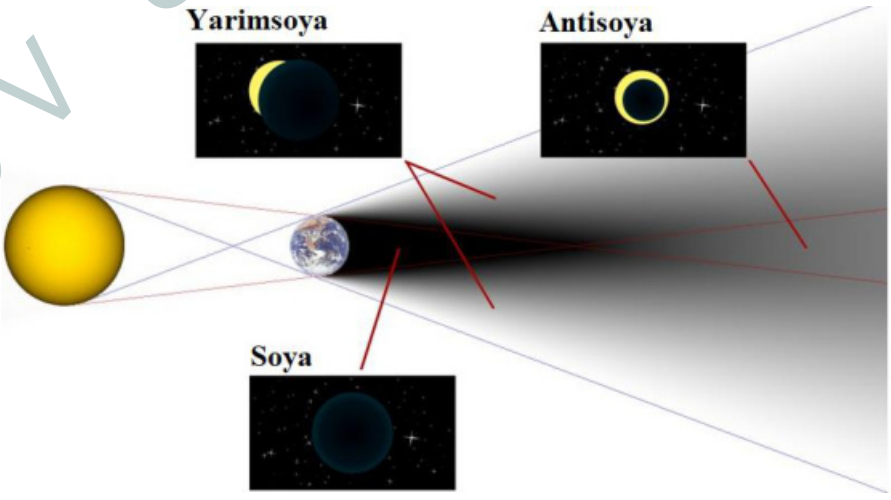
b)

3.5-rasm

Yorug‘lik nurlarining to‘g‘ri chiziq bo‘yicha tarqalish qonunini osmon jismlari va osmon yoritkichlari bilan sodir bo‘ladigan tabiat hodisalarda ham uchratish mumkin. Masalan, Quyosh va Oy tutulishi hodisalarini ham ana shu qonun asosida tushuntirish mumkin. 3.6-a,rasmda Oyning orqa tomonidagi soya va yarimsoya zonalari tasvirlangan bo‘lib, bundan Quyoshning qaysi joylarda to‘la tutilishi va qaysi joylarda qisman tutilishini aytib berish mumkin bo‘ladi. 3.6-b,rasmda esa Yerning orqa tomonidagi soya, yarimsoya va antisoya zonalari tasvirlangan bo‘lib, bulardan qaysi zonalarda Quyoshni umuman ko‘rmaslik, qisman ko‘rishlik va to‘la holda ko‘rishlik haqida ma’lumot olish mumkin.



a)



b)

3.6-rasm

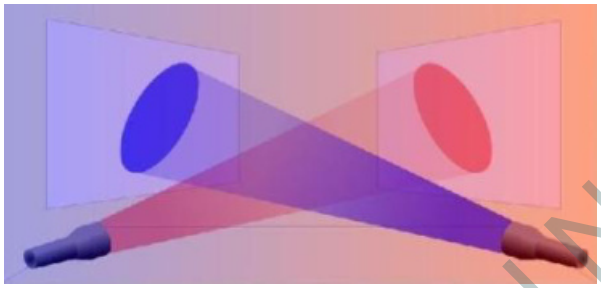
Yorug‘likning to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqalish qonuniga yana ko‘plab misollar keltirish mumkin, bu qonun asosida ko‘plab geometrik va astronomik masalalarni

SINOV UCHUN BERILGAN

ham hal etish mumkin. Lekin, bu qonun bilan hal etib bo‘lmaydigan masalalar ham bor. Masalan, yorug‘lik nuri ancha kichik yoki tirqishlarga ($\ell < 15–20\ \mu m$) duch kelganda nurning geometrik soyadan chetlanishlari sezila boshlaydi. Bu hodisa difraksiya deb ataladi. Undan tashqari yorug‘lik nurlari bir jinsli bo‘lmagan shaffof muhitda egri chiziq bo‘ylab tarqaladi. Masalan, Quyosh nurlari atmosferaga kirib kelganda refraksiya hodisasiga uchrashi bunga misol bo‘ladi. Biz difraksiya va refraksiya hodisalari haqda to‘lqin optikasida batafsil tanishamiz.

Yorug‘lik nurlarining mustaqillik qonuni:

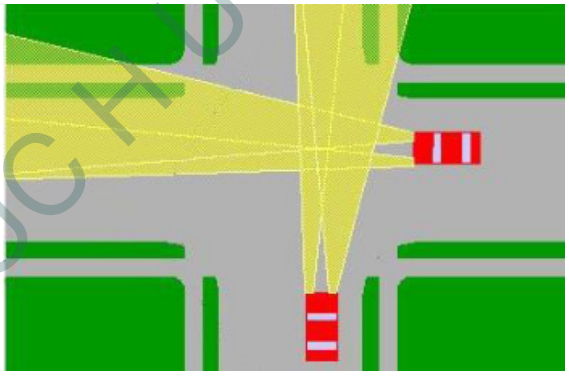
Kesishuvchi to‘g‘ri chiziqlar bo‘ylab harakatlanayotgan jismlar (masalan, billyard toshlari) to‘qnashib, o‘z harakat yo‘nalishlarini o‘zgartirishini (sochilishini) mexanikadan yaxshi bilamiz. Yorug‘lik nurlari ham kesishganda ular sochiladimi degan savol tug‘ilishi tabiiydir. Ko‘plab o‘tkazilagan tajribalar yorug‘lik nurlarida bunday sochilish hodisasi ro‘y bermasligini tasdiqlaydi. Mana shu tajribalardan ba’zilarini misol tariqasida keltiraylik.



a)



b)



c)

3.7-rasm

3.7-a,rasmdagi tajriba yordamida turli xil monoxromatik nurlar chiqaruvchi fonarlar hosil qilgan nurlar kesishtirilganda ekrandagi ranglar o‘zgarmasligiga guvoh bo‘lish mumkin. Lampalarni galma-gam o‘chirilganda ham hech qanday o‘zgarish sodir bo‘lmaydi. Demak, bir yorug‘lik dastasi boshqa yorug‘lik dastasiga zalaqit bermas ekan. Bu fikrga 3.8-b,rasmdagi manzaradan ham ishonish mumkin. Chiroqlar aylantirilganda ular hosil qilgan yorug‘lik dastalari turlicha aralash holda keshishadi, lekin hech qanaqa sochilish kuzatilmaydi. Shularga o‘xshash holat 3.7-c,rasmda ham tasvirlangan. Tunda chorrahaga yaqinlashayotgan mashinalar faralaridan chiqqan nurlar kesishadi, ammo ular sochilmaydi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Yuqoridagi aytilgan fikrlar yorug‘lik nurlarining mustaqillik qonunini tasdiqlaydi.

Yorug‘lik nurlari kesishgandaular dastlabki yo‘nalishdan og‘maydilar, hech qanday sochilish ro‘y bermaydi.

Yorug‘lik nurining mustaqillik qonuni odatdagi intensivlikdagi (masalan, Quyosh nurlari va xona chiroqlari hosil qilgan yorug‘lik intensivliklari) uchun mutlaqo to‘g‘ridir. Ammo, o‘ta yuqori intensivlikdagi (masalan, odatdagidan millionlab, milliardlab marta katta intensivlikdagi lazer nurlarida) yorug‘lik nurlari uchun bu qonun uncha to‘g‘ri bo‘lmay qoladi. Bunday hollarda yorug‘lik dastalari kesishganda nurlarning qisman sochilishi kuzatiladi. Lekin biz bunday yorug‘lik nurlari bilan ishlamaymiz.

Yorug‘likning qaytish qonuni:

Basketbol o‘ynaganda koptokni yerga qanday burchak ostida ursa, koptok erdan shunday burchak ostida qaytadi hamda koptokning tushish va qaytish traektoriyalari bitta tekislikda yotadi. Impulsning saqlanish qonuniga ko‘ra ham xuddi shunday bo‘lish kerak edi. Xuddi shu singari, yorug‘lik nuri biror yaltiroq sirtga kelib tushganda ham shunga o‘xshash hodisa yuz beradi. Buni yorug‘likning sinish qonuni deb yuritiladi.

Sirtga tushayotgan nur, tushish nuqtasiga o‘tkazilgan normal va sirtdan qaytgan nur bir tekislikda yotadi. Tushish burchagi qaytish burchagiga teng (3.8-rasm).

$$\alpha = \gamma \qquad (3.1)$$

Yorug‘likning qaytish qonunini tushuntirtish uchun xarakterli nurlar va burchaklarni belgilab olish zarur bo‘ladi (3.8-asm).

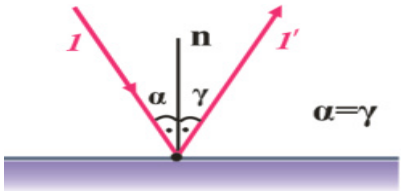
1–tushgan nur;

2–qaytgan nur;

n–tushish nuqtasiga o‘tkazilgan normal;

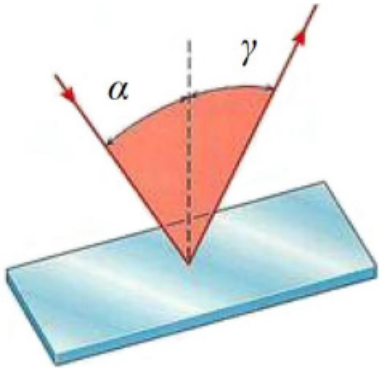
α–tushish burchagi;

γ– qatish burchagi

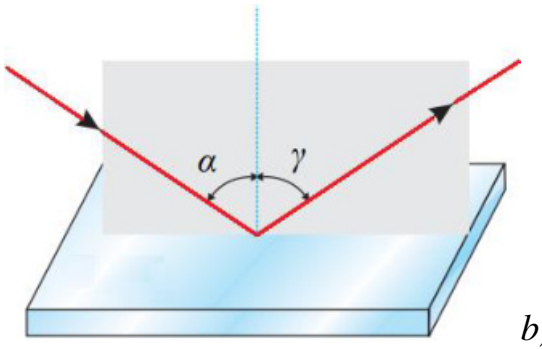


3.8-rasm

3.9-rasmda yorug‘likning qaytish qonunining fazoviy tasviri keltirilgan.



a)



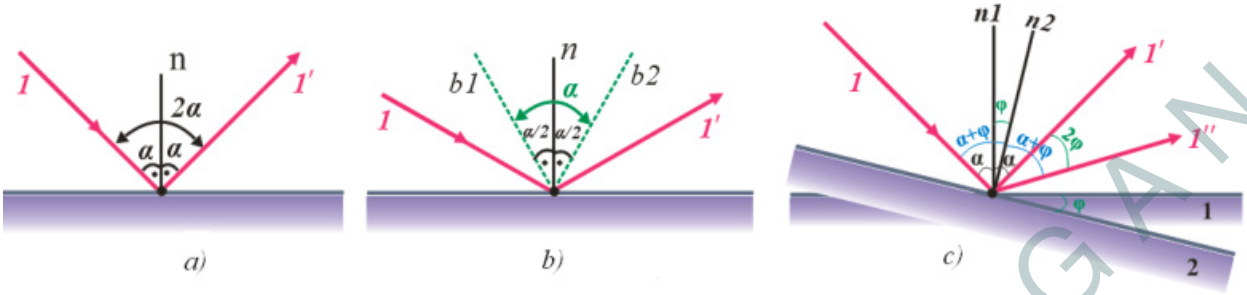
b)

3.9-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Ko‘zguga tushgan nur *1* va ko‘zgudan qaytgan nur *1′* orasidagi burchak har doim $\varphi=2\alpha$ ga teng bo‘ladi (3.10-a,rasm).

Ko‘zguga tushgan nur *1* va ko‘zgudan qaytgan nur *1′* bissektrisalari orasidagi burchak har doim α ga teng bo‘ladi (3.10-b,rasm).



3.10-rasm

Agar ko‘zguni biror φ burchakka burilsa, ko‘zgudan qaytgan nur esa 2φ burchakka buriladi (3.10-c,rasm).

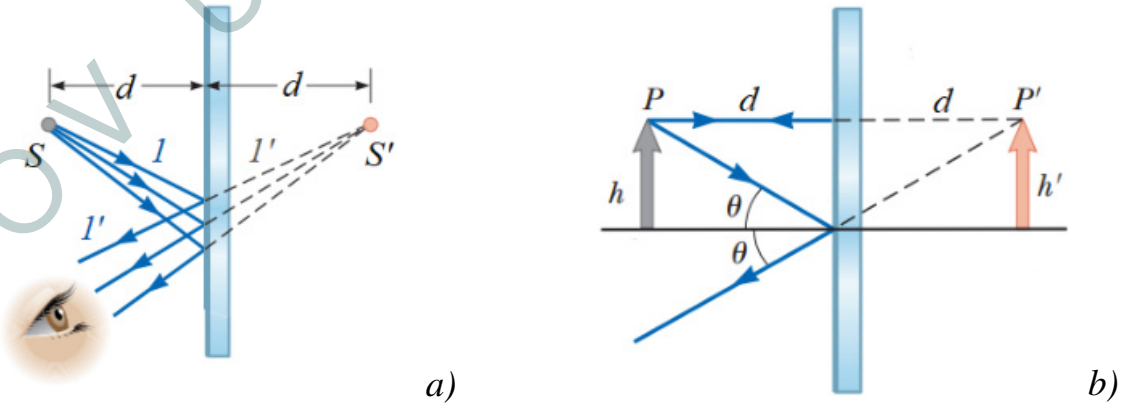
Agar ko‘zguni ω burchak tezlik bilan aylantira boshlansa, ko‘zgudan qaytgan nur esa 2ω burchak tezlik bilan burila boshlaydi.

Yassi ko‘zgu va unda tasvir yasash:

Yassi ko‘zgu sirti yaltiroq bo‘lgani sababli o‘zining sirtiga tushayotgan nurni qaytarish xususiyatiga ega. Yorug‘likning qaytish qonuniga asosan, yorug‘lik ko‘zgu sirtiga qanday burchak ostida tushsa, shunday burchak ostida qaytadi. Ko‘zguga qaraganda o‘zimizning va boshqa narsalarning aksini ko‘ramiz (3.11-rasm). Xo‘sh, ko‘zguda tasvir qanday yasaladi?



3.11-rasm



3.12-rasm

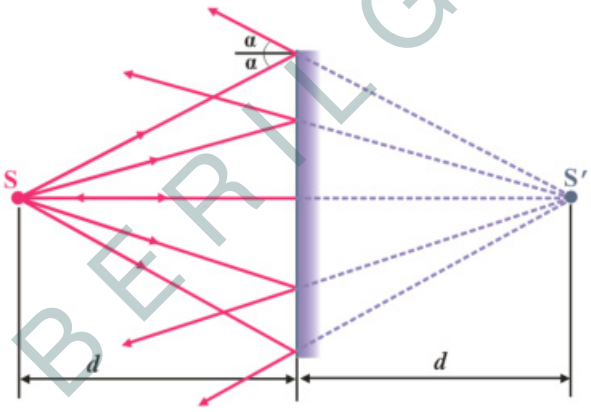
3.12-a,rasmdan ko‘rinib turibdiki, *S* manbadan chiqqan chiqqan nurlar ko‘zgudan qaytib, kuzatuvchi ko‘ziga *1′* nur bo‘lib tushyapti. Lekin, kuzatuvchi *1′* nurni xuddi *S′* manbadan kelayotgandek qilib ko‘radi. Ko‘zgu sirtidan qaytgan barcha nurlarning teskari davomlari bitta *S′* nuqtada kesishadi. *S′* nuqtada *S* manbaning tasviri bo‘lib, uni mavhum manba deyiladi. 3.12-b,rasmda esa biror *h*

SINOV UCHUN BERILGAN

o‘lchamga ega bo‘lgan buyumning yassi ko‘zguda tasviri hosil qilingan. Bunda P nuqtadan chiquvchi 2 ta xarakterli nurlar tanlab olingan va ularni teskari davomlari P′ nuqtada kesishtirilgan.

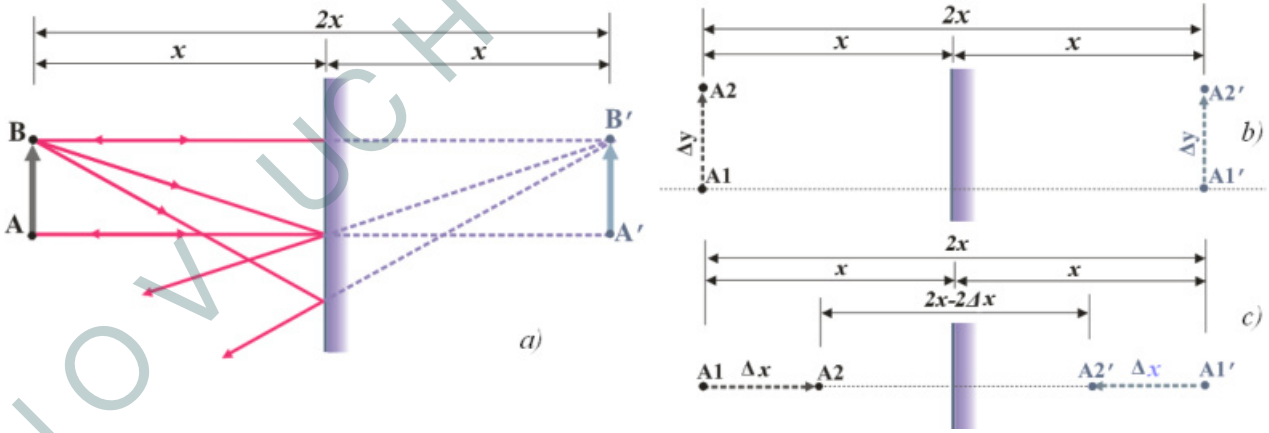
S manba ko‘zgu sirtidan *d* masofada bo‘lsa, uning tasviri *S′* nuqta ko‘zgu ichida shuncha *d* masofada hosil bo‘ladi. Bu yerda kuzatuvchi tasvirni ko‘zgu orqasida *d* masofada ko‘ryapti (3.13-rasm). Chunki, S manbadan chiqib, kozgu sirtidan qaytgan nurlarning teskari davomi aynan S′ nuqtada kesishadi. Ko‘zgu sirtidan qaytgan nurlarni ko‘rgan kuzatuvchi xuddi ularni S′ nuqtadan kelayotgandek qilib ko‘radi.

Agar *A* nuqtadagi buyum va ko‘zgu *K* orasidagi masofa *x* bo‘lsa, u holda tasvir *A′* nuqtada hosil bo‘ladigan tasvir va ko‘zgu orasidagi masofa ham *x* bo‘ladi. Buyum va uning tasviri orasidagi masofa esa $AA' = 2x$ bo‘ladi (3.14-a,rasm).



3.13-rasm

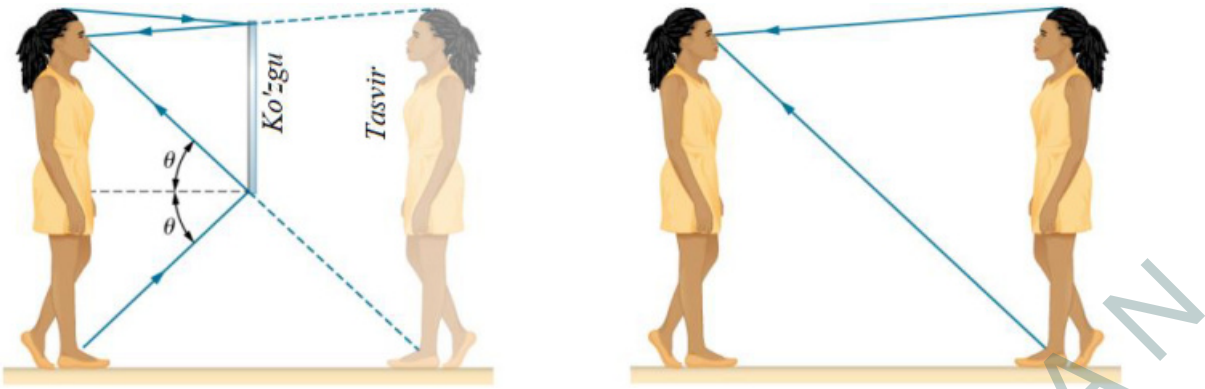
Agar buyum A_1 nuqtadan ko‘zguga Δx masofaga yaqinlashib A_2 nuqtaga kelsa, u holda tasvir ko‘zgu ichida A_1' nuqtadan Δx masofaga yaqinlashib A_2' nuqtaga keladi. Buyum va uning tasviri orasidagi masofa esa $A_1A_1' - A_2A_2' = 2\Delta x$ ga qisqaradi (3.14-b,rasm).



3.14-rasm

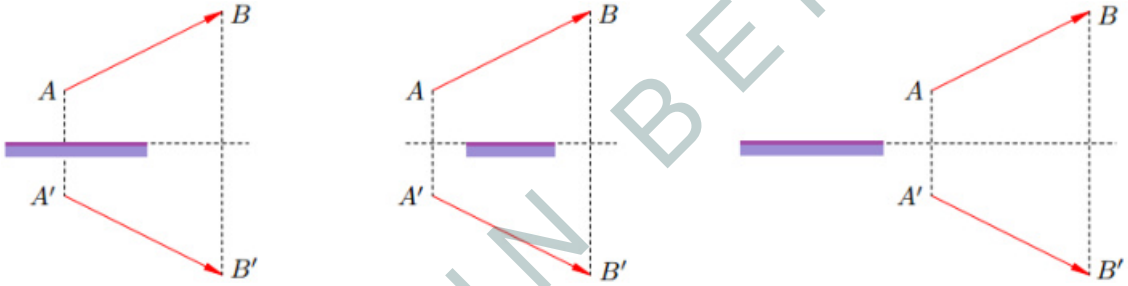
Agar buyum A_1 nuqtadan ko‘zguga parallel holda Δy masofaga siljib A_2 nuqtaga kelsa, u holda tasvir ko‘zgu ichida A_1' nuqtadan ko‘zguga parallel holda Δy msofaga siljib A_2' nuqtaga keladi. Buyum va uning tasviri orasidagi masofa esa avvalgicha qolaveradi (3.14-c,rasm).

SINOVUCHUN BERILGAN



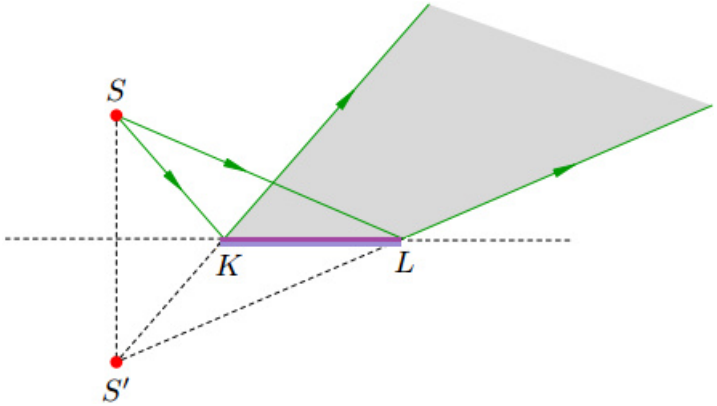
3.15-rasm

Odam o‘zining butun gavdasini ko‘zguda ko‘rishi uchun ko‘zguning balandligi odam balandligining kamida yarmiga teng bo‘lishi kerak (3.15-rasm). Buni yorug‘likning qaytish qonuni yoki uchberchaklar o‘xshashligidan isbotlash mumkin. Odamning ko‘zguda o‘z tasvirini ko‘rish – bu ko‘zguni olib tashlab, tasvir o‘rniga egizagini qo‘yish bilan ayni bir narsadir.



3.16-rasm

Ko‘zguning o‘lchami tasvir hosil bo‘lishiga bog‘liqmi degan savol tug‘iladi. Bu savolga bog‘liq emas deb javob beraoladi. 3.16-rasmda ko‘rsatilgani kabi *AB* buyum ko‘zguga nisbatan qanday joylashishidan qat’iy nazar baribir uning *A′B′* tasviri hosil bo‘lar ekan. Chunki, A yoki B nuqtadan yoki AB kesmaning ixtiyoriy nuqtasini yorug‘lik manbasi deb tasavvur qilsak, bu manbadan baribir ko‘zguga tushuvchi nurlar mavjud bo‘ladi.



3.17-rasm

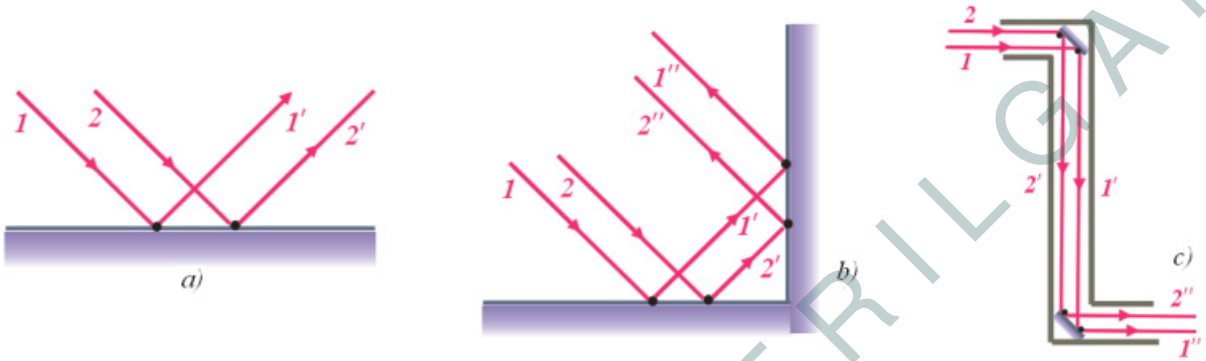
S yorug‘lik manbasining ko‘zgudagi tasvirini qaysi joylardan turib kuzatish imkoni bo‘ladi degan savol tug‘iladi. Agar yassi ko‘zgu cheksiz uzun bo‘lsa, u holda *S′* tasvirni 3.17-rasmdagi gorizontal o‘qdan tepada ixtiyoriy nuqtadan

SINOV UCHUN BERILGAN

kuzatish imkoni bo‘ladi. Agar ko‘zguning o‘lchami 3.17- rasmdagi kabi chekli bo‘lsa, u holda S' asvirni faqat rasmdagi bo‘yab ko‘rsatilgan sohadan kuzatish imkon bo‘ladi.

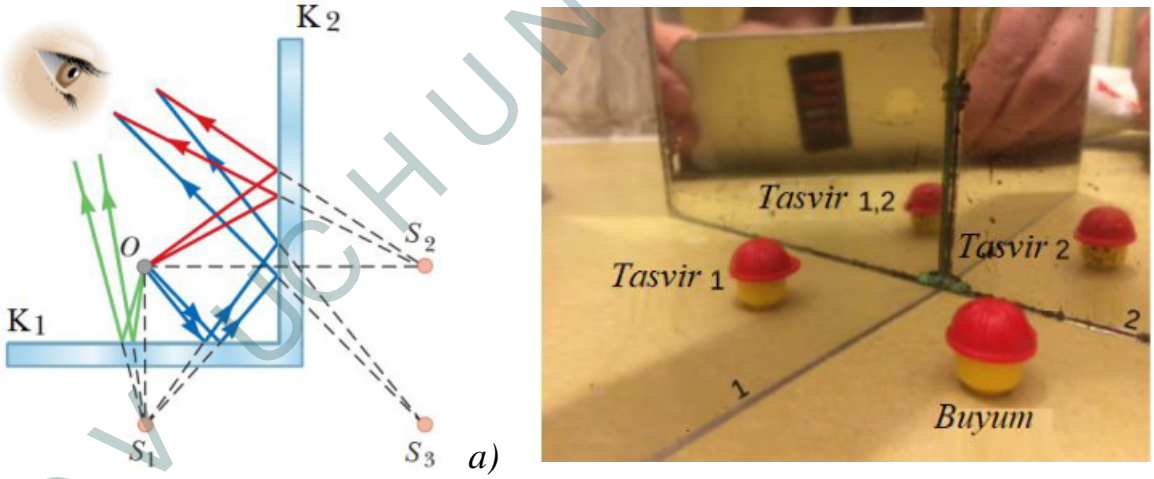
Nurning yassi ko‘zgulardagi yo‘li:

Yorug‘likning qaytish qonunidan texnika va turmushda ko‘p foydalaniladi. Har qanday holatda ham tushgan nur va qaytgan nurning bissektrisasi ko‘zguning normalini beradi, normal esa ko‘zguga perpendikulyar bo‘ladi.



3.18-rasm

3.18-rasmda ikkita parallel 1 va 2 nurlarning yassi ko‘zgudagi, to‘g‘ri burchakli ko‘zgudagi va periskopdagi yo‘llari tasvirlangan. Rasmdan ko‘rinib turibdiki, nurlar har safar ko‘zgudan qaytganda nurlar o‘rni almashar ekan.



a) *b)*

3.19-rasm

Agar odam o‘zaro 90^0 burchak hosil qilib joylashtirilgan ikkita ko‘zguda biror jismning tasvirini ko‘r moqchi bo‘lsa, bunda 3.19-a,rasmdagi kabi yasashlardan tasvirtlar hosil qilinadi. Bunda ko‘zgulardan qaytgan nurlarni teskari davom ettirish orqalitasvirlar o‘rni aniqlanadi. Demak, bu holda 3 ta tasvir hosil bo‘lar ekan. 3.19-b,rasmda esa xuddi shu holatning tajribada olingan rasmi tasvirlangan.

Yorug‘liknng qaytish qonunining sababini tushuntirish:

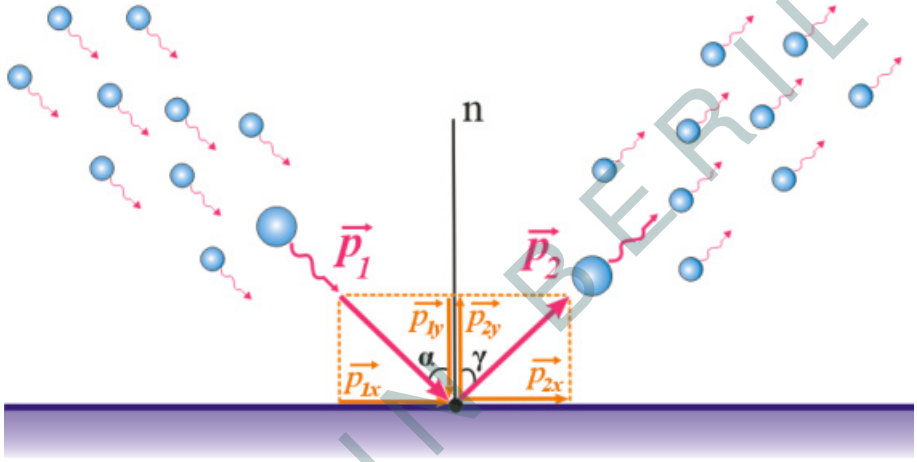
Yorug‘likning qaytish qonunini ikki xil usulda isbot qilish mumkin. Birinchi usul – bu impulsning saqlanish qonuni bo‘lib, bunda yorug‘likni xuddi Nyuton aytganidek korpuskulalar (zarralar) oqimi deb qaraymiz. Har bir zarra o‘z harakat yo‘nalishida $\vec{p}$ impuls vektoriga ega (lekin, yorug‘likning korpuskulyar – kvant

SINOV UCHUN BERILGAN

tabiati haqida IV bobda batafsil tanishamiz). Yorug‘lik dastasi sirtga biror α burchak ostida tushib sirtdan γ $(\gamma \neq \alpha)$ burchak ostida qaytayotgan bo‘lsin (3.20-rasm). Korpuskulalar ichidan bittasini ajratib olaylik. Uning impuls vektori sirtga urilish oldida $\dot{p}_1$ ga, urilgandan keyin esa $\dot{p}_2$ ga teng bo‘lsin. Bu impuls vektorlarining koordinata o‘qlariga proyeksiyalari esa p_{1x}, p_{1y} hamda p_{2x}, p_{2y} lar bo‘lsin. Impulsning saqlanish qonuniga ko‘ra impulsning ixtiyoriy o‘qdagi proyeksiyasi ham saqlanuvchi kattalikdir. Unga ko‘ra

$$p_{1x} = p_{2x}, \qquad p_{1y} = p_{2y}$$

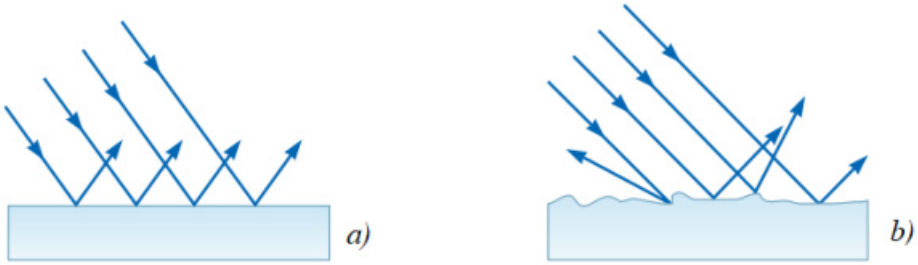
bo‘ladi. Endi tushish va qaytish burchaklarining tangenslaridan foydalansak, yorug‘lik-ning qaytish qonuni kelib chiqadi.



3.20-rasm

$$tg\alpha = \frac{p_{1x}}{p_{1y}} = \frac{p_{2x}}{p_{2y}} = tg\beta, \quad \rightarrow \qquad \alpha = \beta$$

Shunday qilib, tushish burchagi qaytish burchagiga teng ekan. Bunga 3.21-rasmda ko‘rib ham ishonch hosil qilish mumkin. 3.21-a,rasmda yassi sirtga biror burchak ostida kelib tushuvchi parallel nurlar dastasi xuddi shunday burchak ostida qaytishi va qaytgan nurlar ham paralleligini yo‘qotmasligi tasvirlangan. 3.21-b,rasmda esa xuddi shu parallel nurlar dastasi g‘adir-budur sirtga tushganda esa qaytgan nurlar har tarafga sochilib ketgaligi tasvirlangan. Mana shu yorug‘lik dastasi o‘rnida kichkina sharchalar oqimi bo‘lganda ham 3.21-rasmdagi holat takrorlangan bo‘lar edi.



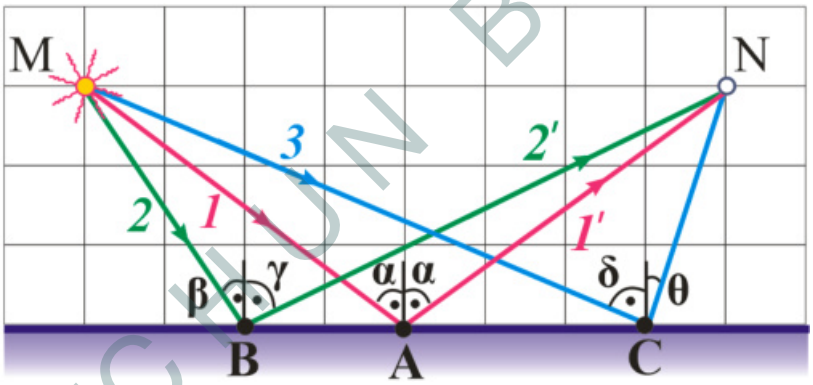
3.21-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Endi orug‘likning qaytish qonunini ikkinchi usulda isbot qilaylik. Bu usulni *eng kichik ta’sir prinsipi* deb yuritiladi.

Yorug‘lik bir nuqtadan boshqa bir nuqtaga eng kichik, ya’ni minimal optik yo‘l bilan boradi. Yorug‘lik nuri o‘tadigan yo‘ldan boshqa har qanday trayektoriyada optik yo‘l uzyib ketadi.

Bo‘shliqda yorug‘lik nuri bir nuqtadan boshqa nuqtaga faqat to‘g‘ri chiziq bo‘ylab borishini yaxshi bilamiz. Bu nuqtalar orasidagi eng yaqin masofa shu nuqtalarni tutashtiruvchi kesma uzunligidir. Yorug‘lik bir nuqtadan boshqa bir nuqtaga biror sirtdan qaytish orqali borayotgan bo‘lsa ham shu prinsip saqlanib qoladi. Boshqacha aytganda, yorug‘lik nuri sirtga tushguncha ham sirtdan qaytgandan keyin ham tog‘ri chiziq bo‘ylab tarqaladi. Ammo bunday trayektoriyalar soni cheksiz ko‘p. 3.22-rasmda cheksiz ko‘p trayektoriyalardan misol tariqasida uchta trayektoriya – MAN, MBN va MCN trayektoriyalari tasvirlangan. Mana shu trayektoriyalar ichida qaysi trayektoriya uzunligi eng qisqa ekanligini ko‘rsatib berishimiz kerak. Kataklarni tomoni 1m bo‘lgan kvadrat deb olamiz.



3.22-rasm

$$\ell_1 = MA + AN = \sqrt{3^2+4^2} + \sqrt{4^2+3^2} = 5+5 = 10\ m$$

$$\ell_2 = MB + BN = \sqrt{3^2+2^2} + \sqrt{6^2+3^2} = \sqrt{13} + 3\sqrt{5} \approx 10{,}314\ m$$

$$\ell_3 = MC + CN = \sqrt{3^2+7^2} + \sqrt{1^2+3^2} = \sqrt{58} + \sqrt{10} \approx 10{,}778\ m$$

Shunday qilib, tanlangan uchta trayektoriya uzunliklari ichidan eng qisqasi $MA=AN$ bo‘lgan, ya’ni $\alpha=\beta$ bo‘lgan trayektoriya ekan. Bundan boshqa trayektoriyalar tanlangan taqdirda ham baribir 10 metrdan uzunroq chigan bo‘lar edi.

Mavzu yuzasidan savollar

1. *Yorug‘likning to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqalish qonunini aytib bering va uni hayotiy misollar bilan tushuntiring.*
2. *Yorug‘lik nurlarining mustaqillik qonunini aytib bering va uni hayotiy misollar bilan tushuntiring.*
3. *Tusish burchagi va qaytish burchagini chizmada ko‘rsatib bering.*

SINOV UCHUN BERILGAN

4. *Yorug‘likning qaytish qonunini aytib bering.*
5. *Yassi ko‘zguda tasvir qanday yasaladi? Nuqta va qalamning yassi ko‘zgudagi tasvirini yasab bering.*
6. *Buyum va tasvir orasidagi masofa nimaga teng?*
7. *Yassi ko‘zguga buyum yaqinlashganda, uzoqlashganda, ko‘zguga parallel holda siljiganda va ko‘zguni burganda qanday hodisalar ro‘y beradi?*
8. *Parallel nurlarning yassi ko‘zgudagi, biror burchak ostida joylashgan ikkita yassi ko‘zgudagi yo‘llarini chizib bering.*
9. *Yorug‘likning qaytish qonunini yorug‘likni zarralar oqimi deb olib, impulsning saqlanish qonuni bo‘yicha tushguntiring.*
10. *Yorug‘likning qaytish qonunini eng kichik ta’sir prinsipi bo‘yicha tushguntiring.*

Masala yechish:

1. *Yassi ko‘zgu o‘z tekisligiga tik ravishda 1,5 cm/s tezlik bilan Yorug‘lik manbai tomon harakatlanmoqda. Ko‘zgudagi tasviri qo‘zg‘almas bo‘lishi uchun Yorug‘lik manbai necha sm/s tezlik bilan va qaysi tomonga harakatlanishi kerak?*

A) 1,5 ; ko‘zgudan B) 3; ko‘zguga C) 3; ko‘zgudan D) 1,5; ko‘zguga

Berilgan:	Yechilishi:
$\upsilon_1 = 1{,}5 m/s$ $\upsilon_2 = 1{,}5 m/s$ $\upsilon_n = ?$	*Harakatning nisbiylik prinsipiga binoan qarama-qarshi harakatlanayotgan jismlarning bir-biriga nisbatan tezligi ular tezliklarining yig‘indisiga teng, yani* $\upsilon_n=\upsilon_1+\upsilon_2=3$ *m/s va ko‘zgu harakati yo‘nalishida harakatlanishi lozim.*

Javob: *C) 3, ko‘zgudan.*

2. *O‘zaro 30° burchak ostida joylashtirilgan ikkita ko‘zguning biriga Yorug‘lik nuri tushmoqda. Bunda ikkala ko‘zgudan qaytgan nur bilan tushgan nur orasidagi burchak qanday bo‘ladi?*

Berilgan:	Yechilishi:
$\gamma = 35°$ $\theta = ?$	*Agar nurning 1-ko‘zgu sirtiga tushish buchagini* γ *desak undan qaytish burchagini esa* γ_0*, ikkinchi ko‘zguga tushish burchagi* φ *bo‘lsa undan qaytish burchagi* φ_0 *ga teng Yorug‘likning qaytish qonuniga binoan* $\gamma = \gamma_0$ *va* $\varphi = \varphi_0$ *ekanligi ma’lum. Agar qidirilayotgan burchakni* θ *deb*

belgilasak, unda

$$\theta = 2\gamma + 2\varphi \;\; va \;\; \alpha + 90° - \varphi + 90° - \gamma = 180°$$

tenglamalarni yechib $\theta = 2\alpha$ *ifodani hosil qilamiz.*

$\theta = 2 \cdot 30° = 60°.$

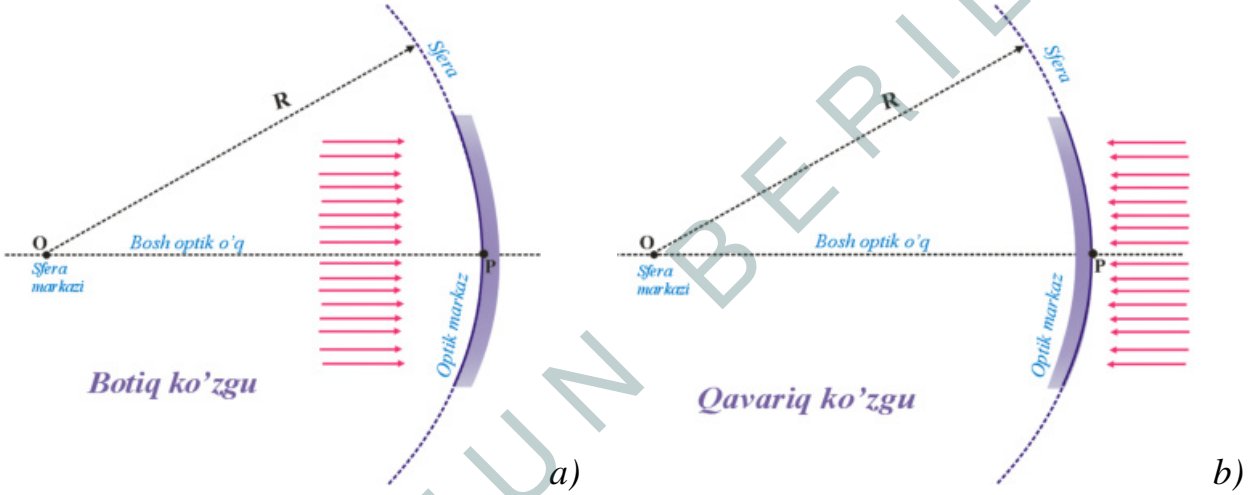
Javob: *60°.*

SINOV UCHUN BERILGAN

§ 4. SFERIK KO‘ZGULAR HAQIDA TUSHUNCHA. SFERIK KO‘ZGULARDA TASVIR YASASH. KO‘ZGU FORMULASI. KO‘ZGUNING KATTALASHTIRISHI

Sferik ko‘zgu va uning turlari, nurning sferik ko‘zgudagi yo‘li:

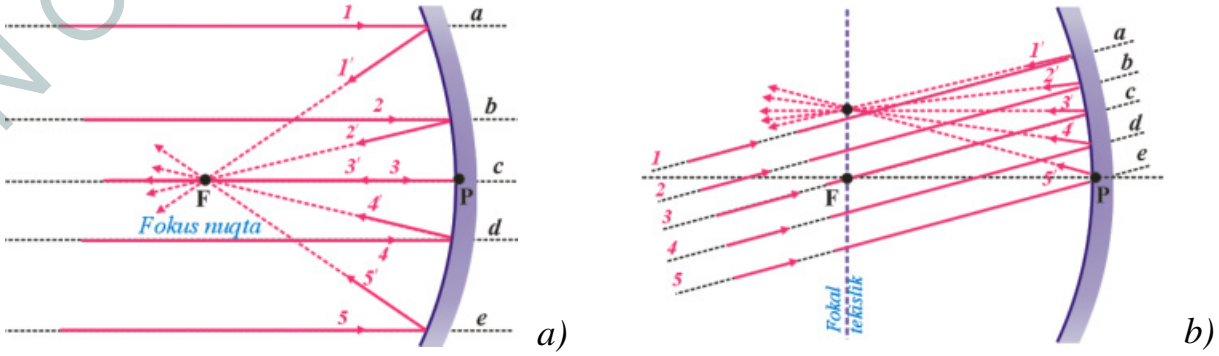
Nur qaytarish xususiyatiga ega bo‘lgan yaltiroq sferik sirtga ***sferik ko‘zgu*** deyiladi. Sferik ko‘zguning botiq va qavariq turlari bor. Amalda sferik ko‘zgular tayyorlashda to‘liq sfera olinmasdan, sferaning ma’lum bir qismi olinadi. Ko‘zguning qavariqlik markazini ***egrilik markazi***, simmetriya o‘qini ***bosh optik o‘q*** deyiladi. Bosh optik o‘q bilan sferik sirt kesishadigan *R* nuqtani esa ***optik markaz*** deyiladi (4.1-rasm).



a) *b)*

4.1-rasm

Agar yorug‘lik nuri sferik sirtning ichki sirtidan qaytsa, bunday ko‘zguga ***botiq ko‘zgu*** deyiladi. Agar botiq ko‘zguning bosh optik o‘qiga parallel holda yorug‘lik nurlari tushirilsa, qaytgan yorug‘lik nurlari yig‘ilish xususiyatiga ega bo‘lib, yig‘ilgan nurlar ***fokus*** deb ataluvchi bitta *F* nuqtada kesishadi (4.2-a, rasm). Ko‘zgu fokusidan bosh optik o‘qqa perpendikulyar holda o‘tkazilgan tekislikni ***fokal tekislik*** deyiladi. Agar parallel nurlar dastasi botiq ko‘zguga biror burchak ostida tushsa, qaytgan nurlar fokal tekislikda bita nuqtada kesishadi (4.2-b, rasm).



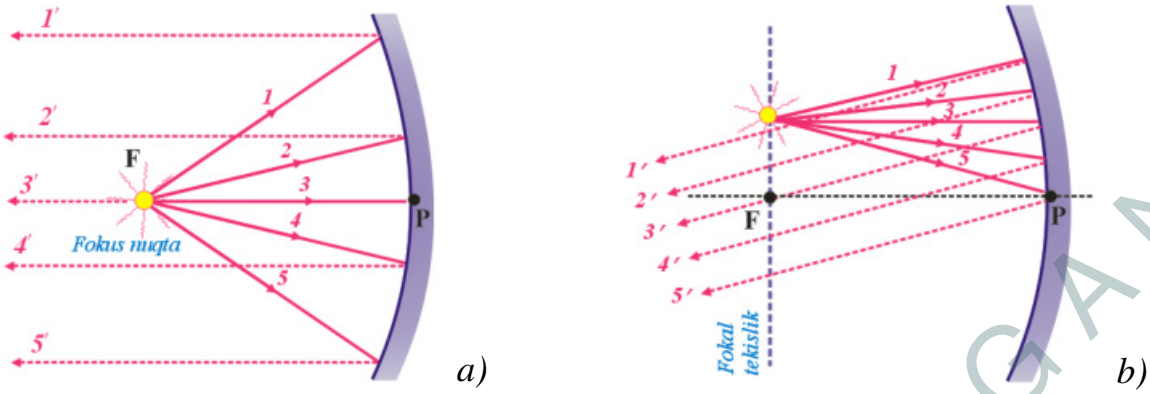
a) *b)*

4.2-rasm

Botiq ko‘zguga tushayotgan parallel nurlar dastasi fokus nuqtasida yoki fokal tekislikda biror nuqtada yig‘ilar ekan, yorug‘lik manbaini fokus nuqtasiga yoki

SINOV UCHUN BERILGAN

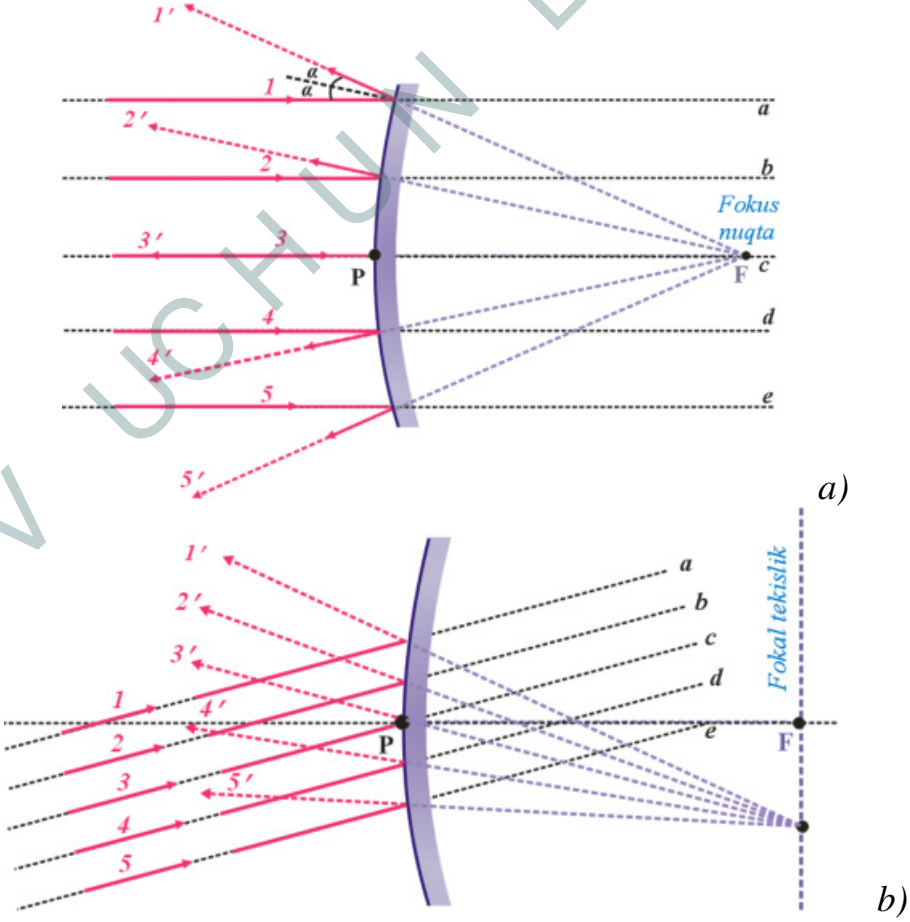
fokal tekislikdagi biror nuqtaga joylasak nima bo‘ladi? – Bunda quyidagi 4.3-rasmda ko‘rsatilgani kabi parallel nurlar dastasi olinadi.



a) *b)*

4.3-rasm

Agar yorug‘lik nuri sferik sirtning tashqi sirtidan qaytsa, bunday ko‘zguga ***qavariq ko‘zgu*** deyiladi. Qavariq ko‘zgudan qaytgan yorug‘lik nurlari sochilish xususiyatiga ega bo‘lib, sochilgan nurlarning teskari davomlari ***fokus*** deb ataluvchi bitta *F* nuqtada kesishadi (4.4-a, rasm). Agar parallel nurlar dastasi botiq ko‘zguga biror burchak ostida tushsa, qaytgan nurlarning teskari davomlari fokal tekislikda bitta nuqtada kesishadi (4.4-b, rasm).



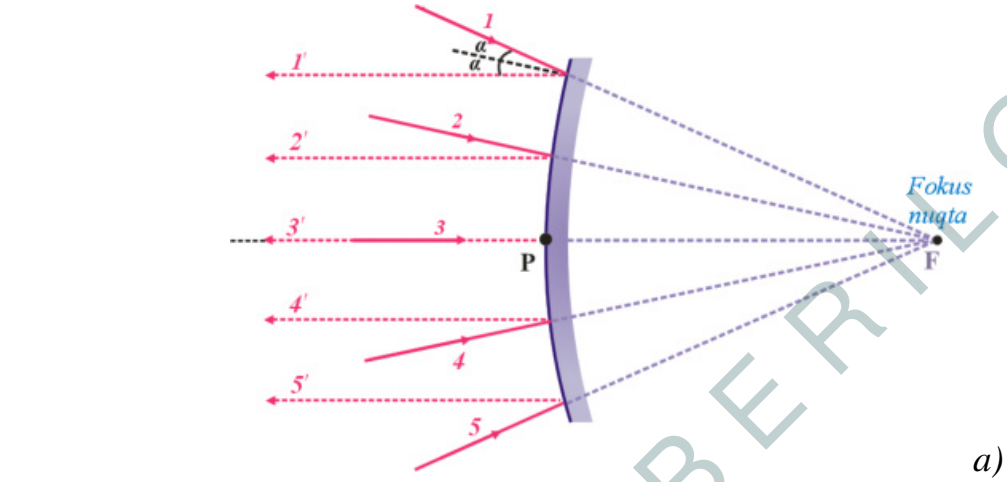
a) *b)*

4.4-rasm

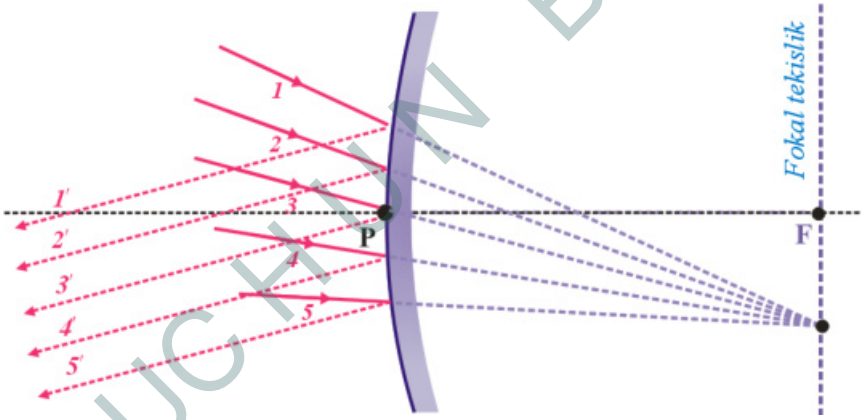
Sochuvchi linzaga tushayotgan parallel nurlar dastasining teskari davomlari fokus nuqtasida yoki fokal tekislikda biror nuqtada yig‘ilar ekan, yorug‘lik

SINOV UCHUN BERILGAN

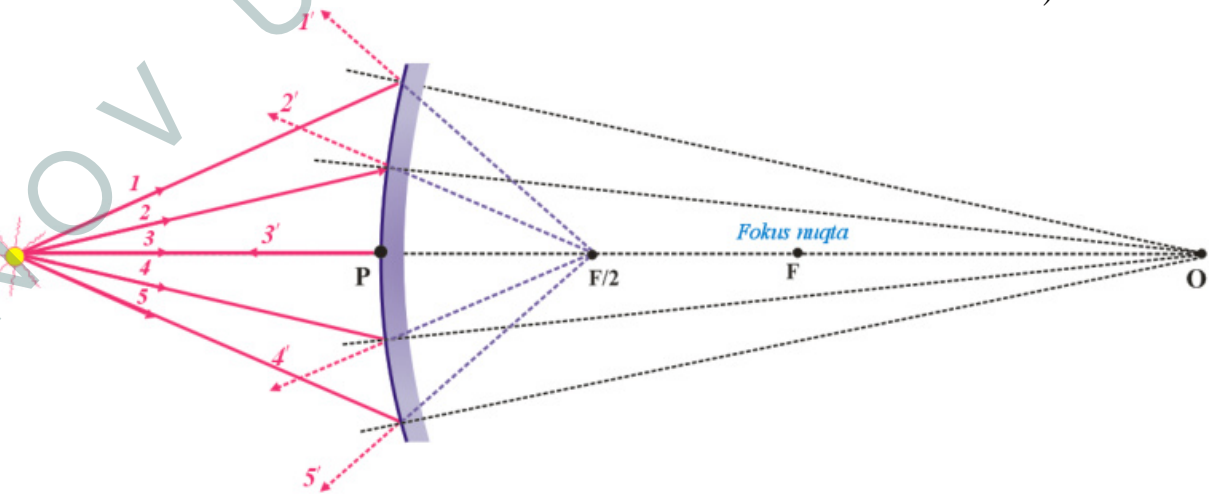
nurlarini fokus nuqtasiga yoki fokal tekislikdagi biror nuqtaga yo‘naltirsak nima bo‘ladi? – Bunda 4.5-a,b rasmda ko‘rsatilgani kabi parallel nurlar dastasi olinadi. Agar yorug‘lik manbai sochuvchi linzaning fokus nuqtasiga yoki fokal tekislikdagi biror nuqtaga joylashtirilsa nima bo‘ladi?– Bunda nurlar linzada kuchli sochiladi, sochilgan nurlarning teskari davomlari fokus masofaning yarmida, ya’ni *F/2* nuqtada yoki shu nuqtadan bosh optik o‘qqa perpendikulyar o‘tuvchi tekislikda biror nuqtada to‘planadi (4.5-c,d rasm).



a)

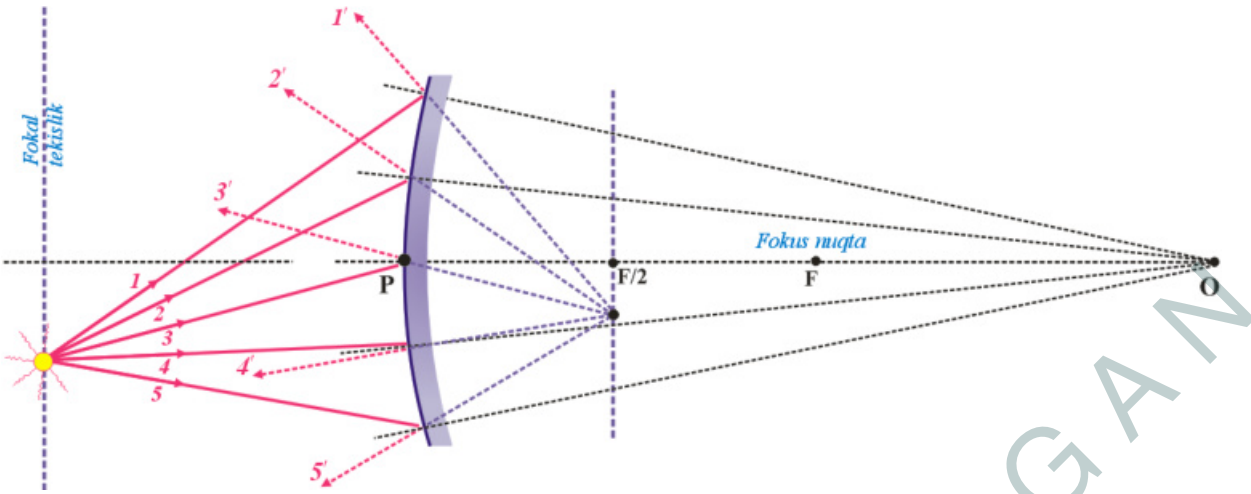


b)



c)

SINOV UCHUN BERILGAN



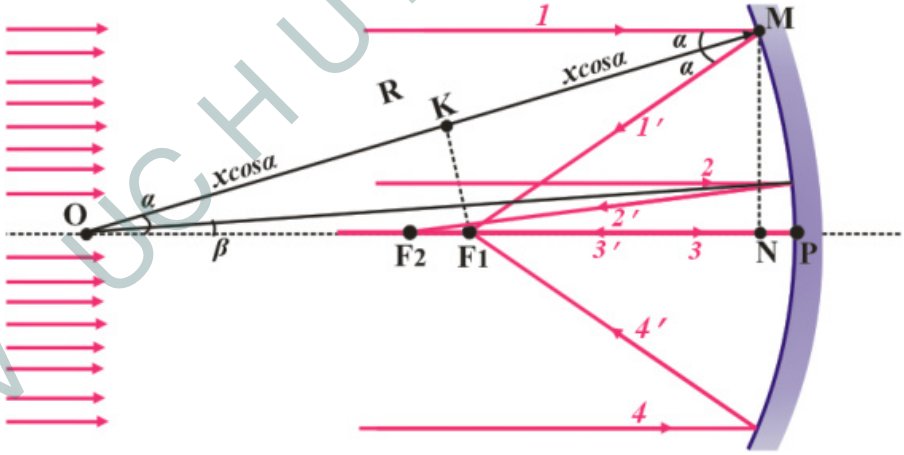
d)

4.5-rasm

Yorug‘lik manbasining yoki biror buyumning yassi ko‘zgudagi tasviri qanday yasalishi biroz soddaroq bo‘lib, bu haqda mavzu boshida ko‘rib o‘tgan edik. Lekin, buyumning sferik ko‘zgulardagi tasvirini yasash biroz murakkabroq bo‘lib, bu haqda keyingi mavzuda bilib olishimiz mumkin.

Sferik ko‘zguning fokus masofasi:

Yuqorida biz bosh optik o‘qqa parallel bo‘lgan nurlar dastasi ko‘zgu sirtiga tushganda singan nur fokus deb ataluvchi bitta nuqtada kesishadi degan edik. Bu fikr qanchalik to‘g‘ri ekanligini tekshirib ko‘raylik.



4.6-rasm

Botiq ko‘zguga bosh optik o‘qqa paralel nurlar dastasi kelib tushayotgan bo‘lsin (4.6-rasm). Shu nurlardan bosh optik o‘qdan eng uzoqdagi *1* va unga eng yaqin (deyarli bosh optik o‘q bilan ustma-ust tushadigan) *2* nurlarni tanlaymiz. *1* nur ko‘zguning *M* nuqtasiga eng katta α burchak ostida tushadi va shunday burchak ostida qaytib bosh optik o‘q bilan F_1 nuqtada kesishadi. *2* nur ko‘zguning taxminan *P* nuqtasiga eng kichik $\beta \approx 0^0$ burchak ostida tushadi va shunday burchak ostida qaytib bosh optik o‘q bilan F_2 nuqtada kesishadi. Hisob-kitoblarning ko‘rsatishicha F_1 va F_2 nuqtalar turli nuqtalar bo‘lib, *1* va *2* nurlar orasidagi barcha nurlar ko‘zgudan qaytib bosh optik o‘q bilan F_1 va F_2 nuqtalar

SINOV UCHUN BERILGAN

orasida biror nuqtada kesishar ekan hamda F_1F_2 masofa *1* nurning tushish burchagi α ning qiymatiga bog‘liq bo‘lar ekan.

ΔOF_1M teng yonli uchburchak bo‘lib, $OF_1 = F_1M = x$ ga teng. Bundan $OK = KM = x\cos\alpha$ bo‘ladi. Shuning uchun $R = OM = OK + KM = 2x\cos\alpha$ bo‘ladi. Bundan

$$OF_1 = x = \frac{R}{2\cos\alpha}$$

hamda

$$F_1P = R - x = \left(1 - \frac{1}{2\cos\alpha}\right)R$$

kelib chiqadi.

Demak, OF_1 va F_1P masofa quyidagicha bo‘lar ekan:

$$OF_1 = x = \frac{R}{2\cos\alpha}, \qquad F_1P = R - x = \left(1 - \frac{1}{2\cos\alpha}\right)R \tag{4.1}$$

Yuqoridagi formulada α ning joyiga $\beta \approx 0^0$ ni qo‘ysak, *2* nur uchun OF_2 va F_2P masofalarni olamiz.

$$OF_2 = \frac{R}{2\cos\beta} \approx \frac{R}{2}, \qquad F_2P = R - OF_2 \approx \frac{R}{2} \tag{4.2}$$

Endi F_1 va F_2 nuqtalar orasidagi F_1F_2 masofani topishimiz mumkin.

$$F_1F_2 = OF_1 - OF_2 = \frac{R}{2}\left(\frac{1}{\cos\alpha} - 1\right) \tag{4.3}$$

Yuqoridagi formuladan foydalanib, $\alpha = 30^0$ bo‘lgan holni qarasak, $F_1F_2 = \frac{R}{2}\left(\frac{1}{\cos 30^0} - 1\right) \approx 0{,}0774\,R$ bo‘lar ekan. Agar $\alpha = 0^0$ bo‘lsa, $F_1F_2 = \frac{R}{2}\left(\frac{1}{\cos 0^0} - 1\right) = 0$ bo‘ladi. Bu siljishga ***bo‘ylama sferik abberatsiya*** deyiladi.

Ko‘zgu formulasi, ko‘zguning kattalashtirishi:

Ko‘zgu formulasini keltirib chiqarishdan oldin ba’zi belgilashlar kiritib olaylik (4.7-a,rasm).

$AB = h$ – buyumning balanligi;

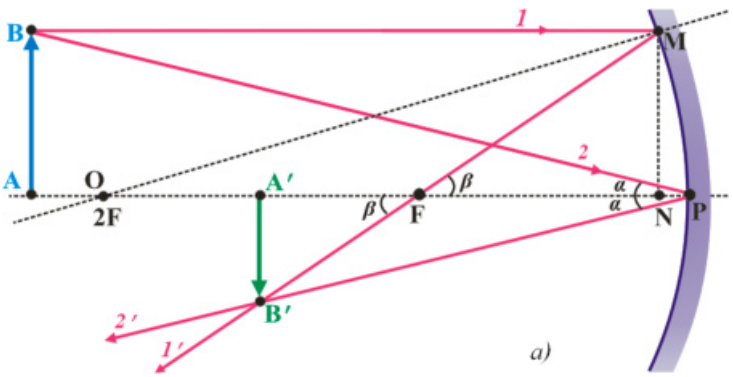
$A'B' = H$ – tasvirning balandligi;

$OF = FP \approx F$ – ko‘zguning fokus masofasi;

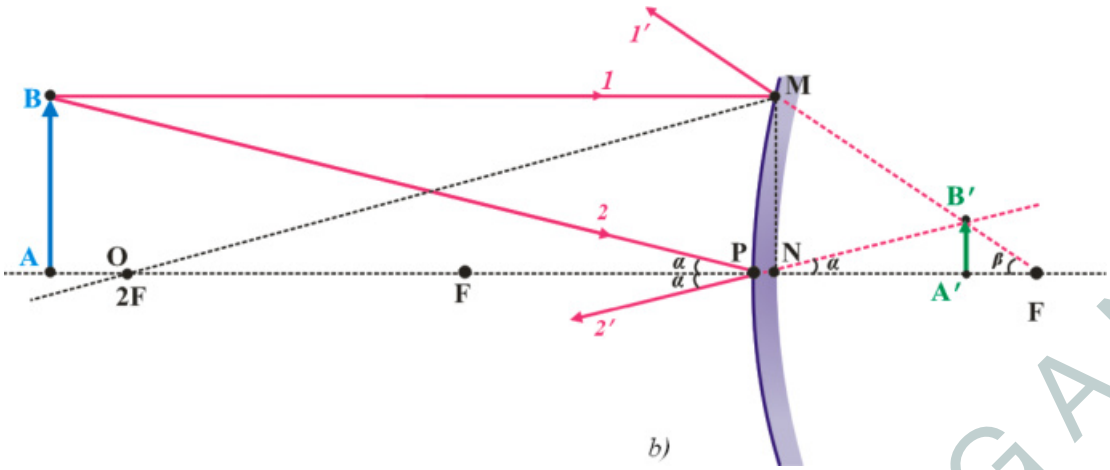
$AP = d$ – ko‘zgudan buyumgacha bo‘lgan masofa;

$A'P = f$ – ko‘zgudan tasvirgacha bo‘lgan masofa;

K – ko‘zguning kattalashtirishi.



SINOV UCHUN BERILGAN



4.7-rasm

4.7-a, b rasmlardan foylanib ko‘zgu formulasini hosil qilamiz. ΔABP va $\Delta A'B'P$ lardan

$$\begin{cases} tg\alpha = \dfrac{AB}{AP} = \dfrac{h}{d} \\ tg\alpha = \dfrac{A'B'}{A'P} = \dfrac{H}{f} \end{cases}; \Rightarrow \frac{h}{d} = \frac{H}{f}; \Rightarrow \frac{H}{h} = \frac{f}{d} = K$$

kelib chiqadi. ΔMNF va $\Delta A'B'F$ lardan

$$\begin{cases} tg\beta = \dfrac{MN}{FN} = \dfrac{AB}{FP} = \dfrac{h}{F} \\ tg\beta = \dfrac{A'B'}{A'F} = \dfrac{H}{f-F} \end{cases}; \Rightarrow \frac{h}{F} = \frac{H}{f-F}; \Rightarrow \frac{H}{h} = \frac{f-F}{F} = K$$

kelib chiqadi. Ikkita sistemadagi kattalshtirish formulalarini tenglashtirib natijaga erishamiz.

$$K = \frac{H}{h} = \frac{f-F}{F} = \frac{f}{d}; \rightarrow f\,d - F\,d = f\,F \;/(:fFd), \rightarrow \frac{1}{F} - \frac{1}{f} = \frac{1}{d}, \rightarrow \frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}$$

Demak, ko‘zgu uchun $\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}$ ko‘zgu formulasini hosil qildik. Ko‘zgu formulasidan foydalanganda, formuladagi d, f, F kattaliklar turli ishoralar qa’bul qilish mumkin.

Agar ko‘zgu botiq bo‘lsa $F > 0$, qavariq bo‘lsa $F < 0$ bo‘ladi.

Agar tasvir haqiqiy bo‘lsa $f > 0$, mavhum bo‘lsa $f < 0$ bo‘ladi.

Agar manba (buyum) haqiqiy bo‘lsa $d > 0$, mavhum bo‘lsa $d < 0$ bo‘ladi. Lekin mavhum manba masalalarda umuman uchramaydi.

Botiq va qavariq ko‘zgular uchun ko‘zgu formulalari quyidagicha bo‘ladi:

$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ **(4.4)**	$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$ **(4.4a)**	$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d}$ **(4.4b)**
botiq ko‘zguda, $d > F$	botiq ko‘zguda, $d < F$	qavariq ko‘zgu

Tasvir o‘lchamining buyum o‘lchamiga nisbatiga teng kattalikka ko‘zguning kattalashtirishi deyiladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

$$K = \frac{H}{h} = \frac{f}{d} \qquad (4.5)$$

Ko‘zgu kattalashtirishini fokus masofa orqali ham ifodalash mumkin. Har bir holatda kattalashtirishni topish uchun shu holatlar uchun ko‘zgu formulasidan foydalanamiz.

1) $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{K}{f} + \frac{1}{f} = \frac{K+1}{f}, \rightarrow K = \frac{f}{F} - 1 = \frac{f-F}{F}.$

$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{d} + \frac{1}{Kd}, \rightarrow \frac{1}{Kd} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d} = \frac{d-F}{Fd}, \rightarrow K = \frac{F}{d-F}.$

2) $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f} = \frac{K}{f} - \frac{1}{f} = \frac{K-1}{f}, \rightarrow K = \frac{f}{F} + 1 = \frac{f+F}{F}.$

$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f} = \frac{1}{d} - \frac{1}{Kd}, \rightarrow \frac{1}{Kd} = \frac{1}{d} - \frac{1}{F} = \frac{F-d}{Fd}, \rightarrow K = \frac{F}{F-d}.$

3) $\frac{1}{F} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d} = \frac{1}{f} - \frac{K}{f} = \frac{1-K}{f}, \rightarrow K = 1 - \frac{f}{F} = \frac{F-f}{F}.$

$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d} = \frac{1}{Kd} - \frac{1}{d}, \rightarrow \frac{1}{Kd} = \frac{1}{F} + \frac{1}{d} = \frac{d+F}{Fd}, \rightarrow K = \frac{F}{d+F}.$

Demak, ko‘zgu kattalashtirishini fokus masofa orqali quyidagicha ifodalanar ekan:

$$K = \frac{f-F}{F} = \frac{F}{d-F} \qquad (4.6)$$

botiq ko‘zguda, $d > F$

$$K = \frac{f+F}{F} = \frac{F}{F-d} \qquad (4.6a)$$

botiq ko‘zguda, $d < F$

$$K = \frac{F-f}{F} = \frac{F}{F+d} \qquad (4.6b)$$

qavariq ko‘zgu

Ko‘zgu-tasvir orasidagi masofa f va ko‘zgu-buyum orasidagi masofa d larni kattalashtirish K orqali ifodalash quyidagicha bo‘ladi:

$$\begin{cases} f = (K+1)F \\ d = \frac{K+1}{K}F \end{cases} \qquad (4.7)$$

botiq ko‘zguda, $d > F$

$$\begin{cases} f = (K-1)F \\ d = \frac{K-1}{K}F \end{cases} \qquad (4.7a)$$

botiq ko‘zguda, $d < F$

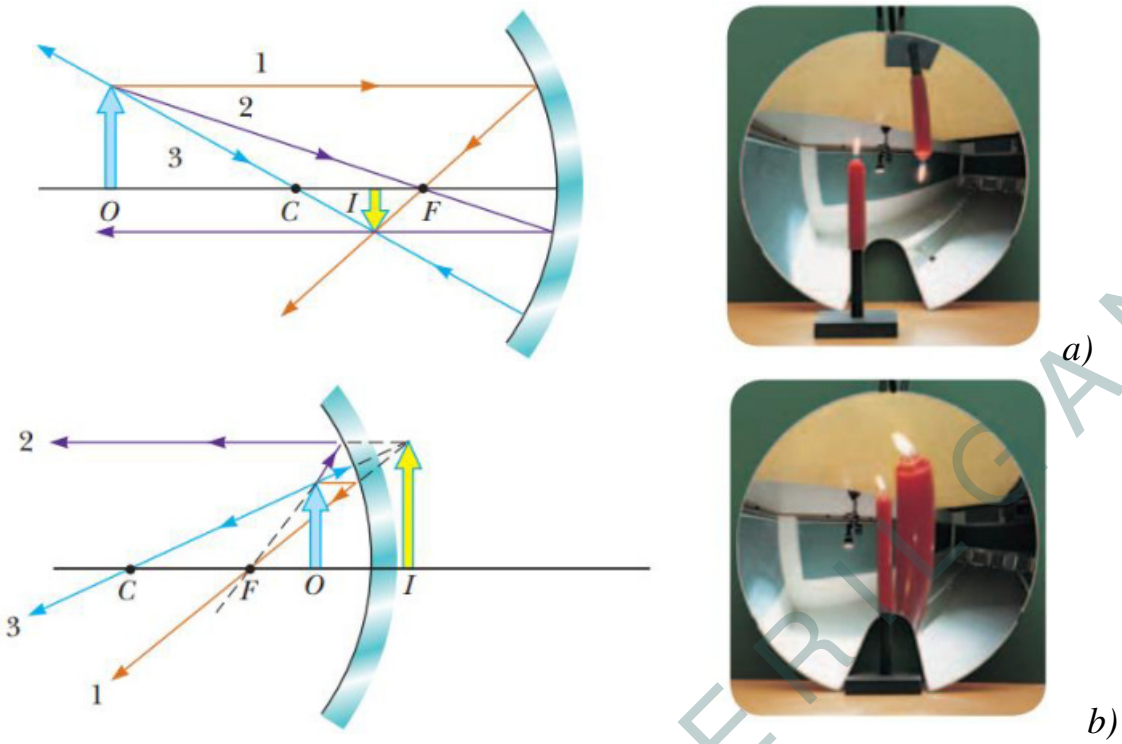
$$\begin{cases} f = (1-K)F \\ d = \frac{1-K}{K}F \end{cases} \qquad (4.7b)$$

qavariq ko‘zgu

Botiq ko‘zguda tasvir yasash va botiq ko‘zgu uchun xususiy holar:

Botiq ko‘zgu oldida turgan buyumni turli joylarga ko‘chirishlar orqali har xil o‘lchamdagi to‘g‘ri va teskari hamda haqiqiy va mavhum tasvirlar olish mumkin. Tasvirning o‘rnini esa o‘lchash yoki ko‘zgu formulasi yordamida hisoblash orqali aniqlash mumkin. 4.8-rasmda botiq ko‘zguda olingan haqiqiy va mavhum tasvirlardan namunalar keltirilgan.

SINOV UCHUN BERILGAN



a)

b)

4.8-rasm

Botiq ko‘zgu yordamida buyumni joylashishiga qarab kattalashgan yoki kichiklashgan, haqiqiy yoki mavhum, to‘g‘ri yoki teskari tasvir hosil qilish mumkin. Biz har bir xususiy holga alohida-alohida to‘xtalib o‘tamiz.

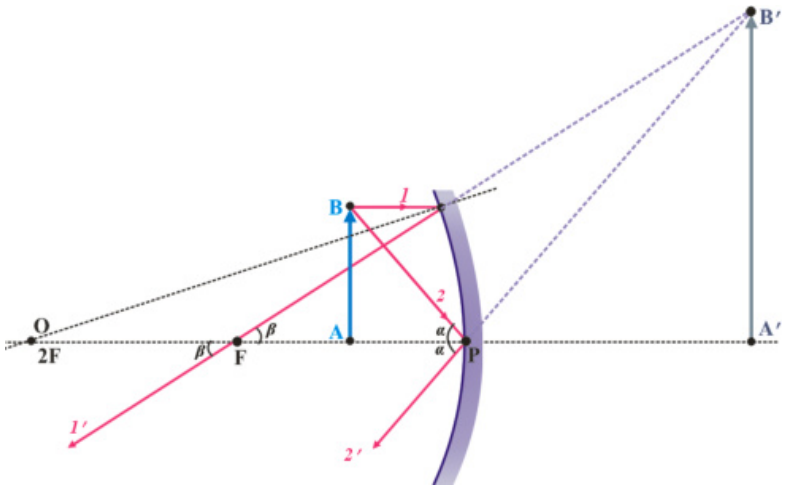
1) $d < F$ da: ko‘zgu orqasida, to‘g‘ri, mavhum, kattalashgan tasvir hosil bo‘ladi (4.9-a,rasm).

1.1) $d = \frac{1}{3}F$ da: ko‘zgu orqasida, to‘g‘ri, mavhum, 1,5 marta kattalashgan tasvir.

1.2) $d = \frac{1}{2}F$ da: ko‘zgu orqasida, to‘g‘ri, mavhum, 2 marta kattalashgan tasvir.

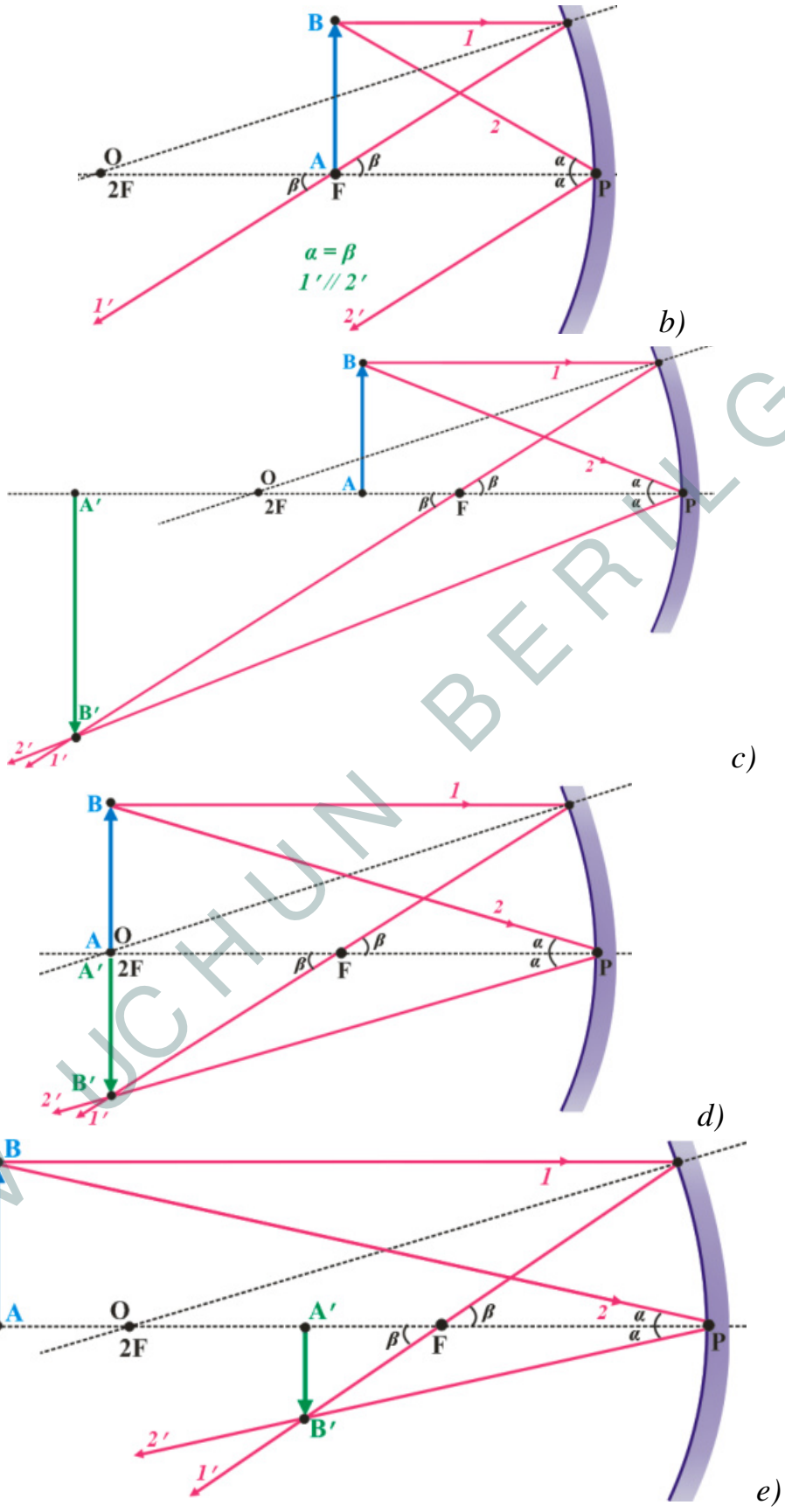
1.3) $d = \frac{2}{3}F$ da: ko‘zgu orqasida, to‘g‘ri, mavhum, 3 marta kattalashgan tasvir.

1.4) $d = \frac{3}{4}F$ da: ko‘zgu orqasida, to‘g‘ri, mavhum, 4 marta kattalashgan tasvir.



a)

SINOV UCHUN BERILGAN



4.9-rasm

2) $d = F$ da: tasvir hosil bo‘lmaydi (4.9-b, rasm).

3) $F < d < 2F$ da: buyum tomonda, teskari, haqiqiy, kattalashgan tasvir hosil bo‘ladi (4.9-c,rasm).

SINOV UCHUN BERILGAN

3.1) $d = \frac{5}{3}F$ da: buyum tomonda, teskari, haqiqiy, 1,5 marta kattalashgan.

3.2) $d = \frac{3}{2}F$ da: buyum tomonda, teskari, haqiqiy, 2 marta kattalashgan.

3.3) $d = \frac{4}{3}F$ da: buyum tomonda, teskari, haqiqiy, 3 marta kattalashgan.

3.4) $d = \frac{5}{4}F$ da: buyum tomonda, teskari, haqiqiy, 4 marta kattalashgan.

4) $d = 2F$ da: buyum tomonda, teskari, haqiqiy, teng tasvir hosil bo‘ladi (4.9-d,rasm).

5) $d > 2F$ da: buyum tomonda, teskari, haqiqiy, kichiklashgan tasvir hosil bo‘ladi (4.9-e,rasm).

5.1) $d = \frac{5}{2}F$ da: buyum tomonda, teskari, haqiqiy, 1,5 marta kichiklashgan tasvir.

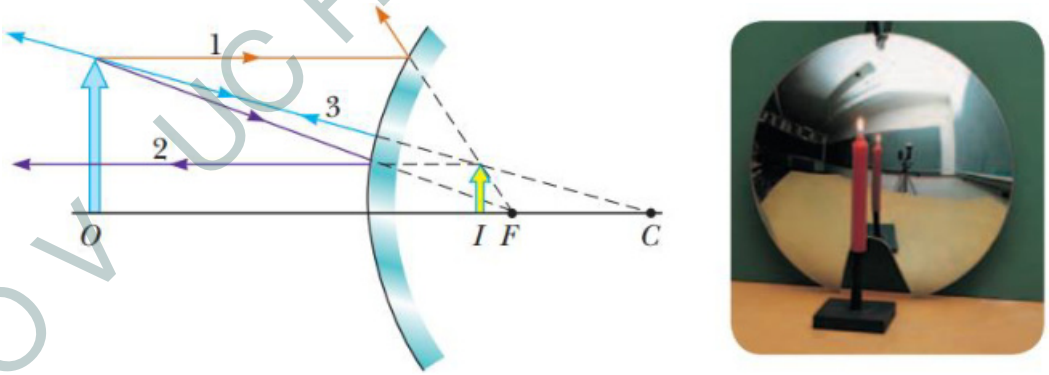
5.2) $d = 3F$ da: buyum tomonda, teskari, haqiqiy, 2 marta kichiklashgan tasvir.

5.3) $d = 4F$ da: buyum tomonda, teskari, haqiqiy, 3 marta kichiklashgan tasvir.

5.4) $d = 5F$ da: buyum tomonda, teskari, haqiqiy, 4 marta kichiklashgan tasvir.

Qavariq ko‘zguda tasvir yasash va qavariq ko‘zgu uchun xususiy holar:

Qavariq ko‘zgu oldida turgan buyumni turli joylarga ko‘chirishlar orqali har xil o‘lchamdagi to‘g‘ri, mavhum, kichiklashgan tasvirlar olish mumkin. Tasvirning o‘rnini esa ko‘zgu formulasi yordamida hisoblash orqali aniqlash mumkin. 4.10-rasmda qavariq ko‘zguda olingan mavhum tasvir berilgan.



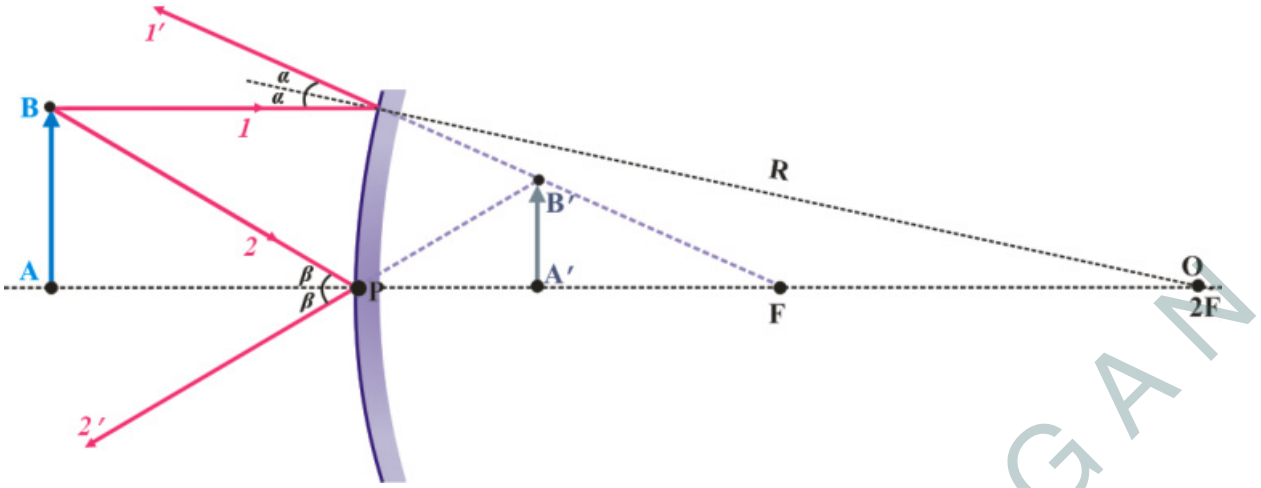
4.10-rasm

Qavariq ko‘zgu yordamida faqat kichiklashgan, to‘g‘ri, mavhum tasvir hosil qilish mumkin (4.10-rasm). Biz qavariq ko‘zgu uchun ham bir necha xususiy hollarga to‘xtalib o‘tamiz.

1) $d \approx 0$ da: ko‘zgu orqasida, to‘g‘ri, mavhum, taxminan teng tasvir hosil bo‘ladi.

2) $d = \frac{1}{2}F$ da: ko‘zgu orqasida, to‘g‘ri, mavhum, 1,5 marta kichik tasvir.

SINOV UCHUN BERILGAN



4.9-rasm

3) $d = F$ da: ko‘zgu orqasida, to‘g‘ri, mavhum, 2 marta kichik tasvir.

4) $d = 2F$ da: ko‘zgu orqasida, to‘g‘ri, mavhum, 3 marta kichik tasvir.

5) $d = 3F$ da: ko‘zgu orqasida, to‘g‘ri, mavhum, 4 marta kichik tasvir.

Cheksizlikda turgan buyumning qavariq ko‘zgudagi tasviri mavhum nuqtaga aylanadi.

Mavzu yuzasidan savollar

1. *Botiq sferik ko‘zguda tasvir qanday yasaladi? Bunda tasvir qanday bo‘ladi?*
2. *Qavariq sferik ko‘zguda tasvir qanday yasaladi? Bunda tasvir qanday bo‘ladi?*
3. *Botiq va qavariq sferik ko‘zgular uchun ko‘zgu formulalarini yozing.*
4. *Botiq ko‘zguda qachon tasvir va buyum orasidagi masofa nolga teng bo‘ladi?*
5. *Botiq va qavariq sferik ko‘zgular uchun kattalashtirish formulalarini yozing.*
6. *Botiq ko‘zguda mavhum tasvir hosil qilish mumkinmi?*
7. *Qavariq ko‘zguda haqiqiy tasvir hosil qilish mumkinmi? Kattalashgan tasvirchi?*
8. *Botiq sferik ko‘zgu uchun bir necha xususiy hollarni tasvirlab bering.*
9. *Qavariq sferik ko‘zgu uchun bir necha xususiy hollarni tasvirlab bering.*

Masala yechish:

1. *Fokus masofasi 20 cm bo‘lgan ko’zgudan 15 cm uzoqlikda buyumning kichiklashgan mavhum tasviri hosil bo‘ldi. Ko‘zguning turi qanday? Buyum kozgudan qanday (sm) masofada joylashgan?*

Berilgan:	*Yechilishi:*
F=20 cm	*Kichiklashgan mavhum tasvirni faqat sochuvchi ko‘zgu, ya’ni qavariq ko‘zgu hosil qilishi mumkin. Shuning uchun masaladagi ko‘zgu qavariq ko‘zgudir.*
f=15 cm	
$d = ?$	

Endi masalani sochuvchi ko‘zgu uchun ko‘zgu formulasidan foydalanib ishlaymiz.

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d}, \quad \rightarrow \quad \frac{1}{d} = \frac{1}{f} - \frac{1}{F}, \quad \rightarrow \quad d = \frac{f\,F}{F - f} = \frac{15cm \cdot 20cm}{20cm - 15cm} = 60\ cm$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Javob: *qavariq ko‘zgu; 60 cm*

2. *Buyum qavariq ko’zgu oldida undan mF masofada turibdi. Ko’zgudan qanday masofada mavhum tasvir hosil bo'ladi va u buyumning o'zidan necha marta kichik bo'ladi?*

Berilgan:	*Yechilishi:*
$d=mF$ F $f=?$ $\frac{1}{K}=?$	*Qavariq ko‘zgu, ya’ni sochuvchi ko‘zgu faqat kichiklashgan mavhum tasvirni ko‘zgu orqasida hosil qilishi mumkin. Shuning uchun masaladagi tasvir kishiklashgan mavhum bo‘ladi.* *Endi masalani sochuvchi ko‘zgu uchun ko‘zgu formulasidan foydalanib ishlaymiz.* $\frac{1}{F}=\frac{1}{f}-\frac{1}{d},\ \rightarrow\ \frac{1}{f}=\frac{1}{F}+\frac{1}{d}=\frac{1}{F}+\frac{1}{mF}=\frac{m+1}{mF},\ \rightarrow\ f=\frac{m}{m+1}F$

Endi tasvirning buyumdan necha marta kichik ekaligini aniqlaymiz.

$$\frac{1}{K}=\frac{d}{f}=\frac{mF}{\frac{m}{m+1}F}=m+1$$

Javob: $f=\frac{m}{m+1}F$ *; m+1 marta kichik*

3. *Fokus masofasi 5 cm bo‘lgan botiq ko’zgu yordamida buyumning mavhum tasviri ko’zgudan 10 cm masofada hosil qilindi. Ko’zguning kattalashtirishi qanday?*

Berilgan:	*Yechilishi:*
$F=5$ *cm* $f=10$ *cm* $K=?$	*Bunda ko‘zguning buyum tomonida kattalashgan, to‘g‘ri, mavhum tasviri hosilbo‘ladi. Bu masala shartida ushbu ko‘zgu formulasidan foydalaniladi:* $\frac{1}{F}=\frac{1}{d}-\frac{1}{f}$

Bundanbuymdan ko‘zgugacha bo‘lgan d masofani topib olamiz. .

$$\frac{1}{d}=\frac{1}{f}+\frac{1}{F},\ \rightarrow\ d=\frac{fF}{F+f}=\frac{10cm\cdot 5cm}{5cm+10cm}=\frac{10}{3}\ cm$$

Endi esa ko‘zguning kattalashtirishini aniqlaymiz.

$$K=\frac{f}{d}=\frac{10\,cm}{\frac{10}{3}cm}=3$$

Javob: *K=3*

SINOV UCHUN BERILGAN

§ 5. YORUG‘LIKNING SINISH QONUNI. TO‘LA ICHKI QAYTISH HODISASI

Yorug‘likning sinish qonuni:

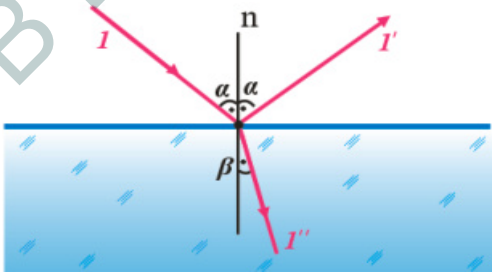


5.1-rasm

Yorug‘lik nurini o‘tkazish xususiyatiga ega bo‘lgan modda yoki muhitga ***shaffof muhit*** deyiladi. Yorug‘lik nuri vakuumdan biror shaffof muhitga o‘tganda yoki bir shaffof muhitdan boshqa bir shaffoof muhitga o‘tganda nur o‘z yo‘nalishini o‘zgartiradi, ya’ni sinadi. Bunga stakanga tushirilgan qalamchani yon tomondan qaraganda sinib ko‘rinishidan ham qarab ishonch hosil qilish mumkin (4.1-rasm).

Aytaylik, yorug‘lik nuri vakuumdan biror shaffof muhitga biror α burchak ostida tushayotgan bo‘lsin. Bu nur shaffof muhitga o‘tganda dastlabki yo‘nalishini o‘zgartirib, tushish nuqtasidan o‘tkazilgan normal bilan biror $\beta<\alpha$ burchak hosil qiladi. Bu burchakka ***sinish burchagi*** deyiladi *(5.2-rasm)*.

1 – tushgan nur;
1′ – qaytgan nur;
1″ – qaytgan nur;
α – tushish va qaytish burchagi;
β – sinish burchagi;



5.2-rasm

Yorug‘likning sinish qonuni: ***Shaffof muhitga tushgan nur, tushish nuqtasiga o‘tkazilgan normal va singan nur bitta tekislikda yotadi. Nur optik zichligi past bo‘lgan muhitdan optik zichligi yuqori bo‘lgan muhitga o‘tganda, singan nur ikki muhit chegarasidan uzoqlashib normalga tomon yaqinlaashdi.***

Vakuumdan shaffof muhitga ikkita o‘zaro parallel 1 va 2 nurlar tushayotgan bo‘lsin. Muhitda singan nurlar *1″* va *2″* bo‘lsin (5.*3-rasm*). Muhitning vakuumga nisbatan absalyut nur sindirish ko‘rsatkichini topaylik. Buning uchun ΔABC va ΔABD lar sinuslaridan foydalanamiz.

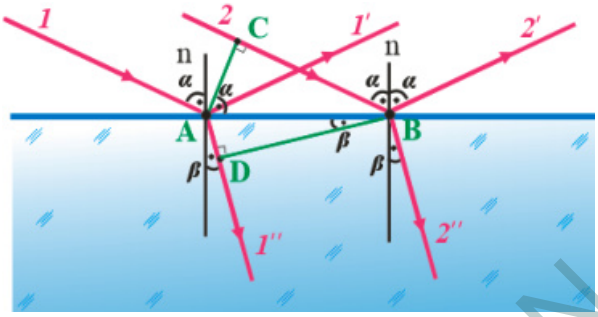
$$\begin{cases} \sin\alpha = \dfrac{BC}{AB} = \dfrac{c\Delta t}{AB} \quad (1) \\ \sin\beta = \dfrac{AD}{AB} = \dfrac{\vartheta\Delta t}{AB} \quad (2) \end{cases}$$

Tenglamalardan foydalanib, (1) : (2) amalini bajaramz va natijaga erishamiz.

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{c}{\vartheta} = \frac{\lambda_{BAK}}{\lambda_{MUX}} = n$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Shaffof muhitning vakuumga nisbatan ***absalyut nur sindirish ko‘rsatkichi*** deb tushish burchagi sinusining sinish burchagi sinusiga nisbatiga teng kattalikka aytiladi.



5.3-rasm

$$n = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{c}{\vartheta} = \frac{\lambda_{vak}}{\lambda_{muh}} \qquad (5.1)$$

Yuqoridagi formulada $c = \lambda_{vak}\nu$ va $\vartheta = \lambda_{muh}\nu$ formulalarga asosan yorug‘lik nuri (umuman elektromagnit to‘lqini) vakuumdan muhitga o‘tganda to‘lqin uzunligi va tezligi qisqarib, chastotasi esa o‘zgarmasdan qolishini e’tiborga olindi.

Absalyut nur sindirish ko‘rsatkichining qiymati qanchalik katta bo‘lsa, nur dastlabki yo‘nalishidan normal tomonga shunchalik ko‘p og‘adi. Absalyut nur sindirish ko‘rsatkichi kattaroq bo‘lgan muhitni ***optik zichroq muhit***, aksincha esa ***optik siyrakroq muhit*** deyiladi.

Shaffof muhit absalyut nur sindirish ko‘rsatkichini uning elektr va magnit xossalari orqali ham ifodalash mumkin.

$$n = \sqrt{\varepsilon\,\mu} \qquad (5.2)$$

Yuqoridagi formuladan yorug‘lik nurining shaffof muhitda tarqalish tezligini quyidagi ko‘rinishda yozish mumkin:

$$\vartheta = \frac{c}{n} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\,\varepsilon_0\mu\,\mu_0}} \qquad (5.3)$$

Masalalar ishlaganda vakuum va havo uchun absalyut nur sindirish ko‘rsatkichining qiymati $n=1$ deb olinadi. Shaffof muhitlar uchun absalyut nur sindirish ko‘rsatkichi n>1 bo‘ladi.

Agar yorug‘lik nuri bir shaffof muhitdan ikkinchi shaffof muhitga o‘tayotgan bo‘lsa, tushish burchagi sinusining sinish burchagi sinusiga nisbati birinchi muhitning ikkinchi muhitga nisbatan nisbiy nur sindirish ko‘rsatkichini beradi. Ikkinchi muhit absalyut nur sindirish ko‘rsatkichining birinchi muhit absalyut nur sindirish ko‘rsatkichiga nisbati birinchi muhitning ikkinchi muhitga nisbatan ***nisbiy nur sindirish ko‘rsatkichi*** deyiladi.

Nisbiy nur sindirish ko‘rsatkichi xuddi absalyt nur sindirish ko‘rsatkichi kabi aniqlanadi.

$$\begin{cases} \sin\alpha = \dfrac{BC}{AB} = \dfrac{c\,\Delta t}{AB} & (1) \\ \sin\beta = \dfrac{AD}{AB} = \dfrac{\vartheta\,\Delta t}{AB} & (2) \end{cases} \Rightarrow \quad n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\frac{c}{\vartheta_2}}{\frac{c}{\vartheta_1}} = \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = \frac{\lambda_1\nu}{\lambda_2\nu} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Demak, nisbiy nur sindirish ko‘rsatkichi quyidagicha bo‘lar ekan (4.2-rasm):

SINOV UCHUN BERILGAN

$$n_{2,1} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \qquad (5.4)$$

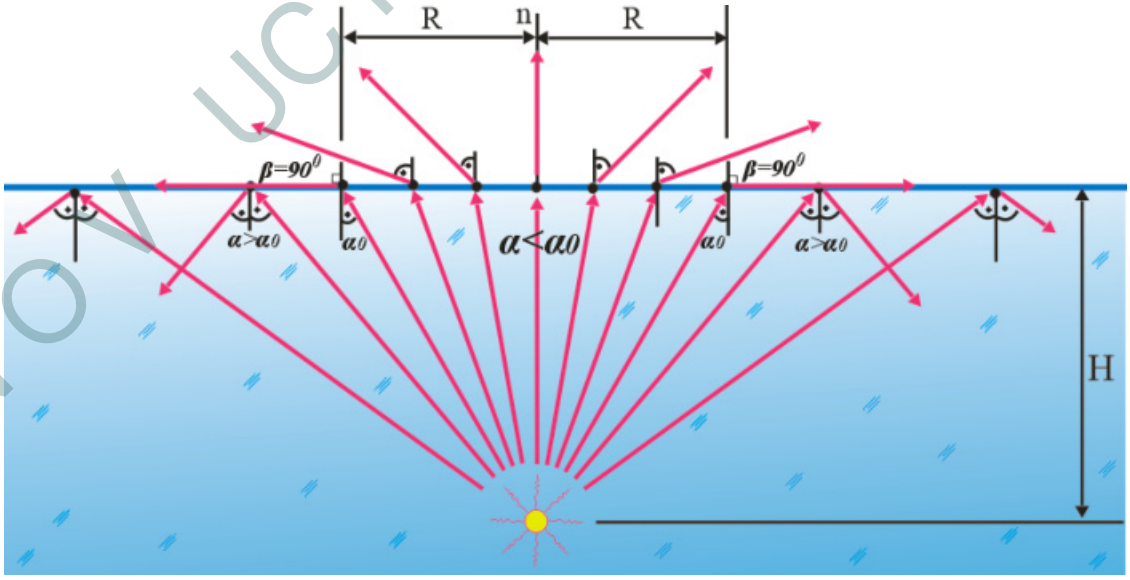
Yuqoridagi formulada $\vartheta_1 = \lambda_1 \nu$ va $\vartheta_2 = \lambda_2 \nu$ formulalarga asosan yorug‘lik nuri (umuman elektromagnit to‘lqini) bir muhitdan boshqa muhitga o‘tganda to‘lqin uzunligi va tezligi o‘zgarib, chastotasi esa o‘zgarmasdan qolishini e’tiborga olindi.

To‘la ichki qaytish hodisasi:

Yuqorida biz yorug‘lik nuri vakuumdan biror shaffof muhitga yoki optik siyrak muhitdan optik zich muhitga o‘tgan holni ko‘rdik. Bunda yorug‘lik nuri ikki muhit chegarasidan uzoqlashib, normal tomonga yaqinlashgan edi. Endi esa teskari holni, ya’ni yorug‘lik nuri biror shaffof muhitdan vakuumga yoki optik zich muhitdan optik siyrak muhitga o‘tgan holni qaraylik. Xo‘sh, bunda nima hodisa ro‘y beradi?

Yorug‘lik nuri biror shaffof muhitdan vakuumga yoki optik zich muhitdan optik siyrak muhitga o‘tganda singan nur normaldan uzoqlashib ikki muhit chegarasi tomonga yaqinlashadi. Tushish burchagini qiymati oshirib borilsa, sinish burchagi tezroq osha boshlaydi. Tushish burchagining shunday bir $\alpha = \alpha_0$ qiymati mavjudki, bunda sinish burchagining qiymati 90^0 gacha etadi, ya’ni $\beta = 90^0$ bo‘ladi. Bunda singan nur ikki muhit chegarasi bo‘ylab tarqaladi. Agar tushish burchagining qiymati yana oshirib borilsa, ya’ni $\alpha > \alpha_0$ bo‘lsa, nur sinmasdan birinchi muhitning o‘ziga to‘la qaytadi. Bunda ikki muhit chegarasi ko‘zguga aylanadi (5.4-rasm). Bu hodisaga ***to‘la ichki qaytish hodisasi*** deyiladi.

Tushish burchagining to‘la ichki qaytish hodisasi ro‘y beradigan qiymatiga to‘la ichki qaytish burchagi deyiladi.



5.4-rasm

Shaffof muhitdan vakuumga yorug‘lik nuri o‘tayotgan bo‘lsin va bunda to‘la ichki qaytish hodisasi sodir bo‘lsin. Bunda tushish burchagi $\alpha = \alpha_0$ ga, sinish

SINOV UCHUN BERILGAN

burchagi esa $\beta = 90^0$ ga teng bo‘ladi. Muhitning vakuumga nisbatan absalyut nur sindirish ko‘rsatkichi $n>1$ bo‘lgani uchun

$$n = \frac{\sin\beta}{\sin\alpha_0} = \frac{\sin 90^0}{\sin\alpha_0} = \frac{1}{\sin\alpha_0}$$

bo‘ladi. Bundan to‘la ichki qaytish burchagi

$$\sin\alpha_0 = \frac{1}{n} \quad \text{yoki} \quad \alpha_0 = \arcsin\frac{1}{n}$$

bo‘ladi.

Demak, to‘la ichki qaytish burchagi quyidagicha bo‘lar ekan (5.4-rasm):

$$\sin\alpha_0 = \frac{1}{n} \quad yoki \quad \alpha_0 = \arcsin\frac{1}{n} \qquad \textbf{(5.5)}$$

Suyuqlik ichiga tushirilgan yorug‘lik manbaidan tarqalayotgan nurning hammasi ham suyuqlik tashqariga chiqib keta olmaydi. Biror radiusli xalqa ichidagi nur sinib tashqariga havoga o‘tadi, halqaning o‘ziga tushgan nur ikki muhit chagarasi bo‘ylab tarqaladi, xalqa tashqarisiga tushgan nur esa to‘la ichki qaytish hodisasi tufayli yana birinchi muhitga, ya’ni suyuqlikka qaytadi (5.4-rasm). Boshqacha aytganda, xalqa tashqarisiga tushayotgan nur uchun ikki muhit chegarasi ko‘zgu vazifasini o‘taydi. Xalqa radiusini hisoblab topish mumkin.

Suyuqlik sirtidan H chuqurlikdagi manbadan tarqalayotgan nur tashqariga chiqib ketadigan xalqa radiusi quyidagicha bo‘ladi:

$$R = H \cdot tg\alpha_0 \qquad \textbf{(5.6)}$$

Bu yerda: α_0 – to‘la ichki qaytishning chegaraviy burchagi.

To‘la ichki qaytish hodisasiga 5.5-a,rasmdagi kabi suyuqlik ichidan turli burchakda taraluvchi nurlar yoqish orqali ham kuzatish mumkin. 5.5-b, rasmda ham shunga o‘xshash holat tasvirlangan bo‘lib, bunda sochilayotgan nurlar yo‘liga shisha prizma qo‘yilgan. Prizmaning boshqa yog‘ining ichidan chiqayotgan nurlar to‘la ichki qaytishga uchraydi.



a)



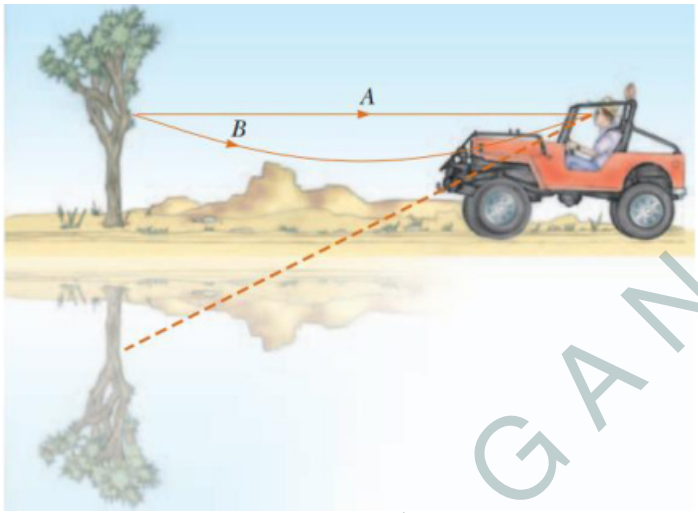
b)

5.5-rasm

To‘la ichki qaytish hodisasining hayotimizdagi ahamiyati:

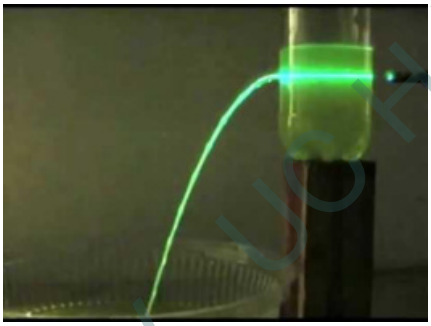
SINOV UCHUN BERILGAN

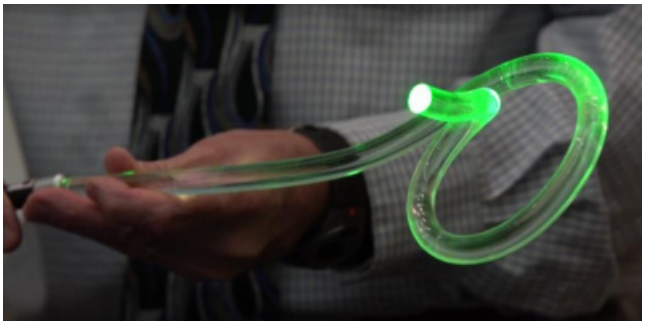
To‘la ichki qaytish hodisasiga hayotda ko‘p duch kelamiz. Yozgi issiq kunda qizigan asfalt usti uzoqdan qaraganda yaltirab ko‘rinadi. Asfaltga yaqin yuza isiganligi uchun uning nur sindirish ko‘rsatkichi teparoqda sovuqroq havo qatlamining nur sindirish ko‘rsatkichidan farq qiladi. Natijada to‘la ichki qaytish hodisasi kuzatiladi. Undan tashqari cho‘llarda sarob (ko‘l) paydo bo‘lish hodisasini ham xuddi shunday tushuntirish mumkin (5.6-rasm).



5.6-rasm

To‘la ichki qaytish hodisasini uy sharoitida tajriba o‘tkazib ham tekshirish mumkin. Suyuqlik bilan to‘ldirilgan shaffof idishning tagidagi jo‘mrak ochilganda bu jo‘mrakning orqa tomonidan yorug‘lik nuri yoqaylik. Shunda jo‘mrakdan oqayotgan suyuqlik ichida bir necha marta ichki tomondan qaytgan nurni ko‘rishimiz mumkin. Bu nur to‘la ichki qaytish tufayli suyuqlik oqimidan tashqariga chiqib keta olmaydi (5.7-rasm).


5.7-rasm


5.8-rasm

To‘la ichki qaytish hodisasidan aloqa vositalarida ham keng foydalaniladi. Bunga optik tolalar misol bo‘ladi (5.8-rasm). Optik shisha tola ichiga qarata radioto‘lqin yoki yorug‘lik nuri yuboriladi. Bu to‘lqin yoki nur shisha yola ichki sirtlaridan yuz ming martalab qaytadi va manzilga yetib boradi. Son‘gra yetib borgan signalni kuchaytiriladi. Yo‘lda bu optik tola egilgan yoki qayrilgan bo‘lsa-da baribir signal bu toladan tashqariga chiqib ketmaydi.

Mavzu yuzasidan savollar

1. Yorug‘likning sinish qonunini aytib bering. Optik zichlik nima?
2. Absalyut va nisbiy nur sindirish ko‘rsatkichlari formulalarini yozib bering.
3. Nur sindirish ko‘rsatkichining muhit xossalriga bog‘liqlik ifodasini yozib bering.
4. To‘la ichki qatish hodisasi nima? To‘la ichki qatish burchagi-chi?

SINOV UCHUN BERILGAN

5. *Qachon yorug‘lik nuri ikki muhit chegarasi bo‘ylab tarqaladi?*
6. *To‘la ichki qaytish hodisasi qachon kuzatiladi?*
7. *Optik nur tolalar nima? Ularningishlash prinsipini tushuntiring. Nurtolalaring qanday afzalliklari bor?*
8. *Yozning issiq kunida asfalt yo‘l ustida yoki cho‘l joylarda uzoqda sarob paydo bo‘lish sababini tushuntiring.*

Masala yechish:

1. *Yorug‘lik nurining 1-muhitdan 2-muhitga o‘tishida tushish burchagi 30°, sinish burchagi esa 60°. 2-muhitning 1-muhitga nisbatan sindirish ko‘rsatkichi qanday?*

A) 0,5 B) 2 C) $\sqrt{3}$ D) $\frac{\sqrt{3}}{3}$

Berilgan:	*Yechilishi:*
$\alpha=30°$ $\beta=60°$ $n_{12}=?$	*Yorug‘likning sinish qonuniga ko‘ra Yorug‘lik ikki shaffof muhit chegarasiga tushganda tushish burchagi sinusining sinish burchagi sinusiga nisbati ikkinchi muhitning birinchi muhitga nisbatan nur sindirish ko‘rsatkichini ifodalaydi. Yani* $\frac{sin\alpha}{sin\beta}=\frac{n_2}{n_1}=n_{21}$ *ga teng. Bu ifodaga masala shartidagi qiymatlarni qo‘yib* $n_{21}=\frac{sin30^0}{sin60^0}=\frac{\frac{1}{2}}{\frac{\sqrt{3}}{2}}=\frac{\sqrt{3}}{3}$ *natijani olamiz.*

Javob: *D)* $\frac{\sqrt{3}}{3}$

2. *Agar yorug‘lik qandaydir vaqt davomida bo‘shliqda 45 cm masofa o‘tsa, biror suyuqlikda esa shunday vaqtda 30 cm masofa o‘tsa, bu suyuqlikning sindirish ko‘rsatkichi nimaga teng?*

Berilgan:	*Yechilishi:*
$S_1=45cm$ $S_2=30\ cm$ $c=3\cdot10^8\ m/s$ $n=?$	*Vakuum ham, suyuqlik ham bir jinsli muhit bo‘lganligi sababli yorug‘likning bu muhitlarda tekis xarakatlanib tarqalishi malum. Tekis xarakat uchun bir xil vaqt davomida o‘tgan yo‘llarining nisbati uning shu muhitlardagi tezliklari nisbatini ifodalaydi, yani* $\frac{S_1}{S_2}=\frac{c}{V}$ *bundan* $V=\frac{cS_2}{S_1}=2\cdot10^8 m/s$ *yorug‘likning suyuqlikdagi tezligidan foydalangan holda suyuqlikning sindirish ko‘rsatkichini aniqlaymiz.* $n=\frac{c}{V}=1{,}5$

Javob: *1,5*

SINOV UCHUN BERILGAN

3. *Yorug‘lik to‘lqini bir muhitdan ikkinchi muhitga o‘tganda, tezligi 2 marta oshdi. Shu tizim uchun to‘ia qaytishning chegaraviy burchagi qanday?*

Berilgan:	*Yechilishi:*
$\frac{v_2}{v_1}=2$	*Yorug‘likning sinish qonuniga ko‘ra* $\frac{sin\alpha}{sin\beta}=\frac{n_2}{n_1}=\frac{v_1}{v_2}$ *bundan*
$\beta=90^0$	*to‘la qaytish chegaraviy burchagi* $\alpha=arcsin\frac{1}{2}=30^0$ *ga teng*
$\alpha=?$	

Javob: 30^0

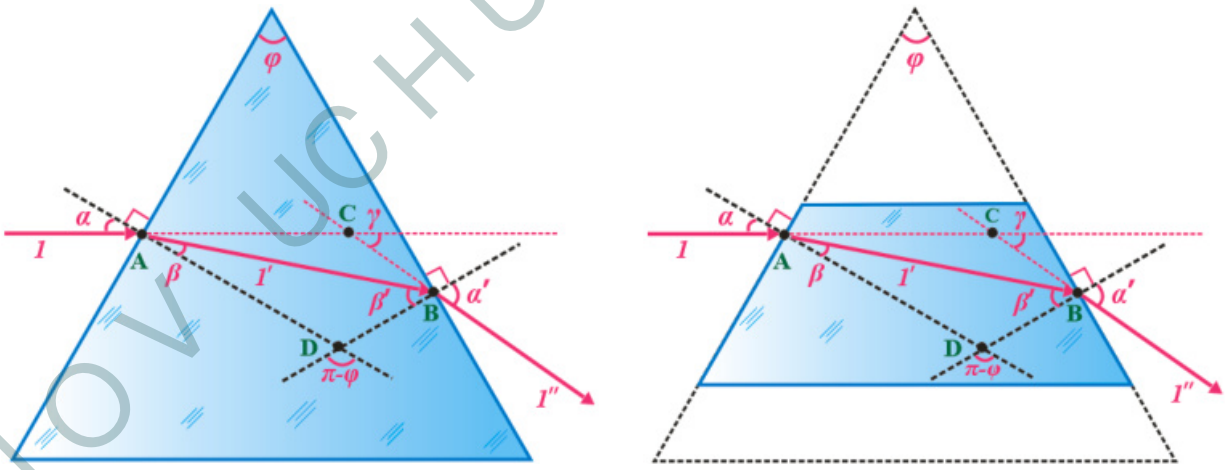
§ 6. NURNING TURLI SHAFFOF JISMLARDAGI YO‘LI.

Ushbu mavzuda yorug‘lik nurining turli shaffof jismlardan qanday o‘tishi yoritiladi. Barcha hollarda ham yorug‘likning sinish qonuniga tayanib ish ko‘riladi. Yorug‘lik nuri optik zichroq muhitga o‘tganda singan nur normal tomonga, optik siyrakroq muhitga o‘tganda esa ikki muhit chegarasi tomonga yaqinlashadi.

Nurning uchburchakli prizmadagi yo‘li:

Nurning shisha prizmadagi yo‘lini tekshirib ko‘raylik. Dastlab nur 1 shisha prizmaning chap yoniga tushadi. Nur havodan shishaga o‘tgani sababli, singan nur $1'$ normal tomonga og‘adi, ya’ni $\beta<\alpha$ bo‘ladi. Yorug‘likning sinish qonunidan sinish burchagi β ni topish mumkin (6.1-rasm).

$$n=\frac{\sin\alpha}{\sin\beta},\ \rightarrow\ \sin\beta=\frac{\sin\alpha}{n},\ \rightarrow\ \beta=\arcsin\frac{\sin\alpha}{n}$$



a) *b)*

6.1-rasm

Ixtiyoriy uchburchakning ichki burchaklari yig‘indisi 180^0 ga tengligidan foydalanib $1'$ nurning prizma ikkinchi yog‘iga tushish burchagi β' ni topish mumkin.

$$\beta+\beta'+\pi-\varphi=\pi,\ \rightarrow\ \beta'=\varphi-\beta=\varphi-\arcsin\frac{\sin\alpha}{n}$$

B nuqtada nur shishadan havoga o‘tayotgani uchun singan nur normaldan uzoqlashib, ikki muhit chegarasiga yaqinlashadi, ya’ni $\beta'<\alpha'$ bo‘ladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

$$n=\frac{\sin\alpha'}{\sin\beta'},\ \rightarrow\ \sin\alpha'=n\cdot\sin\beta'=n\cdot\sin\left(\varphi-\arcsin\frac{\sin\alpha}{n}\right)=n\cdot\sin\varphi\cdot\cos\left(\arcsin\frac{\sin\alpha}{n}\right)+$$

$$+n\cdot\cos\varphi\sin\left(\arcsin\frac{\sin\alpha}{n}\right)=\sin\varphi\cdot\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}+\cos\varphi\cdot\sin\alpha,\ \rightarrow$$

$$\rightarrow\ \alpha'=\arcsin\left(\sin\varphi\cdot\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}+\cos\varphi\cdot\sin\alpha\right).$$

Ixtiyoriy to‘rtburchak ichki burchaklari yig‘indisi 360^0 ga tengligidan foydalanib dastlabki yo‘nalishidan siljish burchagi γ ni topamiz.

$$\alpha+\alpha'+(\pi-\varphi)+(\pi-\gamma)=2\pi,\ \rightarrow\ \gamma=\alpha+\alpha'-\varphi$$

Shunday qilib, uchidagi burchagi φ bo‘lgan teng yonli uchburchakli prizmaning 1-yoniga nur α burchak ostida tushsa, sinish burchagi β, 2-yoniga ichki tarafdan tushish burchagi β', 2-yondan chiqish burchagi α', dastlabki yo‘nalishidan og‘ish burchagi γ quyidagicha (6.1-a,rasm):

$$\begin{cases}\beta=\arcsin\dfrac{\sin\alpha}{n}\\ \beta'=\varphi-\beta=\varphi-\arcsin\dfrac{\sin\alpha}{n}\\ \alpha'=\arcsin\left(\sin\varphi\cdot\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}-\cos\varphi\cdot\sin\alpha\right)\\ \gamma=\alpha+\alpha'-\varphi\end{cases}\qquad\textbf{(6.1)}$$

Yuqoridagi keltirib chiqarilgan formulalar faqatgina teng yonli uchburchakli prizma uchun bajarilmasdan, balki bu prizmadan kesib olingan teng yonli trapetsiyali prizma uchun ham bajariladi (6.1-b,rasm). Bundan ko‘rinadiki, yon tomonga tushganda singan nurni uchburchakli prizma asosi tomonga, trapetsiyali prizma esa katta asosi tomonga og‘dirar ekan.

Yuqoridagi formula va rasmdan foydalanib $1'$ nurning prizma ikkinchi yog‘iga tik holda tushish shartini topish mumkin.

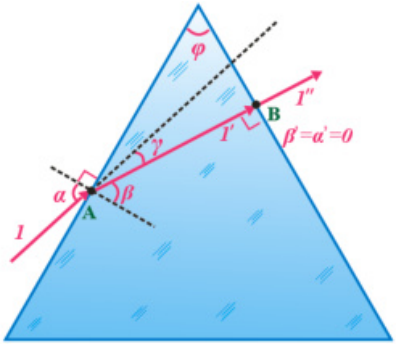
Endi singan nur prizmaning ikkinchi yog‘idan tik holda chiqadigan shartni aniqlaylik. Singan nur prizmaning ikkinchi yon yog‘iga tik holda tushayotgani uchun $\alpha'=\beta'=0$ bo‘ladi. Oldingi chiqarilgan formuladan foydalanamiz.

$$\beta'=\varphi-\beta=\varphi-\arcsin\frac{\sin\alpha}{n}=0,\ \rightarrow\ \varphi=\arcsin\frac{\sin\alpha}{n},\ \rightarrow\ \sin\alpha=n\sin\varphi.$$

$1''$ nur va 1 nur orasidagi burchak quyidagicha bo‘ladi:

$$\gamma=\alpha+\alpha'-\varphi=\alpha-\varphi=\alpha-\beta$$

Demak, tushish burchagi quyidagicha bo‘lganda singan nur prizmaning ikkinchi yog‘idan tik holda chiqib ketar ekan (6.2-rasm).



6.2-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\begin{cases} \varphi = \beta \;\; yoki \;\; \sin\alpha = n\sin\varphi \\ \gamma = \alpha - \varphi = \alpha - \beta \end{cases} \qquad (6.2)$$

6.1-rasmdan shunday savol tug‘iladi: tushish burchagi α ning har qanday qiymatida ham prizmaning ikkinchi yog‘idan nur chiqib keta oladimi? – Yo‘q, bu har doim ham bajarilavermaydi. Singan nur $1'$ prizmaning ikkinchi yog‘iga tushadigan burchak β' ning shunday bir qiymati borki, bunda nur tashqariga chiqmasdan ikki muhit chegarasi bo‘ylab tarqaladi, ya’ni $\beta'=\alpha_0$ bo‘lganda $\alpha'=90^0$ bo‘ladi (6.3-rasm).

Endi prizmaning ikkinchi yog‘ida chegaraviy to‘la ichki qaytish sodir bo‘ladigan shartni aniqlaylik. Nur B nuqtadan tashqariga chiqmasdan ikki muhit chegarasi bo‘ylab borishi uchun B nuqtaga tushish burchagi to‘la ichki qaytishning chegaraviy qiymatiga teng, ya’ni $\beta' = \alpha_0 = \arcsin\frac{1}{n}$ bo‘lishi kerak. Bundan $\sin\beta' = \frac{1}{n}$ va $\cos\beta' = \frac{\sqrt{n^2-1}}{n}$ kelib chiqadi. $\beta' + \beta = \varphi$ hamda $n = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}$ ekanligidan 1 nurning A nuqtaga tushish burchagi α ni yoki uning sinusi ($sin\alpha$) ni topish mumkin.

$$\sin\alpha = n\sin\beta = n\sin(\varphi-\beta') = n(\sin\varphi\cos\beta' - \cos\varphi\sin\beta') = n\left(\sin\varphi\frac{\sqrt{n^2-1}}{n} - \cos\varphi\frac{1}{n}\right) =$$

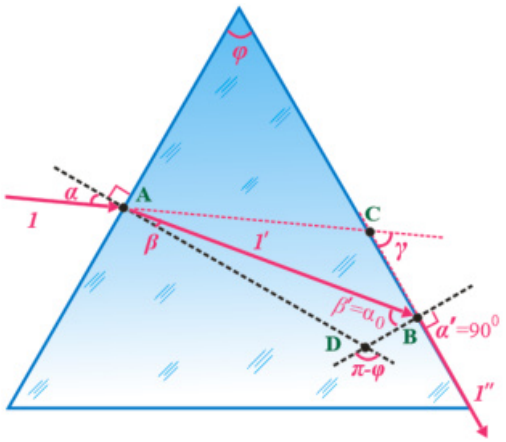
$$= \sin\varphi\sqrt{n^2-1} - \cos\varphi$$

Demak, tushish burchagi

$\sin\alpha = \sin\varphi\sqrt{n^2-1} - \cos\varphi$ yoki

$\alpha = \arcsin\left(\sin\varphi\sqrt{n^2-1} - \cos\varphi\right)$

formuladan topilar ekan. Ixtiyoriy qavariq to‘rtburchakning ichki burchaklari yig‘indisi 360^0 ga tengligidan 1 nur va $1''$ nur orasidagi burchak γ ni topa olamiz.



6.3-rasm

$$\angle A + \angle B + \angle C + \angle D = 2\pi \;\; , \;\; \rightarrow \;\; \alpha + \frac{\pi}{2} + (\pi-\gamma) + (\pi-\varphi) = 2\pi, \;\; \rightarrow \;\; \rightarrow \;\; \gamma = \frac{\pi}{2} + \alpha - \varphi$$

Demak, uchburchakli prizmaning birinchi yog‘iga quyidagicha burchak ostida nur tushganda, ikkinchi yog‘idan nur tashqariga chiqmas ekan (6.3-rasm):

$$\begin{cases} \sin\alpha = \sqrt{n^2-1}\cdot\sin\varphi - \cos\varphi \\ \gamma = \frac{\pi}{2} + \alpha - \varphi \end{cases} \qquad (6.3)$$

Agar 6.3-rasmda nur B nuqtaga to‘la ichki qaytish burchagining chegaraviy qiymatidan katta burchak ostida tushsa, u holda B nuqta $1'$ nur uchun ko‘zgu vazifasini o‘taydi. Natijada to‘la ichki qaytish hodisasi sodir bo‘lib, $1''$ nur prizma

SINOV UCHUN BERILGAN

asosidagi E nuqtaga kelib tushadi. Bu nuqtada ham nur sinib tashqariga chiqadi (6.4-rasm).

$$\beta'+\beta=\varphi$$

ekanligidan

$$\beta'=\varphi-\beta=\varphi-\arcsin\left(\frac{\sin\alpha}{n}\right)$$

kelib chiqadi. ΔBEF ning ichki burchaklari yig‘indisi 180^0ga teng.

$$(\pi/2-\beta')+(\pi/2-\beta'')+(\pi/2-\varphi/2)=\pi,\ \rightarrow\ \beta''=\pi/2-(\varphi/2+\beta')$$

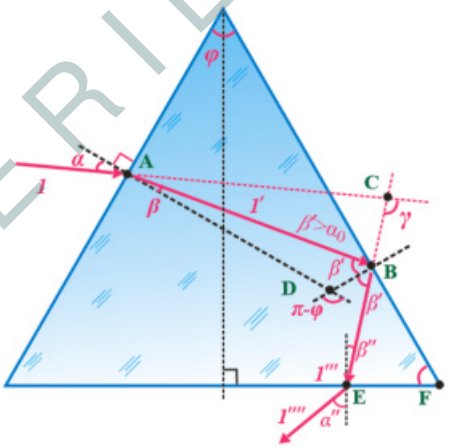
Yorug‘likning sinish qonunidan

$$\alpha''=\arcsin\left(n\sin\beta''\right)$$

kelib chiqadi.

Demak, $\beta'>\alpha_0$ bo‘lganda, β', β'' va α'' burchaklar quyidagicha bo‘lar ekan (7.4-rasm):

$$\begin{cases}\beta'=\varphi-\beta=\varphi-\arcsin\left(\dfrac{\sin\alpha}{n}\right)\\ \beta''=\dfrac{\pi}{2}-\left(\dfrac{\varphi}{2}+\beta'\right)\\ \alpha''=\arcsin\left(n\sin\beta''\right)\end{cases}\qquad (6.4)$$



6.4-rasm

Nurning parallel plastinkadagi yo‘li:

Agar shaffof yoqlari parallel plastinkaga tushsa nima bo‘lishiga qiziqib ko‘raylik. A nuqtadan kirgan nur 1 sinib platinkaning ikkinchi yog‘iga C nuqta o‘rniga D nuqtaga tushadi. ΔABC va ΔABD lardan foydalanib, gorizont bo‘yicha siljish $CD=x$ ni topish mumkin.

$$x=AB\,tg\alpha-AB\,tg\beta=AB\left(tg\alpha-tg\beta\right)=d\left(tg\alpha-\frac{\sin\beta}{\sqrt{1-\sin^2\beta}}\right)=$$

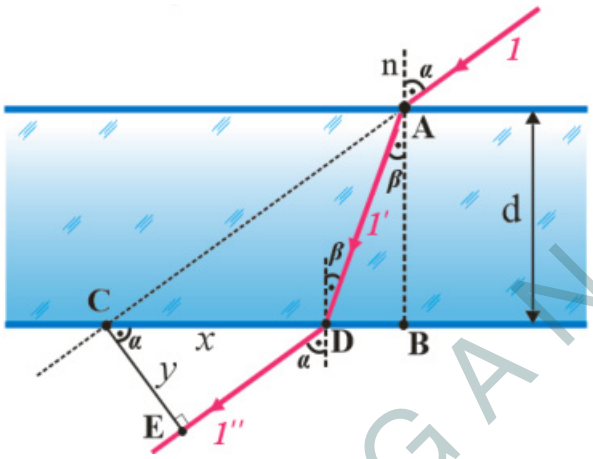
$$=d\left(tg\alpha-\frac{\sin\alpha/n}{\sqrt{1-(\sin\alpha/n)^2}}\right)=\left(\mathrm{tg}\alpha-\frac{\sin\alpha}{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}}\right)d$$

Nurning plastinkaga tushish burchagi plastinkadan chiqib ketish burchagiga teng. Singan $1'$ nur D nuqtadan havoga o‘tib DE chiziq bo‘yicha $1''$ nur bo‘lib tarqaladi. Bu erda $1''$ nur $1'$ nurga parallel bo‘lib bu parallel nurlar orasidagi masofa $CE=y$ bo‘ladi. ΔCDE dan bu siljish masofasi $CE=y$ ni topish mumkin.

$$y=x\cos\alpha=\left(tg\alpha-\frac{\sin\alpha}{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}}\right)\cos\alpha\ d$$

SINOVDAN O‘TGAN ISHLAR UCHUN BERILGAN

Demak, qalinligi d va absalyut sindirish ko‘rsatkichi n bo‘lgan shisha plastinkaning birinchi yog‘iga agar nur α burchak ostida tushsa, nur ikkinchi yog‘idan x masofaga siljigan xolda va dastlabki yo‘nalishidan y masofaga parallel siljigan holda chiqib ketar ekan. Bu siljishlar esa quyidagi formulalardan topilar ekan (6.5-rasm):

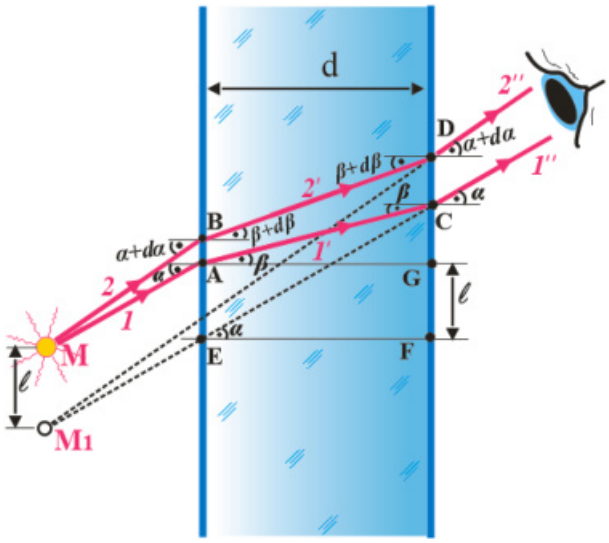


6.5-rasm

$$\begin{cases} x = \left(tg\alpha - \dfrac{\sin\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} \right) d \\ y = \left(tg\alpha - \dfrac{\sin\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} \right) \cos\alpha \; d \end{cases} \qquad (6.5)$$

Yuqoridagi rasm va formulalardan shunday xulosa qilish mumkin. Agar suvda biror d chuqurlikda, D nuqtada baliq turgan bo‘lsa, uni tashqaridagi ovchi C nuqtada turibdi deb o‘ylaydi va qo‘lidagi nayzani C nuqtaga qaratib otadi. Xuddi ovchi kutganday nayza C nuqtaga kelib tushadi, lekin D nuqtadagi baliq seskanib qochib ketadi. Xuddi shuningdek, buyumlarga biror shaffof jism orqali qaralganda ham uning o‘rni o‘zgargandek bo‘lib ko‘rinadi. Bu siljishni aniqlaylik (6.6-rasm).

Agar kuzatuvchi M nuqtadagi yorug‘lik manbaiga qalinligi d, absalyut nur sindirish ko‘rsatkichi n bo‘lgan shisha plastina orqali qarasa, kuzatuvchi manbani M_1 nuqtada ko‘radi. Bunda manbadan chiqqan *1* va *2* nurlar plastinaga A va B nuqtalardan kirib unda sinadi. Singan *1′* va *2′* nurlar plastinaning ikkinchi yog‘iga C va D nuqtalarda tushadi va bu nuqtalarda ikkinchi marta sinadi. Singan *1′* va *2′* nurlar kuzatuvchi ko‘zi diapazoniga tushadi. *1′* va *2′* nurlarning teskari davomlari M_1 nuqtada kesishadi. Kuzatuvchi M manbani ana shu M_1 nuqtada ko‘radi. Bunda M va M_1 nuqtalar orasidagi masofa biz izlayotgan ko‘rinma siljish masofasidir.



6.6-rasm

$$\ell = MM_1 = AE = FG = CF - CG = d\,tg\alpha - d\,tg\beta = d\left(tg\alpha - \frac{\sin\beta}{\cos\beta} \right) = d\left(tg\alpha - \frac{\sin\beta}{\sqrt{1-\sin^2\beta}} \right) =$$

$$= d\left(tg\alpha - \frac{\sin\alpha / n}{\sqrt{1-(\sin\alpha/n)^2}} \right) = \left(tg\alpha - \frac{\sin\alpha}{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}} \right) d$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Demak, qalinroq shaffof jism orqali biror buyumga qaralganda, buyumning ko‘rinma siljish masofasi quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\ell = \left(tg\alpha - \frac{\sin\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} \right) d \qquad (6.6)$$

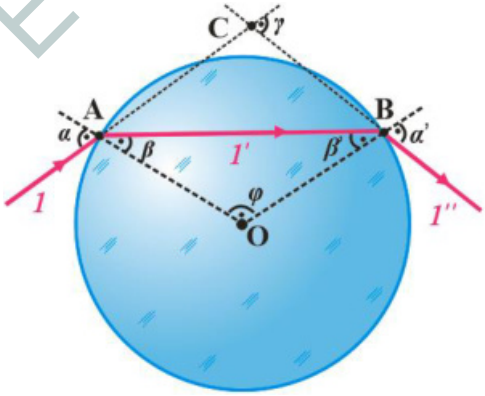
Nurning shardagi yo‘li:

Agar yorug‘lik nuri shar shaklidagi shaffof jismga tushayotgan bo‘lsa, u holda nima hodisa ro‘y beradi? Bunda to‘la ichki qaytish hodisasi ro‘y beradimi? Shu savollarga javob izlab ko‘raylik (6.7-rasm).

Teng yonli uchburchakning asosidagi burchaklari teng bo‘ladi. ΔAOB da $OA=OB=R$ bo‘lgani uchun $\beta'=\beta$ bo‘ladi. Sinish qonuni

$$n = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{\sin\alpha'}{\sin\beta'}$$

ga ko‘ra $\alpha'=\alpha$ bo‘ladi, ya’ni nur sharga qanday burchak ostida tushsa, xuddi shunday burchak ostida chiqib ketadi. ΔABC dan $\angle CAB = \angle CBA = \alpha - \beta$ bo‘ladi. Uchburchakning ixtiyoriy ikkita ichki burchagi uchinchi tashqi burchagiga teng bo‘ladi. Shunga ko‘ra $\gamma = \angle CAB + \angle CBA = 2(\alpha - \beta)$ bo‘ladi. Uchburchakning ichki burchaklar yig‘indisi 180^0 ga tengligidan $\varphi = \pi - (\beta + \beta') = \pi - 2\beta$ ifoda kelib chiqadi.



6.7-rasm

Shunday qilib, agar yorug‘lik nuri shar shaklidagi shaffof jismga ixtiyoriy α burchak ostida tushayotgan bo‘lsa, shardan chiqib ketish burchagi α', nurning dastlabki yo‘nalishdan og‘ish burchagi γ va markaziy burchak φ quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\begin{cases} \alpha' = \alpha \\ \gamma = 2(\alpha - \beta) \\ \varphi = \pi - 2\beta \end{cases} \qquad (6.7)$$

Demak, yorug‘lik nuri sharga ixtiyoriy burchak ostida kelib tushganda ham xuddi shu burchak ostida shardan chiqib ketar ekan va hech qachon chiqishda to‘la ichki qaytish hodisasi kuzatilmas ekan.

Nurning suyuqlikdagi yo‘li, suyuqlikning ko‘rinma chuqurligi:

Yorug‘lik nuri havodan suyuqlik sirtiga biror burchak ostida tushganda, boshqa shaffof jismlardagi kabi singan nur normal tomonga og‘adi. Ana shu og‘ish tufayli suyuqlik ichida turgan jismlarga qaraganda uning geometrik o‘rni o‘zgargandek bo‘lib tuyuladi. Suyuqlik tubiga qaraganda uning tubi xuddi yaqinlashgandek

SINOV UCHUN BERILGAN

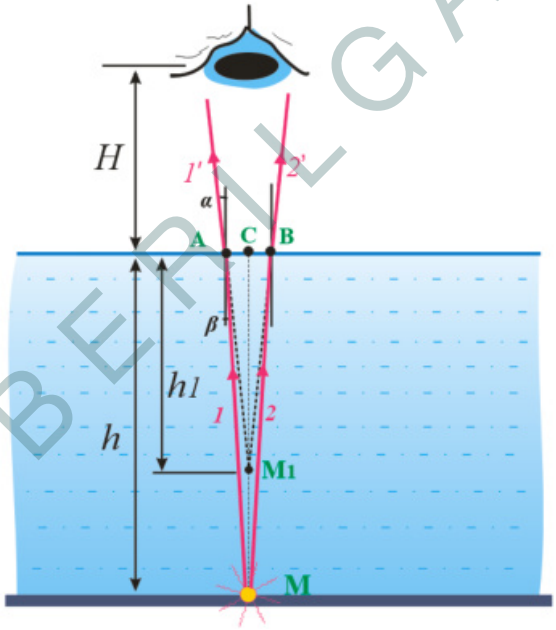
bo‘lib ko‘rinadi. Bunga bo‘sh idishga suyuqlik to‘ldirayotganda kuzatib ishonch hosil qilish mumkin. Suyuqlik ustuni oshgan sari idish tubi tobora yaqinlashib kela boshlaydi (6.8-rasm).



6.8-rasm

Mana shu yuqorida aytib o‘tilgan ko‘rinma chuqurlikni aniqlaylik (6.9-rasm).

Aytaylik idishdagi suyuqlik ustunining balandligi h ga teng bo‘lib, uning tubida M nuqtada yorug‘lik manbai nur taratayotgan bo‘lsin. Tepadan kuzatuvchi tik holda bu manbani kuzatayotgan bo‘lsin. M nuqtadan taralayotgan nurlardan ikkitasi 1 va 2 nurlar suyuqlik sathiga A va B nuqtalarga ancha kichik β burchak ostida tushadi va bu nuqtalarda $\alpha(\alpha>\beta)$ burchak ostida sinadi. Singan 1′ va 2′ nurlar kuzatuvchi ko‘zining ko‘rish diapozoniga tushadi. Singan 1′ va 2′ nurlarning teskari davomlari M_1 nuqtada kesishadi. Kuzatuvchi yorug‘lik manbaini ana shu M_1 nuqtada ko‘radi. Kuzatuvchi ko‘zining old qismining o‘lchami taxminan $\ell=1,2–1,8sm$ bo‘lib bu masofa kuzatuvchini eng yaxshi ko‘rish masofasi $L_0=25sm$ dan turib qaraganda ham ancha farq qiladi, ya’ni $L_0>>\ell$ bo‘ladi. Shu boisdan ham α va β burchaklarni ko‘pi bilan $4–5^0$ dan oshmaydigan kichik burchaklar deb hisoblash mumkin. Kichik burchaklarda esa



6.9-rasm

$$\begin{cases} tg\alpha \approx \sin\alpha \\ tg\beta \approx \sin\beta \end{cases}$$

deb hisoblash mumkin. ΔMAC va ΔM_1AC uchburchaklardan

$$\begin{cases} tg\beta = \dfrac{AC}{CM} = \dfrac{AC}{h} \approx \sin\beta \\ tg\alpha = \dfrac{AC}{CM_1} = \dfrac{AC}{h_1} \approx \sin\alpha \end{cases}$$

bo‘ladi. Bularning nisbati esa

$$n = \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} = \frac{h}{h_1}$$

bo‘ladi. Bundan

SINOV UCHUN BERILGAN

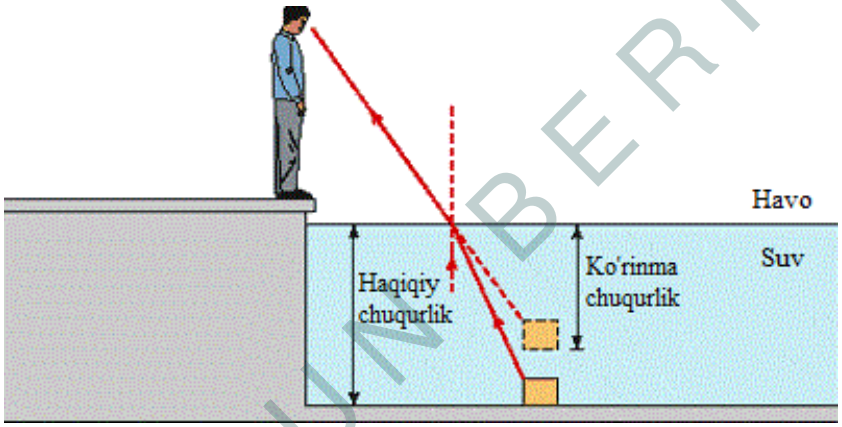
$$h_1 = \frac{h}{n}$$

kelib chiqadi. Demak, suyuqlikning ko‘rinma chuqurligi aslidagidan n marta sayoz bo‘lar ekan.

Shunday qilib, suyuqlik ustunining balandligi h bo‘lgan suyuqlik tubiga tik holda qaraganda, uning ko‘rinma chsqurligi h_1 quyidagicha bo‘lar ekan (7.9-rasm):

$$h_1 = \frac{h}{n} \qquad \textbf{(6.8)}$$

Demak, yuqorida keltirib chiqarilgan formuladan shunday xulosa qilish mumkinki, bu ko‘rinma masofa geometrik masofadan kamroq bo‘lar ekan. Buni dayoning tiniq jilg‘alarida suzib yurgan baliqni kuzatganda ham yoki suv ostidagi toshlarga qarab ham bilish mumkin (6.10-rasm).



6.10-rasm

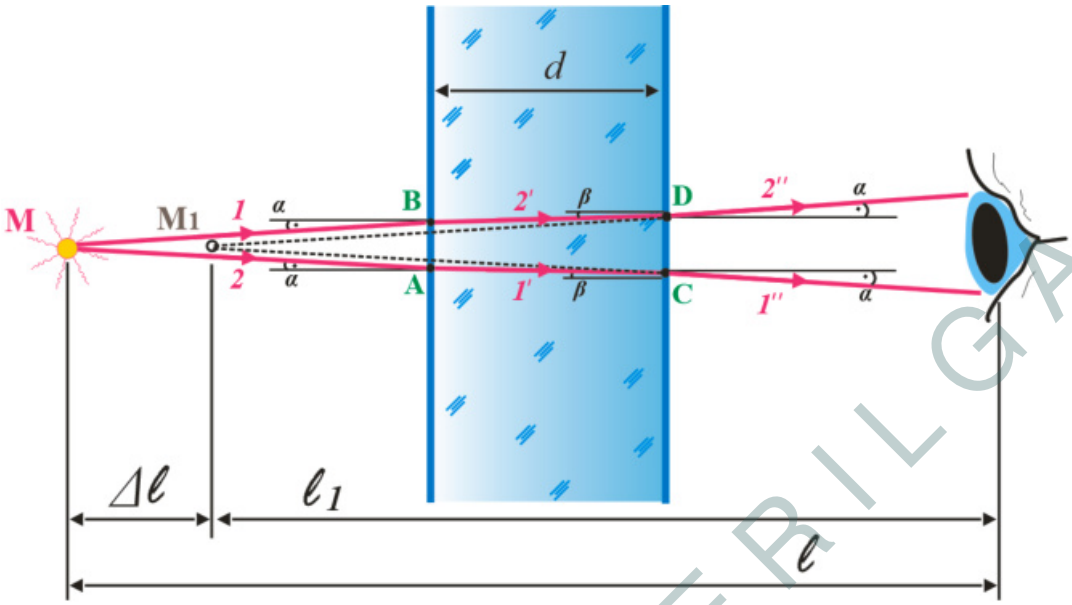
Agar kuzatuvchining ko‘zi va suv sirti orasidagi masofa H, suvning chuqurligi h va suvning sindirish ko‘rsatkichi ma’lum bo‘lsa, u holda kuzatuvchi va suv tubidagi M manbanin ko‘rinma o‘rni orasidagi masofani aniqlash mumkin bo‘ladi (6.9-rasm).

$$H_{um} = H + h_1 = H + \frac{h}{n} \qquad \textbf{(6.9)}$$

Demak, yuqorida keltirib chiqarilgan ikkala formuladan shunday xulosa qilish mumkinki, bu ko‘rinma masofa geometrik masofadan kamroq bo‘lar ekan. Bu hodisa nafaqat suvning ichidagi biror jismni kuzatishda seziladi, balki uni kuzatuvchi va kuzatiladigan jism yoki biror manba orasidagi bo‘sliqqa biror qalinlikdagi shaffof plastina kiritib ham kuzatish mumkin (6.11-rasm). Bunda kuzatuvchi va M manba orasidagi masofa yaqinlashandek bo‘lib ko‘rinadi, ya’ni M manbaning ko‘rinma o‘rni M_1 nuqtaga ko‘chgandek bo‘ladi. Agar kuzatuvch va M manba orasidagi ℓ masofa, kiritilgan shaffof plastinaning d qalinligi va plastinaning n absalyut nur sindirish ko‘rsatkichi berilsa, manbaning kuzatuvchiga $\Delta\ell$ yaqinlashish masofasi hamda kuzatuvchidan manbaning ko‘rinma o‘rnigacha ℓ_1 masofalarni osongina aniqlash mumkin bo‘ladi.

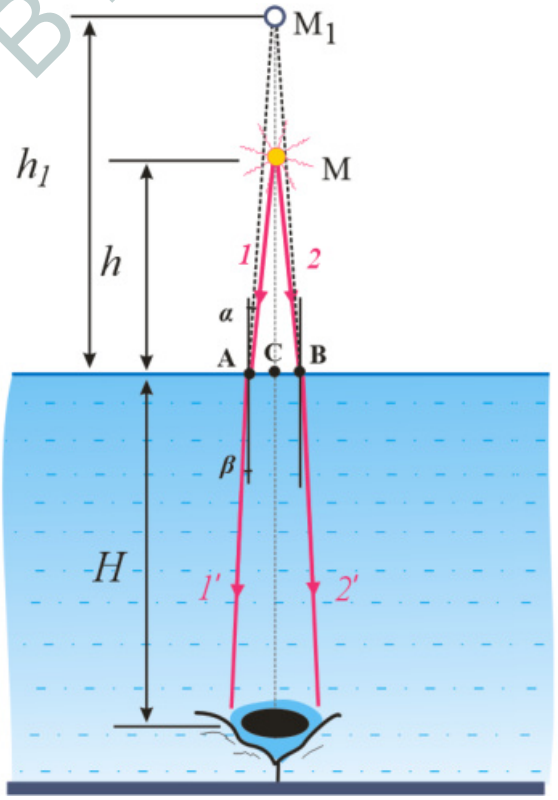
SINOV UCHUN BERILGAN

$$\Delta\ell = \frac{n-1}{n}\ell, \qquad \ell_1 = \ell - d + \frac{d}{n} \tag{6.10}$$



6.11-rasm

6.9-rasm hamda 6.10-rasmlarda suyuqlik ichida turgan jismga yoki biror yorug‘lik manbaiga tashqaridan turib qaraganda jism yoki manbaning ko‘rinma o‘rni kuzatuvchiga xuddi yaqinlashgandek bo‘lib ko‘rinishi tasvirlangan. Nafaqat bunday hollarda, balki buning aksi bo‘lganda ham, ya’ni suyuqlik ichidan turib tashqaridagi jismga yoki yorug‘lik manbaiga qaraganda ham jism yoki manbaning ko‘rinma o‘rni kuzatuvchiga o‘zgargandek bo‘ladi. Shuni alihida eslatib o‘tish kerakki, bunday hollarda jism yoki yorug‘lik manbaining ko‘rinma o‘rni kuzatuvchiga uzoqlashgandek bo‘lib ko‘rinadi (6.12-rasm).



6.12-rasm

Suyuqlikdan tashqarida turgan *M* yorug‘lik manbaidan suyuqlik sirtigacha bo‘lgan masofa h ga, suyuqlik ichidagi kuzatuvchining ko‘z qorachig‘idan suyuqlik sirtigacha masofa *H* ga, suyuqlikning absalyut nur sindirish ko‘rsatkichi *n* ga teng bo‘lib, bizdan *M* manbaning ko‘rinma o‘rni M_1 nuqtani aniqlash so‘ralgan bo‘lsin.

SINOV UCHUN BERILGAN

M nuqtadan taqralayotgan nurlardan ikkitasi 1 va 2 nurlar suyuqlik sathiga A va B nuqtalarga ancha kichik α burchak ostida tushadi va bu nuqtalarda $\alpha(\alpha>\beta)$ burchak ostida sinadi. Singan $1'$ va $2'$ nurlar kuzatuvchi ko‘zining ko‘rish diapozoniga tushadi. Singan $1'$ va $2'$ nurlarning teskari davomlari M_1 nuqtada kesishadi. Kuzatuvchi yorug‘lik manbaini ana shu M_1 nuqtada ko‘radi. 6.12-rasmdagi α va β burchaklarni ko‘pi bilan $4–5^0$ dan oshmaydigan kichik burchaklar bo‘lgani uchun

$$\begin{cases} tg\alpha \approx \sin\alpha \\ tg\beta \approx \sin\beta \end{cases}$$

deb hisoblash mumkin. ΔMAC va ΔM_1AC uchburchaklardan

$$\begin{cases} tg\beta = \dfrac{AC}{CM} = \dfrac{AC}{h_1} \approx \sin\beta \\ tg\alpha = \dfrac{AC}{CM_1} = \dfrac{AC}{h} \approx \sin\alpha \end{cases}$$

bo‘ladi. Sistemadagi tenglamalarning nisbati esa

$$n = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{h_1}{h}$$

bo‘ladi. Bundan

$$h_1 = nh$$

kelib chiqadi. Demak, suyuqlikning ko‘rinma chuqurligi aslidagidan n marta sayoz bo‘lar ekan.

Shunday qilib, suyuqlik ichidan turib tashqaridagi buyumga yoki yorug‘lik manbaiga qaralganda manbaning suyuqlik sirtidan h balandlik masofasining ko‘rinma balandligi h_1 quyidagicha bo‘lar ekan (6.12-rasm):

$$\boxed{h_1 = nh} \qquad \textbf{(6.11)}$$

Bunda kuzatuvchi va M manbaning ko‘rinma o‘rni orasidagi masofa quyidagicha bo‘ladi:

$$\boxed{H_{um} = H + h_1 = H + nh} \qquad \textbf{(6.12)}$$

Agar kuzatuvchi suyuqlik tubiga tepasidan turib emas, balki biror burchak ostida qiyalatib qarasa, u holda suyuqlik tubi yanada yaqinlashgandek bo‘ladi. Undan tashqari geometrik soya sohadagi nuqtalarni ham ko‘rish imkoni bo‘ladi.

Suyuqlik sirtidan h chuqurlikdagi manba tashqaridagi kuzatuvchiga α burchak ostida ko‘rinsa, suyuqlikning ko‘rinma chuqurligi h_2 hamda gorizontal siljish Δx quyidagicha bo‘ladi (6.13-rasm):

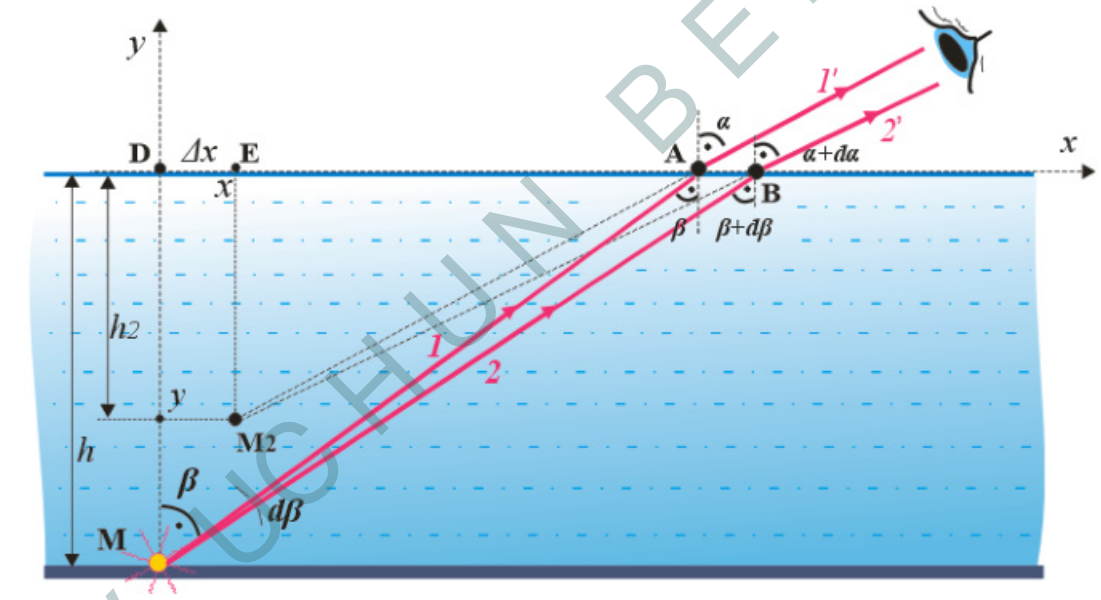
$$\boxed{\Delta x = \frac{\sin^3\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}}h, \qquad h_2 = \frac{\cos^3\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}}h} \qquad \textbf{(6.13)}$$

Yuqoridagi formulani isbotlab, keltirib chiqaramiz. Aytaylik idishdagi suyuqlik ustunining balandligi h ga teng bo‘lib, uning tubida M nuqtada yorug‘lik manbai

SINOV UCHUN BERILGAN

nur taratayotgan bo‘lsin. Bu nuqtadan chiqqan nurlardan *1* va *2* nurlar suyuqlik sathiga *A* va *B* nuqtalarga β va $\beta+d\beta$ burchak ostida tushadi. So‘ngra β va $\beta+d\beta$ burchak ostida sinadi va singan 1′ va 2′ nurlar kuzatuvchi ko‘zining ko‘rish diapozoniga tushadi. Singan 1′ va 2′ nurlarning teskari davomlari M_2 nuqtada kesishadi. Kuzatuvchi ko‘zining old qismining o‘lchami taxminan $\ell=1{,}2–1{,}8sm$ bo‘lib, bu masofa kuzatuvchi eng yaxshi ko‘rish masofasi $L_0=25sm$ dan turib qaraganda ham ancha farq qiladi, ya’ni $L_0>>\ell$ yoki $h>>AB$ bo‘ladi. Shu boisdan ham α va β burchaklar $1–2^0$ dan oshmaydigan kichik burchaklar deb hisoblash mumkin. *1* va *2* nurlarning suyuqlik sathini kesadigan nuqtalarigacha masofalar *AD* va *BD* ni berilgan *h* va α kattaliklar orqali ifodalaymiz.

$$\begin{cases} AD = h\,tg\beta = h\dfrac{\sin\beta}{\sqrt{1-\sin^2\beta}} = h\dfrac{\sin\alpha/n}{\sqrt{1-(\sin\alpha/n)^2}} = h\dfrac{\sin\alpha}{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}} \\ BD = h\,tg\beta = h\dfrac{\sin(\beta+d\beta)}{\sqrt{1-\sin^2(\beta+d\beta)}} = h\dfrac{\sin(\alpha+d\alpha)/n}{\sqrt{1-(\sin(\alpha+d\alpha)/n)^2}} = h\dfrac{\sin(\alpha+d\alpha)}{\sqrt{n^2-\sin^2(\alpha+d\alpha)}} \end{cases}$$



6.13-rasm

D nuqtani markaz qilib Dekart koordinatalar sistemasini o‘tkazamiz va bu koordinatalar sistemasida singan 1′ va 2′ nurlarning $y=k\,x+b$ ko‘rinishidagi to‘g‘ri chiziq tenglamasini yozamiz.

$$\begin{cases} y = k_1x + b_1 = tg(90^0-\alpha)\,x + b_1 = ctg\alpha\,x + b_1 \\ y = k_2x + b_2 = tg(90^0-(\alpha+d\alpha))\,x + b_2 = ctg(\alpha+d\alpha)\,x + b_2 \end{cases}$$

$y=0$ da bu to‘g‘ri chiziqlar Ox o‘qi bilan kesishadi, shundan b_1 va b_2 ozod sonlarni topamiz.

$$\begin{cases} ctg\alpha\cdot AD + b_1 = 0 \\ ctg(\alpha+d\alpha)\cdot BD + b_2 = 0 \end{cases}; \quad \rightarrow$$

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\rightarrow \begin{cases} b_1 = -ctg\alpha \cdot AD = -\dfrac{\cos\alpha}{\sin\alpha} \cdot h \dfrac{\sin\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} = -\dfrac{\cos\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} h \\ b_2 = -ctg(\alpha + d\alpha) \cdot BD = -\dfrac{\cos(\alpha + d\alpha)}{\sin(\alpha + d\alpha)} h \dfrac{\sin(\alpha + d\alpha)}{\sqrt{n^2 - \sin^2(\alpha + d\alpha)}} = -\dfrac{\cos(\alpha + d\alpha)}{\sqrt{n^2 - \sin^2(\alpha + d\alpha)}} h \end{cases}$$

Demak, $1'$ va $2'$ nurlarning to‘g‘ri chiziq tenglamalari quyidagi ko‘rinishda bo‘lar ekan:

$$\begin{cases} y = ctg\alpha\, x + b_1 = ctg\alpha\, x - \dfrac{\cos\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} h = \dfrac{\cos\alpha}{\sin\alpha} x - \dfrac{\cos\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} h \\ y = ctg(\alpha + d\alpha)\, x + b_2 = ctg(\alpha + d\alpha)\, x - \dfrac{\cos(\alpha + d\alpha)}{\sqrt{n^2 - \sin^2(\alpha + d\alpha)}} h = \end{cases}$$

$$= \frac{\cos(\alpha + d\alpha)}{\sin(\alpha + d\alpha)} x - \frac{\cos(\alpha + d\alpha)}{\sqrt{n^2 - \sin^2(\alpha + d\alpha)}} h$$

Bu to‘g‘ri chiziqlar kesishgan nuqtaning koordinatalari biz izlayotgan kattaliklardir. Grafiklar kesishganda esa ularning koordinatalari tenglashadi.

$$\frac{\cos\alpha}{\sin\alpha} x - \frac{\cos\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} h = \frac{\cos(\alpha + d\alpha)}{\sin(\alpha + d\alpha)} x - \frac{\cos(\alpha + d\alpha)}{\sqrt{n^2 - \sin^2(\alpha + d\alpha)}} h, \quad \rightarrow$$

$$\rightarrow \quad \frac{\sin(\alpha + d\alpha) \cdot \cos\alpha - \cos(\alpha + d\alpha) \cdot \sin\alpha}{\sin(\alpha + d\alpha) \cdot \sin\alpha} x = \left[\frac{\cos\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} - \frac{\cos(\alpha + d\alpha)}{\sqrt{n^2 - \sin^2(\alpha + d\alpha)}} \right] h, \quad \rightarrow$$

$$\rightarrow \quad \frac{\sin(\alpha + d\alpha - \alpha)}{\sin(\alpha + d\alpha) \cdot \sin\alpha} x \approx \frac{\cos\alpha - \cos(\alpha + d\alpha)}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} h, \quad \rightarrow \quad \frac{\sin d\alpha}{\sin^2\alpha} x \approx$$

$$\approx \frac{\cos\alpha - \cos\alpha \cdot \cos d\alpha + \sin\alpha \cdot \sin d\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} h, \quad \rightarrow \quad \frac{\sin d\alpha}{\sin^2\alpha} x = \frac{\sin\alpha \cdot \sin d\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} h, \rightarrow \quad x = \frac{\sin^3\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} h.$$

$$y = \frac{\cos\alpha}{\sin\alpha} x - \frac{\cos\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} h = \frac{\cos\alpha}{\sin\alpha} \frac{\sin^3\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} h - \frac{\cos\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} h =$$

$$= \frac{\cos\alpha(\sin^2\alpha - 1)}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} h = -\frac{\cos^3\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} h.$$

Shunday qilib, $1'$ va $2'$ nurlarning teskari davomlari $M_2(x; y)$ nuqtada, ya’ni

$$x = \frac{\sin^3\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} h \text{ va } y = -\frac{\cos^3\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} h$$

koordinatalarga ega bo‘lgan nuqtada kesishar ekan. Bundan gorizontal yo‘nalishdagi siljish

$$\Delta x = x = \frac{\sin^3\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} h$$

hamda ko‘rinma chuqurlik

$$h_2 = -y = \frac{\cos^3\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} h$$

ekanligi kelib chiqadi.

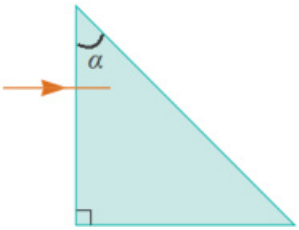
SINOV UCHUN BERILGAN

Mavzu yuzasidan savollar

1. *Yorug‘lik nuri uchburchakli prizmadan o‘tganda qaysi tomonga qarab og‘adi.*
2. *Yorug‘lik nurining uchburchakli prizmadan o‘tganda qanday burchak bilan chiqishini va dastlabki yo‘nalishdan qanchaga og‘ishini yozib bering.*
3. *Qanday shart bajarilganda uchburchakli prizmaning ikkinchi yog‘ida to‘la ichki qaytishning chegaraviy holati kuzatiladi.*
4. *Nurning parallel plastinkadagi yo‘lini chizib bering va siljishlarni yozing.*
5. *Buyumga qalinroq shisha plastinka bilan qaralganda uning o‘rni qanchaga siljigandek ko‘rinadi.*
6. *Nurning shisha shardagi yo‘lini chizing. Bunda chiqish burchagi qanday bo‘ladi, to‘la ichki qaytish kuzatiladimi?*
7. *Suyuqlikli idish tubiga tepadan qaralganda ko‘rinma chuqurlik qanday bo‘ladi?*
8. *Suyuqlikli idish tubiga qiya burchak ostida qaralganda ko‘rinma chuqurlik gorizontal siljish qanday bo‘ladi?*

Masala yechish:

1. *Rasmda ko‘rsatilgandek havodan tushayotgan nur sindirish ko‘rsatkichi 2 bo‘lgan prizmaning ichida ichki tomondan to‘la qaytishi uchun α burchakning eng kichik qiymati necha gradus bo‘lishi kerak?*

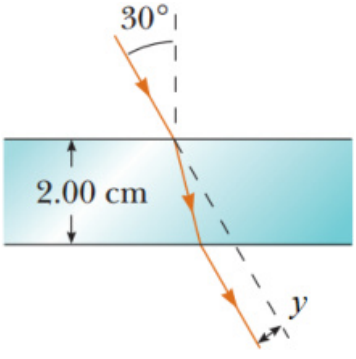


A) 30 B) 15 C) 45 D) 60 E) 75

Berilgan:	*Yechilishi:*
$n=2$	*Chizmadan ko‘rinadiki to‘la qaytish chegaraviy burchagi* $\alpha_0 = 90^0 - \alpha$ *ga teng. Bundanto‘la qaytish chegaraviy burchagi ifodasiga ko‘ra* $\cos\alpha_0 = \frac{1}{n} = \frac{1}{2}$ *demak* $\alpha_0 = 30^0$
$\alpha - ?$	

Javob: *A)* 30^0

2. *Rasmda ko‘rsatilgandek shaffof yassi parallel plastinka sirtiga* $\alpha=30^0$ *burchak ostida nur tushmoqda. Plastinkaning absalyut nur sindirish ko‘rsatkichi n=1,5 ga, qalinligi d=2 cm ga teng. Quyidagilarni aniqlang: a) Nurning plastinaga kirishdagi sinish burchagi β ni; b) nurning plastinadan chiqgandan keyingi parallel siljishi y ni; c) nurning plastina ichidan chiqish vaqti t ni.*



SINOV UCHUN BERILGAN

Berilgan:	*Yechilishi:*
$\alpha = 30^0$ $n = 1{,}5$ $d = 2\,cm$ $\beta, y, t - ?$	*Yorug'likning sinish qonuniga ko'ra sinish burchagi* $n = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta},\ \rightarrow \sin\beta = \frac{\sin\alpha}{n} = \frac{\sin 30^0}{1{,}5} = \frac{1}{3},\ \rightarrow \beta = \arcsin\left(\frac{1}{3}\right) = 21{,}63^0$ *bo'ladi.*

Siljish masofasi y ni mavzuda keltirib chiqarilgan tayyor formula yordamida aniqlaymiz.

$$y = \left(tg\alpha - \frac{\sin\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}}\right)\cos\alpha \cdot d = \left(tg30^0 - \frac{\sin 30^0}{\sqrt{n^2 - \sin^2 30^0}}\right)\cos 30^0 \cdot d =$$

$$= \left(\frac{1}{\sqrt{3}} - \frac{1/2}{\sqrt{2{,}25 - 0{,}25}}\right)\cdot\frac{\sqrt{3}}{2}\cdot 2\,cm = \left(1 - \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}}\right)cm \approx 0{,}388\ cm$$

Nurning plastina ichidagi geometrik yo'lini hamda tarqalish tezligini topamiz.

$$\cos\beta = \frac{d}{\ell},\ \rightarrow\ \ell = \frac{d}{\cos\beta} = \frac{d}{\sqrt{1 - \sin^2\beta}} = \frac{2\,cm}{\sqrt{1 - \frac{1}{9}}} = \frac{3}{\sqrt{2}}cm = 2{,}12\ cm$$

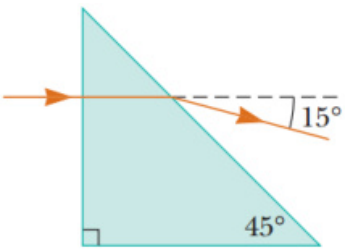
$$n = \frac{c}{\vartheta},\ \rightarrow\ \vartheta = \frac{c}{n} = \frac{3\cdot 10^8\ m/s}{1{,}5} = 2\cdot 10^8\ m/s$$

Endi esa nurning plastinadan chiqish vaqti t ni aniqlaymiz.

$$\vartheta = \frac{\ell}{t},\ \rightarrow\ t = \frac{\ell}{\vartheta} = \frac{2{,}12\cdot 10^{-2} m}{2\cdot 10^8\ m/s} = 1{,}06\cdot 10^{-10} s = 106\ ps$$

Javob: $\beta = 21{,}63^0;\ y \approx 0{,}388\ cm;\ t = 106\ ps$

3. *Lazer dastasi ichki burchaklari 45^0, 45^0, 90^0 bo'lgan teng yonli shisha prizmaning bir yog'iga rasmda ko'rsatilgani kabi tik holda tushmoqda. Prizma gipotenuzasidan chiqqan nur dastlabki tushuvchi nur yo'nalishi bilan 15^0 burchak tashkil etadi. Prizmaning absalyut nur sindirish ko'rsatkichini aniqlang.*



Berilgan:	*Yechilishi:*
$\alpha = 0^0$ $\Delta\varphi = 15^0$ $n - ?$	*Rasmdan ham ko'rinib turibdiki, prizmaning gipotenuzasiga lazer dastasi ichkari tomondan $\beta' = 45^0$ burchak ostida tushib, tashqariga $\alpha' = \beta' + \Delta\varphi = 45^0 + 15^0 = 60^0$ burchak ostida chiqadi. Bundan foydalanib, prizmaning absalyut nur sindirish ko'rsatkichini aniqlash mumkin.*

$$n = \frac{\sin\alpha'}{\sin\beta'} = \frac{\sin 60^0}{\sin 45^0} = \frac{\sqrt{3}/2}{\sqrt{2}/2} = \sqrt{1{,}5} \approx 1{,}225$$

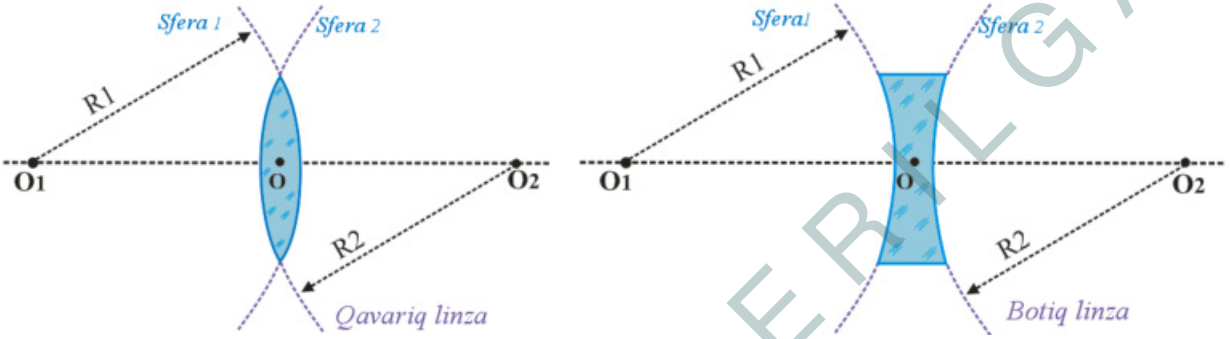
Javob: *n=1,225*

SINOV UCHUN BERILGAN

§ 7. LINZALAR VA UNING TURLARI. NURNING LINZADAGI YO‘LI. LINZADA TASVIR YASASH. YUPQA LINZA FORMULASI. LINZA FORMULASIDAN KELIB CHIQADIGAN NATIJALAR.

Linza va uning turlari:

Ikkita sferik sirt bilan chegaralangan shaffof muhitga ***linza*** deyiladi. Linzaning botiq va qavariq turlari bor. Agar ikki sfera kesishgan soha shaffoof muhit bo‘lsa, bunday linza ***qavariq linza*** bo‘ladi (7.1-a,rasm). Agar ikki sfera kesishmasa, ular orasidagi shaffof muhit ***botiq linza***ni hosil qiladi (7.1-b,rasm).



a) *b)*

7.1-rasm

Botiq linzaning o’rta qismi chetki qismidan yupqaroq bo‘ladi (8.2-a,rasm). Qavariq linzaning o’rta qismi chetki qismidan qalinroq bo‘ladi (8.2-b,rasm).

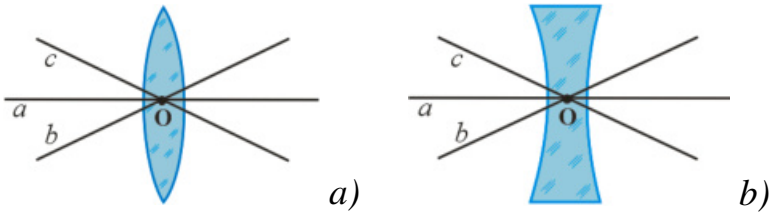


a) *b)*

7.2-rasm

Linzaning qavariqlik markazini ***egrilik markazi***, simmetriya o‘qini ***bosh optik o‘q*** deyiladi. Linza markazi *O* nuqtani esa ***optik markaz***, optik markaz orqali o‘tuvchi har qanday o‘qni ***optik o‘q*** deyiladi (8.3-a,b,rasm).

O – ortik markaz;
b,*c* – optik o‘qlar;
a – bosh optik o‘q.



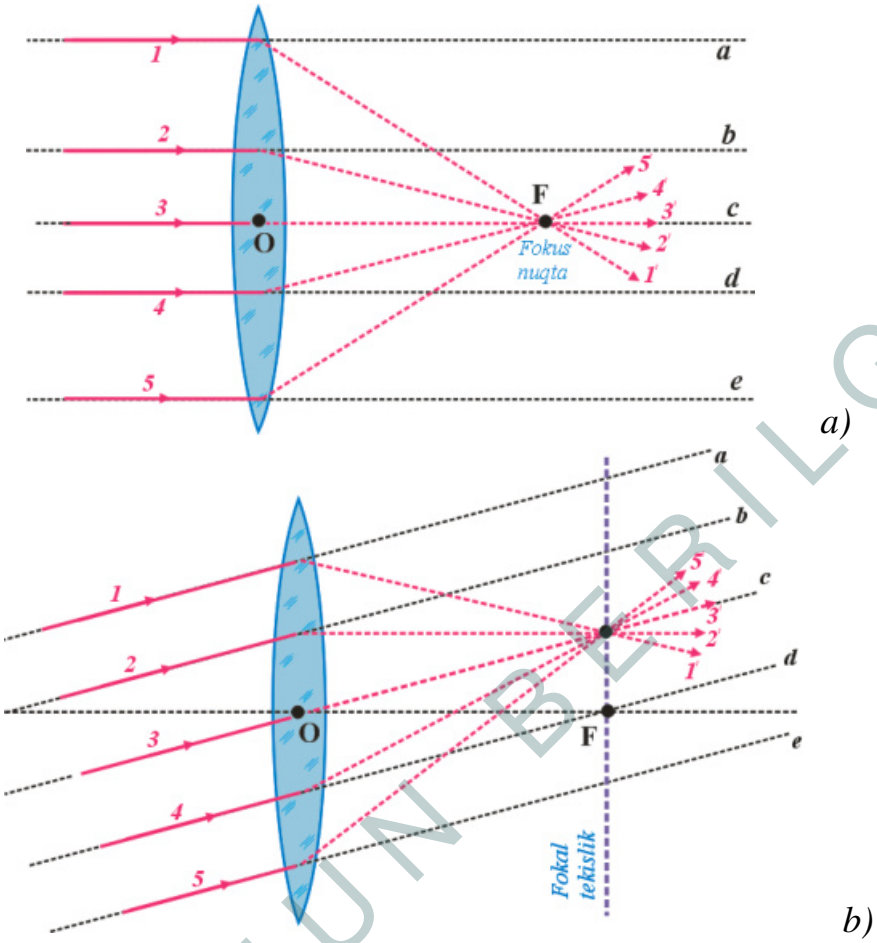
a) *b)*

7.3-rasm

Qavariq linzani ***yig‘uvchi linza*** deb ham ataladi. Agar yig‘uvchi linzaning bosh optik o‘qiga parallel holda yorug‘lik nurlari tushirilsa, qaytgan yorug‘lik nurlari yig‘ilish xususiyatiga ega bo‘lib, yig‘ilgan nurlar ***fokus*** deb ataluvchi bitta *F* nuqtada kesishadi (7.4-a, rasm). Linza fokusidan bosh optik o‘qqa perpendikulyar holda o‘tkazilgan tekislikni ***fokal tekislik*** deyiladi. Agar parallel nurlar dastasi

SINOV UCHUN BERILGAN

yig‘uvchi linzaga biror burchak ostida tushsa, qaytgan nurlar fokal tekislikda bita nuqtada kesishadi(7.4-b, rasm).



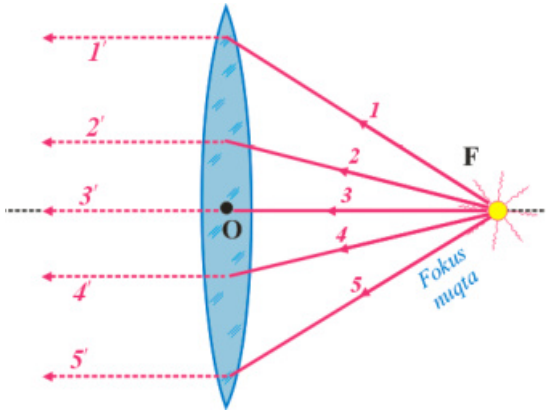
7.4-rasm

Yuqoridagi rasmlardan ko‘rinib turibdiki, linzani optik markazi *O* nuqta orqali o‘tuvchi nurgina sinmasdan o‘tar ekan (rasmda nur 3 sinmaydi). Optik markazdan uzoroq dan o‘tgan nurlar kuchliroq sinadi va barcha nurlar bitta nuqtada kesishadi. Bu nuqta fokus nuqta yoki fokal tekislikda yotuvchi nuqta bo‘lishi mumkin. Barcha nurlar optik markazdan o‘tuvchi nur fokal tekislik bilan kesishadigan nuqtaga yig‘iladi. Bundan shunday savol tug‘iladi:

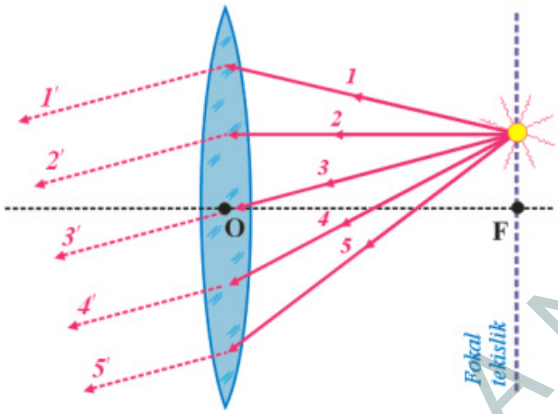
Yig‘uvchi linzaga tushayotgan parallel nurlar dastasi fokus nuqtasida yoki fokal tekislikda biror nuqtada yig‘ilar ekan, yorug‘lik manbaini fokus nuqtasiga yoki fokal tekislikdagi biror nuqtaga joylasak nima bo‘ladi? – Bunda quyidagi rasmda ko‘rsatilgani kabi parallel nurlar dastasi olinadi.

Botiq linzani ***sochuvchi linza*** deb ham ataladi. Agar sochuvchi linzaning bosh optik o‘qiga parallel holda yorug‘lik nurlari tushirilsa, qaytgan yorug‘lik nurlari sochilish xususiyatiga ega bo‘lib, sochilgan nurlarning teskari davomlari ***fokus*** deb ataluvchi bitta *F* nuqtada kesishadi (7.6-a, rasm). Agar parallel nurlar dastasi sochuvchi linzaga biror burchak ostida tushsa, qaytgan nurlarning teskari davomlari fokal tekislikda bitta nuqtada kesishadi (7.6-b, rasm).

SINOV UCHUN BERILGAN

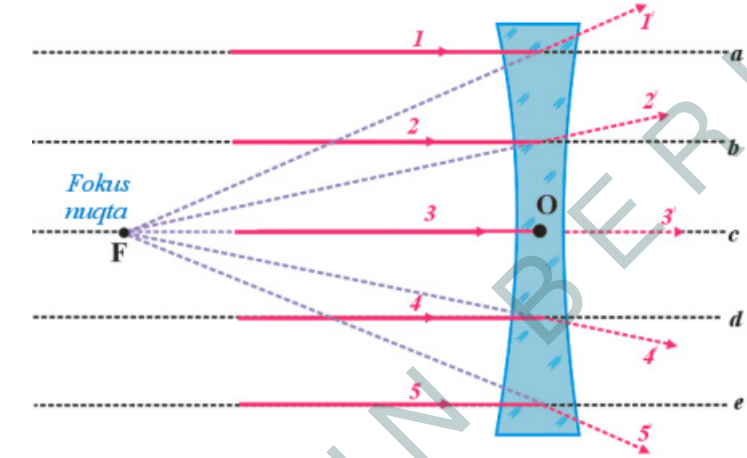


a)

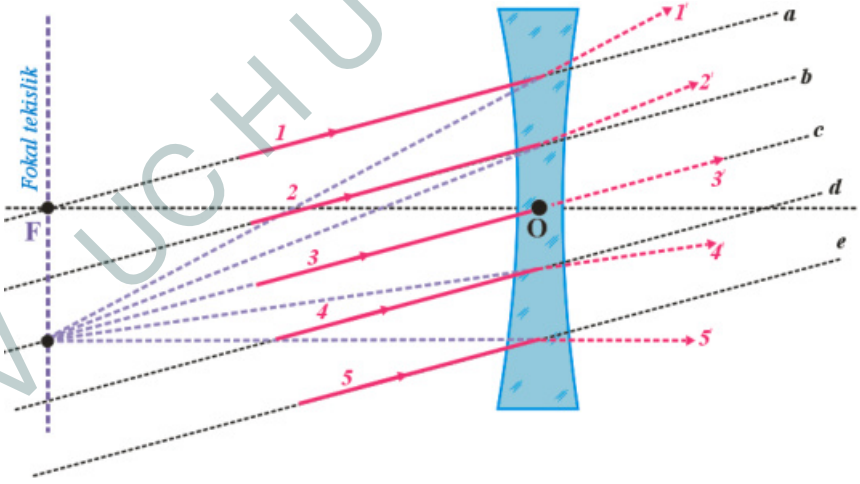


b)

7.5-rasm



a)



b)

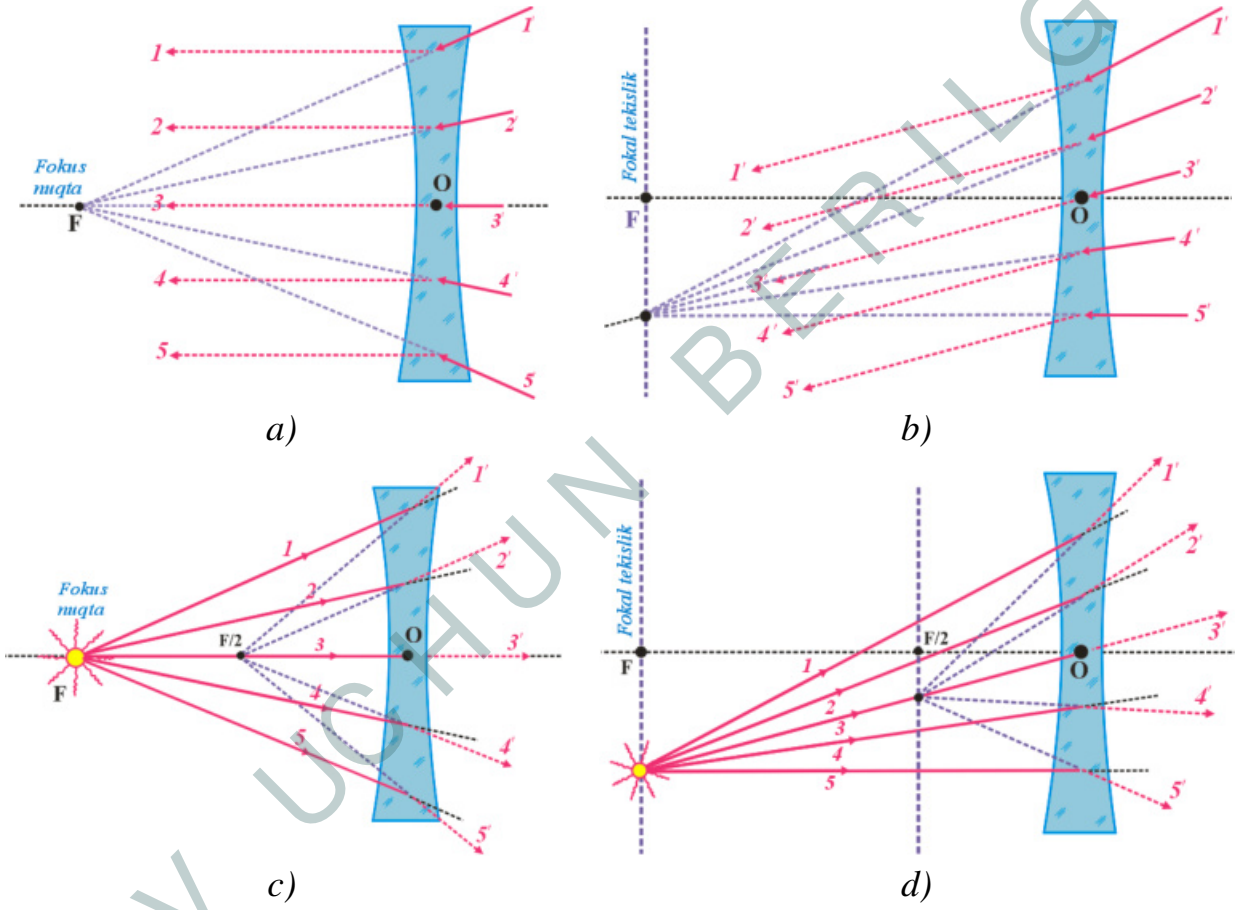
7.6-rasm

Yuqoridagi rasmlardan ko‘rinib turibdiki, linzani optik markazi *O* nuqta orqali o‘tuvchi nurgina sinmasdan o‘tar ekan (rasmda nur 3 sinmaydi). Optik markazdan uzoroq dan o‘tgan nurlar kuchliroq sinadi va barcha nurlarning teskari davomlari bitta nuqtada kesishadi. Bu nuqta fokus nuqta yoki fokal tekislikda yotuvchi nuqta bo‘lishi mumkin. Barcha nurlarning teskari davomlari optik markazdan o‘tuvchi nur fokal tekislik bilan kesishadigan nuqtaga yig‘iladi. Bundan shunday savol tug‘iladi:

SINOV UCHUN BERILGAN

Sochuvchi linzaga tushayotgan parallel nurlar dastasining teskari davomlari fokus nuqtasida yoki fokal tekislikda biror nuqtada yig‘ilar ekan, yorug‘lik nurlarini fokus nuqtasiga yoki fokal tekislikdagi biror nuqtaga yo‘naltirsak nima bo‘ladi? – Bunda 7.7-a,b rasmda ko‘rsatilgani kabi parallel nurlar dastasi olinadi.

Agar yorug‘lik manbai sochuvchi linzaning fokus nuqtasiga yoki fokal tekislikdagi biror nuqtaga joylashtirilsa nima bo‘ladi?– Bunda nurlar linzada kuchli sochiladi, sochilgan nurlarning teskari davomlari fokus masofaning yarmida, ya’ni *F/2* nuqtada yoki shu nuqtadan bosh optik o‘qqa perpendikulyar o‘tuvchi tekislikda biror nuqtada to‘planadi (8.7-a,b rasm).

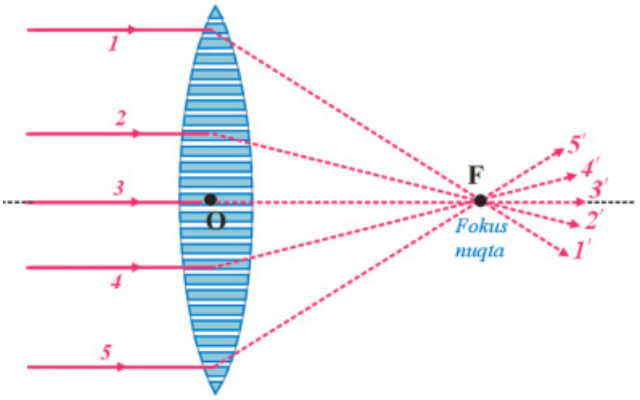


a) *b)* *c)* *d)*

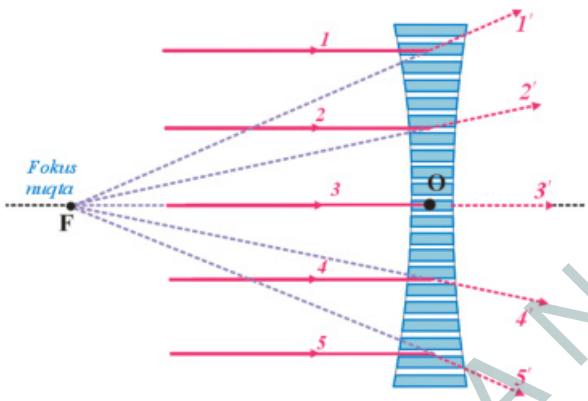
7.7-rasm

Linzaning nurni yig‘ish yoki sochish sababini quyidagicha tushuntiramiz. Linzani xayolan cheksiz ko‘p sondagi trapetsiyali prizmalarga ajrataylik. 38.1-b,rasmda singan nur trapetsiyaning katta asosi tomon og‘ganligi tasvirlangan. Linzadagi har bir trapetsiyachada singan nur katta asos tomon og‘adi. Qavariq linzada trapetsiyachalarning katta asoslari bosh optik o‘qga yaqin, shuning uchun singan nur bosh optik o‘qqa tomon og‘adi, ya’ni nurlar yig‘iladi (7.8-a,rasm). Botiq linzada esa trapetsiyachalarning katta asoslari bosh optik o‘qdan uzoqda, shuning uchun singan nur bosh optik o‘qdan uzoqlashadi, ya’ni nurlar sochiladi (7.8-b,rasm).

SINOV UCHUN BERILGAN



a)



b)

7.8-rasm

Yupqa linza formulasi, linzaning kattalashtirishi:

Yupqa linza formulasini keltirib chiqarishdan oldin ba'zi belgilashlar kiritib olaylik.

$AB = h$ – buyumning balanligi;

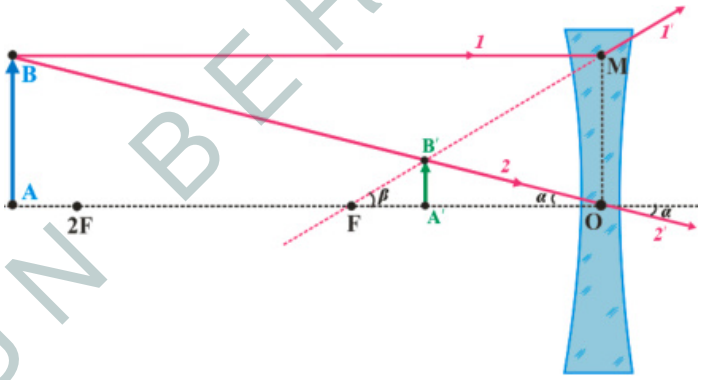
$A'B' = H$ – tasvirning balandligi;

$OF = F$ – linzaning fokus masofasi;

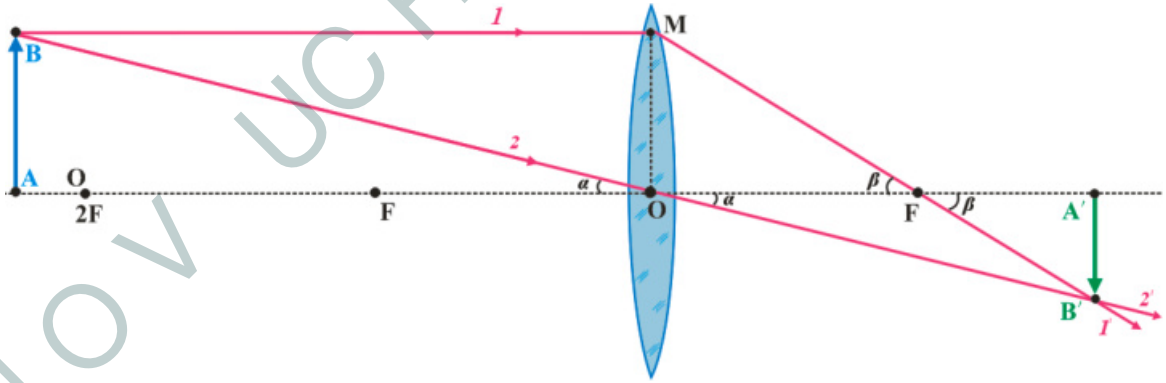
$AP = d$ – linzadan buyumgacha bo'lgan masofa;

$A'O = f$ – linzadan tasvirgacha bo'lgan masofa;

K – linzaning kattalashtirishi.



a)



b)

7.9-rasm

7.9-a, b rasmlardan foylanib linza formulasini hosil qilamiz. ΔABO va $\Delta A'B'O$ lardan

$$\begin{cases} tg\alpha = \dfrac{AB}{AP} = \dfrac{h}{d} \\ tg\alpha = \dfrac{A'B'}{A'P} = \dfrac{H}{f} \end{cases} ; \Rightarrow \quad \frac{h}{d} = \frac{H}{f} , \Rightarrow \frac{H}{h} = \frac{f}{d} = K$$

kelib chiqadi. ΔMOF va $\Delta A'B'F$ lardan

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\begin{cases} tg\beta = \dfrac{MN}{FN} = \dfrac{AB}{FP} = \dfrac{h}{F} \\ tg\beta = \dfrac{A'B'}{A'F} = \dfrac{H}{f-F} \end{cases} ; \Rightarrow \quad \frac{h}{F} = \frac{H}{f-F}, \Rightarrow \quad \frac{H}{h} = \frac{f-F}{F} = K$$

kelib chiqadi. Ikkita sistemadagi kattalashtirish formulalarini tenglashtirib natijaga erishamiz.

$$K = \frac{H}{h} = \frac{f-F}{F} = \frac{f}{d}, \rightarrow f\,d - F\,d = f\,F \;/(:fFd), \quad \rightarrow \frac{1}{F} - \frac{1}{f} = \frac{1}{d}, \rightarrow \frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}$$

Demak, yupqa linza uchun $\dfrac{1}{F} = \dfrac{1}{f} + \dfrac{1}{d}$

linza formulasini hosil qildik. Linza formulasidan foydalanganda, formuladagi d, f, F kattaliklar turli ishoralar qa'bul qilish mumkin.

Agar linza yig'uvchi bo'lsa $F > 0$, sochuvchi bo'lsa $F < 0$ bo'ladi.

Agar tasvir haqiqiy bo'lsa $f > 0$, mavhum bo'lsa $f < 0$ bo'ladi.

Agar manba (buyum) haqiqiy bo'lsa $d > 0$, mavhum bo'lsa $d < 0$ bo'ladi. Lekin, mavhum manba masalalarda umuman uchramaydi.

Yig'uvchi va sochuvchi linzalar uchun linza formulalari quyidagicha bo'ladi:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \quad \textbf{(7.1)}$$

Yig'uvchi linzada, $d > F$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f} \quad \textbf{(7.1a)}$$

Yig'uvchi linzada $d < F$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d} \quad \textbf{(7.1b)}$$

Sochuvchi linza

Tasvir o'lchamining buyum o'lchamiga nisbatiga teng kattalikka linzaning kattalashtirishi deyiladi.

$$K = \frac{H}{h} = \frac{f}{d} \quad \textbf{(7.2)}$$

Linza kattalashtirishini fokus masofa orqali ham ifodalash mumkin. Har bir holatda kattalashtirishni topish uchun shu holatlar uchun linza formulasidan foydalanamiz.

1) $\dfrac{1}{F} = \dfrac{1}{d} + \dfrac{1}{f} = \dfrac{K}{f} + \dfrac{1}{f} = \dfrac{K+1}{f}, \rightarrow K = \dfrac{f}{F} - 1 = \dfrac{f-F}{F}.$

$\dfrac{1}{F} = \dfrac{1}{d} + \dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{d} + \dfrac{1}{Kd}, \rightarrow \dfrac{1}{Kd} = \dfrac{1}{F} - \dfrac{1}{d} = \dfrac{d-F}{Fd}, \rightarrow K = \dfrac{F}{d-F}.$

2) $\dfrac{1}{F} = \dfrac{1}{d} - \dfrac{1}{f} = \dfrac{K}{f} - \dfrac{1}{f} = \dfrac{K-1}{f}, \rightarrow K = \dfrac{f}{F} + 1 = \dfrac{f+F}{F}.$

$\dfrac{1}{F} = \dfrac{1}{d} - \dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{d} - \dfrac{1}{Kd}, \rightarrow \dfrac{1}{Kd} = \dfrac{1}{d} - \dfrac{1}{F} = \dfrac{F-d}{Fd}, \rightarrow K = \dfrac{F}{F-d}.$

3) $\dfrac{1}{F} = \dfrac{1}{f} - \dfrac{1}{d} = \dfrac{1}{f} - \dfrac{K}{f} = \dfrac{1-K}{f}, \rightarrow K = 1 - \dfrac{f}{F} = \dfrac{F-f}{F}.$

$\dfrac{1}{F} = \dfrac{1}{f} - \dfrac{1}{d} = \dfrac{1}{Kd} - \dfrac{1}{d}, \rightarrow \dfrac{1}{Kd} = \dfrac{1}{F} + \dfrac{1}{d} = \dfrac{d+F}{Fd}, \rightarrow K = \dfrac{F}{d+F}.$

SINOV UCHUN BERILGAN

Demak, linzaning kattalashtirishini fokus masofa orqali quyidagicha bo‘lar ekan:

$$K = \frac{f - F}{F} = \frac{F}{d - F} \quad (7.3)$$

yig‘uvchi linzada, $d > F$

$$K = \frac{f + F}{F} = \frac{F}{F - d} \quad (7.3a)$$

yig‘uvchi linzda $d < F$

$$K = \frac{F - f}{F} = \frac{F}{F + d} \quad (7.3b)$$

sochuvchi linza

Linza-tasvir orasidagi masofa f va linza-buyum orasidagi masofa d larni kattalashtirish K orqali ifodalash quyidagicha bo‘ladi:

$$\begin{cases} f = (K+1)F \\ d = \dfrac{K+1}{K}F \end{cases} \quad (7.4)$$

yig‘uvchi linzada, $d > F$

$$\begin{cases} f = (K-1)F \\ d = \dfrac{K-1}{K}F \end{cases} \quad (7.4a)$$

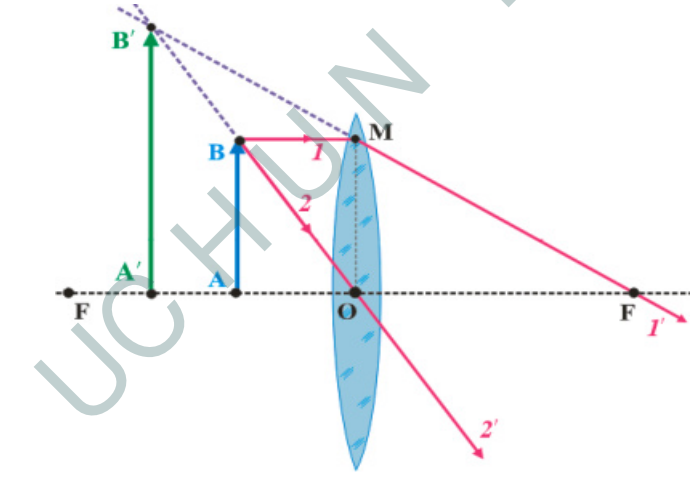
yig‘uvchi linzada, $d < F$

$$\begin{cases} f = (1-K)F \\ d = \dfrac{1-K}{K}F \end{cases} \quad (7.4b)$$

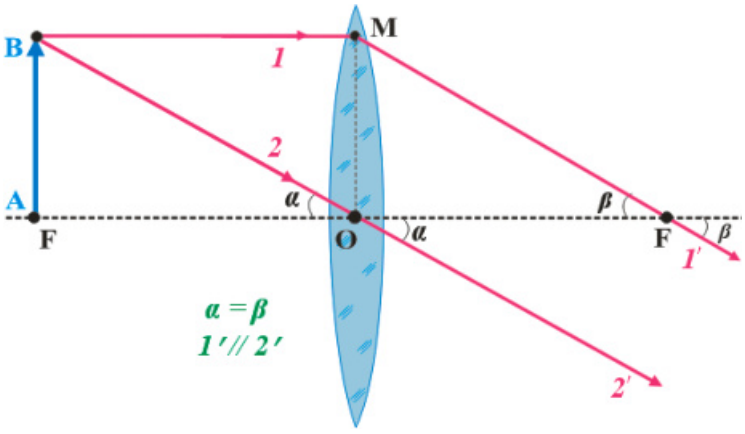
sochuvchi linza

Yig‘uvchi linzada tasvir yasash va yig‘uvchi linza uchun xususiy holar:

Yig‘uvchi linza yordamida buyumni joylashishiga qarab kattalashgan yoki kichiklashgan, haqiqiy yoki mavhum, to‘g‘ri yoki teskari tasvir hosil qilish mumkin. Biz har bir xususiy holga alohida-alohida to‘xtalib o‘tamiz.

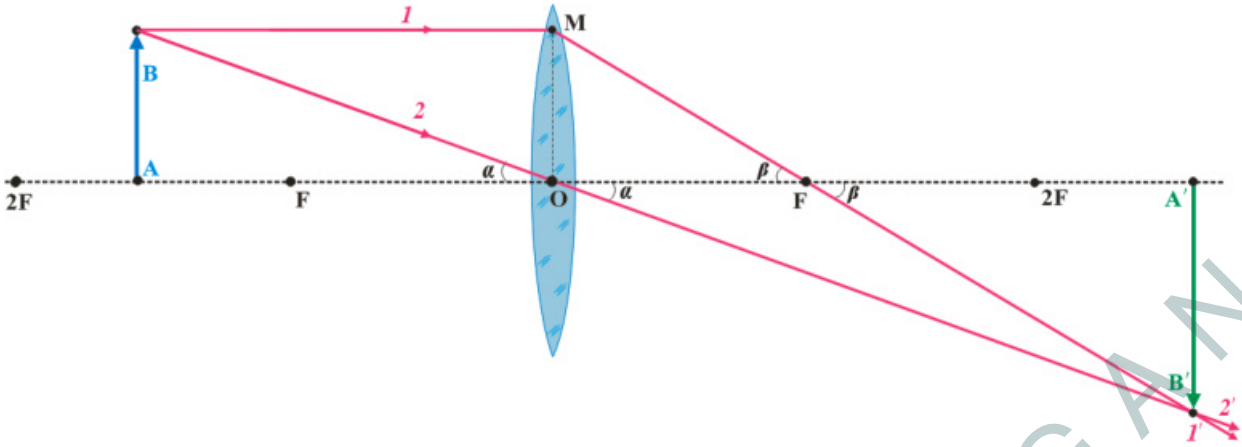


a)

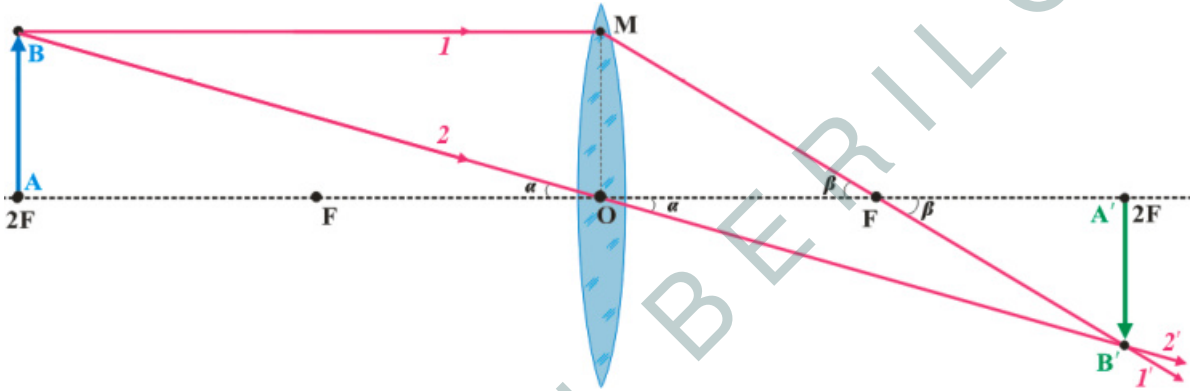


b)

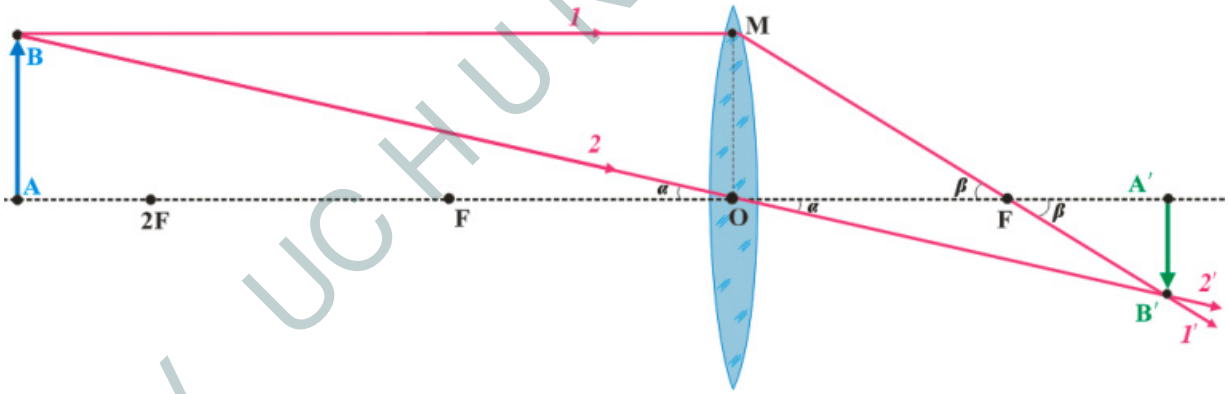
SINOV UCHUN BERILGAN



c)



d)



e)

7.10-rasm

1) $d < F$ da: buyum tomonda, to‘g‘ri, mavhum, kattalashgan tasvir hosil bo‘ladi (7.10-a,rasm).

1.1) $d = \frac{1}{3}F$ da: buyum tomonda, to‘g‘ri, mavhum, 1,5 marta kattalashgan tasvir.

1.2) $d = \frac{1}{2}F$ da: buyum tomonda, to‘g‘ri, mavhum, 2 marta kattalashgan tasvir.

1.3) $d = \frac{2}{3}F$ da: buyum tomonda, to‘g‘ri, mavhum, 3 marta kattalashgan tasvir.

1.4) $d = \frac{3}{4}F$ da: buyum tomonda, to‘g‘ri, mavhum, 4 marta kattalashgan tasvir.

2) $d = F$ da: tasvir hosil bo‘lmaydi (7.10-b, rasm).

SINOV UCHUN BERILGAN

3) $F < d < 2F$ da: linza orqasida, teskari, haqiqiy, kattalashgan tasvir hosil bo‘ladi (7.10-c,rasm).

3.1) $d = \frac{5}{3}F$ da: linza orqasida, teskari, haqiqiy, 1,5 marta kattalashgan.

3.2) $d = \frac{3}{2}F$ da: linza orqasida, teskari, haqiqiy, 2 marta kattalashgan.

3.3) $d = \frac{4}{3}F$ da: linza orqasida, teskari, haqiqiy, 3 marta kattalashgan.

3.4) $d = \frac{5}{4}F$ da: linza orqasida, teskari, haqiqiy, 4 marta kattalashgan.

4) $d = 2F$ da: linza orqasida, teskari, haqiqiy, teng tasvir hosil bo‘ladi (7.10-d,rasm).

5) $d > 2F$ da: linza orqasida, teskari, haqiqiy, kichiklashgan tasvir hosil bo‘ladi (7.10-e,rasm).

5.1) $d = \frac{5}{2}F$ da: linza orqasida, teskari, haqiqiy, 1,5 marta kichiklashgan tasvir.

5.2) $d = 3F$ da: linza orqasida, teskari, haqiqiy, 2 marta kichiklashgan tasvir.

5.3) $d = 4F$ da: linza orqasida, teskari, haqiqiy, 3 marta kichiklashgan tasvir.

5.4) $d = 5F$ da: linza orqasida, teskari, haqiqiy, 4 marta kichiklashgan tasvir.

Yig‘uvchi linzada tasvir va buyum orasidagi minimal masofani aniqlaylik. Tasvir va buyum orasidagi masofa

$$\ell = d + f = d + \frac{dF}{d-F} = \frac{d^2}{d-F}$$

formuladan topiladi. Demak, erkli o‘zgaruvchisi d bo‘lgan bir o‘zguruvchili

$$\ell(d) = \frac{d^2}{d-F}$$

funksiya hosil bo‘ldi. Bu funksiyaning ekstremum nuqtalarini topish uchun erkli o‘zgaruvchi bo‘yicha hosila nolga tenglanadi.

$$\ell'(d) = \left(\frac{d^2}{d-F}\right)' = \frac{2d\cdot(d-F) - 1\cdot d^2}{(d-F)^2} = \frac{d^2 - 2dF}{(d-F)^2} = 0\,, \rightarrow d\cdot(d-2F) = 0\,, \rightarrow \begin{cases} d = 0 \\ d = 2F \end{cases}.$$

Bu ikki javobdan faqat $d = 2F$ ni tanlaymiz. Bunda tasvirgacha masofa

$$f = \frac{dF}{d-F} = \frac{2FF}{2F-F} = 2F$$

hosil bo‘ladi. Demak, tasvir va buyum orasidagi eng qisqa masofa

$$\ell = d + f = 2F + 2F = 4F$$

bo‘lar ekan. Bu holat buyum linzaning ikkilangan fokus masofasiga qo‘yilganda sodir bo‘lib, bunda linzaning orqa ikkilangan fokus masofasida teng tasvir hosil bo‘ladi.

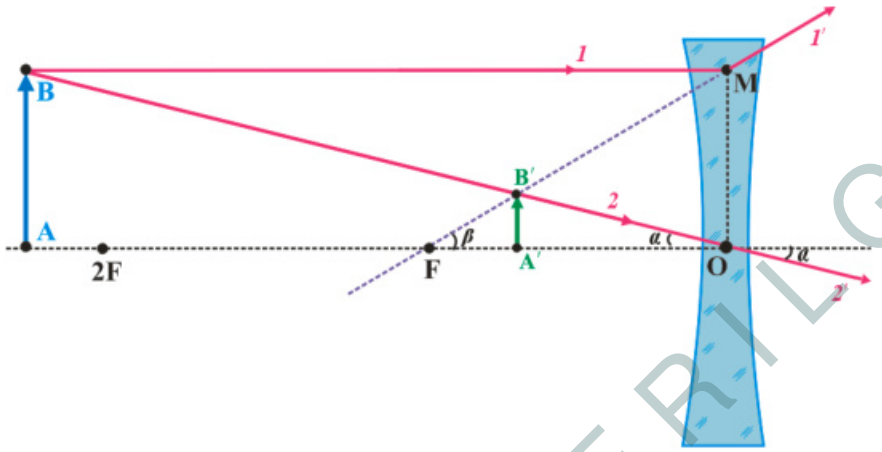
Shunday qilib, yig‘uvchi linzada olingan tasvir va buyum orasidagi masofa eng kamida quyidagicha bo‘lishi mumkin ekan:

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\ell_{min} = d + f = 4F \qquad (7.5)$$

Sochuvchi linzada tasvir yasash va sochuvchi linza uchun xususiy holar:

Sochuvchi linza yordamida faqat kichiklashgan, to‘g‘ri, mavhum tasvir hosil qilish mumkin (7.11-rasm). Biz sochuvchi linza uchun ham bir necha xususiy hollarga to‘xtalib o‘tamiz.



7.11-rasm

1) $d \approx 0$ da: buyum tomonda, to‘g‘ri, mavhum, taxminan teng tasvir hosil bo‘ladi.

2) $d = \frac{1}{2}F$ da: buyum tomonda, to‘g‘ri, mavhum, 1,5 marta kichik tasvir.

3) $d = F$ da: buyum tomonda, to‘g‘ri, mavhum, 2 marta kichik tasvir.

4) $d = 2F$ da: buyum tomonda, to‘g‘ri, mavhum, 3 marta kichik tasvir.

5) $d = 3F$ da: buyum tomonda, to‘g‘ri, mavhum, 4 marta kichik tasvir.

Cheksizlikda turgan buyumning sochuvchi linzadagi tasviri mavhum nuqtaga aylanadi.

Mavzu yuzasidan savollar

1. *Linza deb nimaga aytiladi? Linzaning qanday turlari bor?*
2. *Optik o‘q, bosh optik o‘q, fokus masofa va fokal tekisliklarga ta’rif bering..*
3. *Yig‘uvchi linzada tasvir qanday yasaladi? Bunda tasvir qanday bo‘ladi?*
4. *Sochuvchi linzada tasvir qanday yasaladi? Bunda tasvir qanday bo‘ladi?*
5. *Yig‘uvchi va sochuvchi linzalar uchun linza formulalarini yozing.*
6. *Yig‘uvchi va sochuvchi linzalar uchun kattalashtirish formulalarini yozing.*
7. *Yig‘uvchi linza uchun xususiy hollarni tasvirlab bering.*
8. *Sochuvchi linza uchun xususiy hollarni tasvirlab bering.*

Masala yechish:

1. *Fokus masofasi 36 sm bo‘lgan linzadan 18 sm uzoqlikda joylashgan buyumning kattalashgan mavhum tasviri linzadan necha cm masofada hosil bo‘ladi?*

A) 36 B) 18 C) 12 D) 9 E) 6

SINOV UCHUN BERILGAN

Berilgan:	*Yechilishi:*
F =36sm d=18sm f=?	$d < F$ bo‘lganda kattalashgan tasvir hosil bo‘lganligidan linzaning sochuvchi ekanligini bilish mumkin. Sochuvchi linza formulasi $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$ dan foydalanib tasvir va linza orasidagi masofani topamiz.

$$f = \frac{Fd}{F-d} = 36\ sm$$

Demak, tasvir linzadan chapda 36 sm masofada hosil bo‘ladi.

Javob: *A) 36 sm*

2. *Buyumning 5 marta kattalashgan tasvirini hosil qilish uchun optik kuchi qanday linza kerak? Uni buyumdan qanday masofaga qo‘yish kerak? Buyumdan ekrangacha masofa 3 m.*

Berilgan:	*Yechilishi:*
$k = 5$ $d + f = 3\ m$ d=? D=?	Linzaning kattalashtirishidan $d + f = 3$ $d + 5d = 6d = 30$ $d = 0{,}5m$ Linza formulasidan $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ dan foydalanib $D = \frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{3}{1{,}25} = 2{,}4\ Dprt$

Javob: *0,5 m; 2,4 dptr*

§ 8. OPTIK KUCHI. LINZA OPTIK KUCHINING MATERIAL TURI VA GEOMETRIK O‘LCHAMLARIGA BOG‘LIQLIGI.

Linzaning fokus masofasi qancha kichik bo‘lsa, uning nur sindirish qobiliyati shuncha katta bo‘ladi, ya’ni singan nur shuncha katta burchakka og‘adi. Boshqacha aytganda fokus masofasi kichik linzaga tushayotgan parallel nurlar dastasi shunchalik yaqinda to‘planadi. Fokus masofasi katta bo‘lgan linzada esa hammasi aksincha bo‘ladi. Linzaning bunday xususiyatini xarakterlash uchun fokus masofaga teskari kattalik kiritiladi. Bu kattalik linzaning optik kuchi deyiladi va D bilan belgilanadi.

$$D = \frac{1}{F} \qquad \textbf{(8.1)}$$

Linza fokus masofasiga teskari bo‘lgan kattalikka linzaning optik kuchi deyiladi. Optik kuchi kattaroq bo‘lgan linza nurning yo‘nalshini keskinroq o‘zgartiradi.

Fokus masofasi *1 m* bo‘lgan linzaning optik kuchi 1*dioptriya* (*dptr*) ga teng.

SINOV UCHUN BERILGAN

$$1\,dptr = \frac{1}{1\,m} \qquad (8.2)$$

Demak, oldingi mavzudagi linza formulalarini quyidagicha ham yozish mumkin ekan.

$$D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \qquad (8.3)$$

yig'uvchi linzada, $d > F$

$$D = \frac{1}{d} - \frac{1}{f} \qquad (8.3a)$$

yig'uvchi linzada, $d < F$

$$D = \frac{1}{f} - \frac{1}{d} \qquad (8.3b)$$

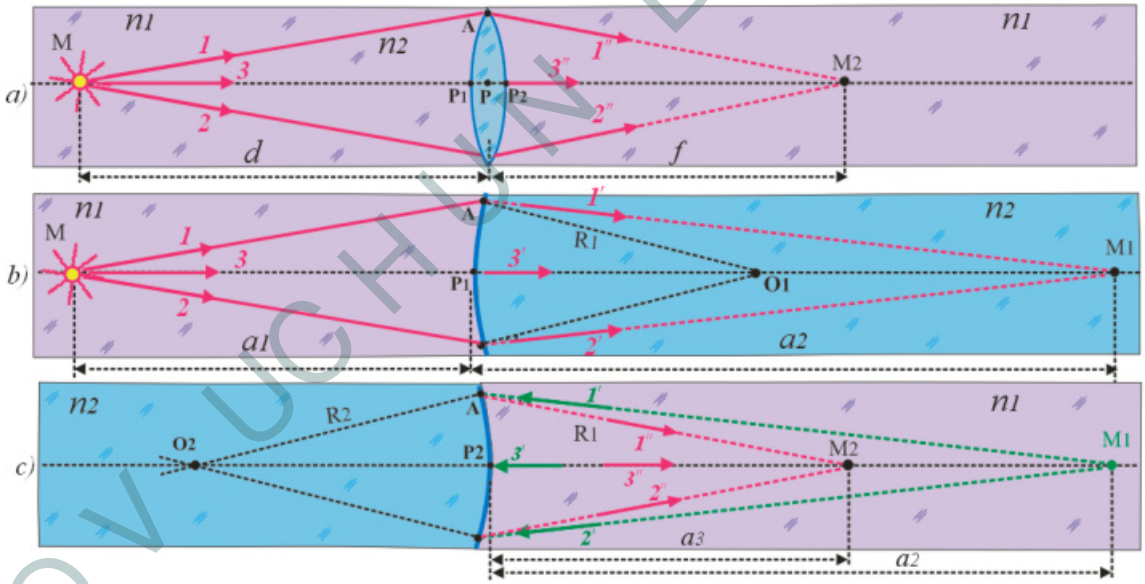
sochuvchi linza

Oldingi mavzularda linzaning fokus masofasi va uning optik kuchini tajriba (parallel nurlar dastasini fokuslash) yordamida aniqlash mumkinligi aytildi. Lekin, bu kattaliklarni linzaning geometrik o'lchamlari va material turi orqali ham aniqlash mumkin.

Vakuumdagi linza uchun optik kuch va fokus masofa quyidagicha bo'ladi:

$$\mathrm{D} = (n_L - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right), \qquad \mathrm{F} = \frac{R_1 R_2}{(n_L - 1)(R_1 + R_2)} \qquad (8.4)$$

Bu yerda: D – linzaning optik kuchi [1/m=dioptriya]; R_1, R_2 – linza sferalari egrilik radiuslari; n_L – linzaning absalyut nur sindirish ko'rsatkichi.

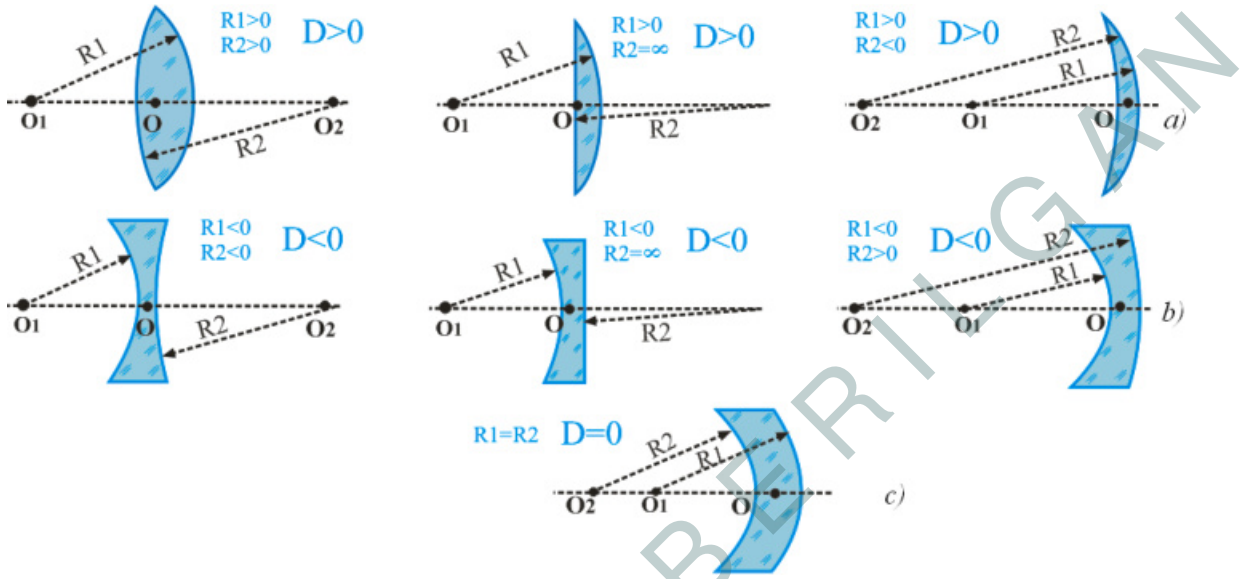


8.1-rasm

Yuqorida chiqarilgan formula ikki tomonlama qavariq linza uchun o'rinli. Agar linzaning botiq sirti ham mavjud bo'lsa, u holda $R<0$ deb olinadi. O'rtasi chetlariga nisbatan qalinroq linzalarda qavs ichidagi ifoda musbat $\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} > 0\right)$ bo'ladi, va demak, linzaning optik kuchi ham musbat ($D>0$) bo'ladi. Bunday linzalar nurni yig'ish xususiyatga ega bo'ladi. O'rtasi chetlariga nisbatan yupqaroq linzalarda qavs ichidagi ifoda manfiy $\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} > 0\right)$ bo'ladi, va demak, linzaning optik kuchi ham manfiy ($D<0$) bo'ladi. Bunday linzalar nurni sochish xususiyatga

SINOV UCHUN BERILGAN

ega bo‘ladi. Qalinligi bir xil bo‘lgan boti-qavariq linzalarda esa qavs ichidagi ifoda nol $\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}=0\right)$ yoki $R_1=R_2$ bo‘ladi, va demak, linzaning optik kuchi ham nol ($D=0$) bo‘ladi. Bunday linzalar nur yo‘nalishini o‘zgartirmaydi, ya’ni nur linzadan sinmasdan o‘tadi (8.2-rasm).



8.2-rasm

Vakuumdagi simmetrik linza uchun optik kuch va fokus masofa quyidagicha bo‘ladi:

$$D=(n_L-1)\frac{2}{R}, \qquad F=\frac{R}{2(n_L-1)} \tag{8.5}$$

Agar linza biror shaffof muhitda turgan bo‘lsa, linzaning muhitga nisbatan nisbiy nur sindirish ko‘rsatkichi, ya’ni $n=\frac{n_L}{n_M}$ olinadi. Linza muhitda bo‘lganda, absalyut nur sindirish ko‘rsatkichi o‘rniga nisbiy nur sindirish ko‘rsatkichi olinadi. Linzaning muhitga nisbatan nisbiy nur sindirish ko‘rsatkichi esa $n=\frac{n_L}{n_M}$ ga teng.

Demak, muhitdagi linza uchun optik kuch va fokus masofa quyidagicha bo‘lar ekan:

$$D=\left(\frac{n_L}{n_M}-1\right)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right), \qquad F=\frac{R_1R_2}{\left(\frac{n_L}{n_M}-1\right)(R_1+R_2)} \tag{8.6}$$

Bu yerda: n_M –muhitning absalyut nur sindirish ko‘rsatkichi.

Vakuumdagi simmetrik linza uchun optik kuch va fokus masofa quyidagicha bo‘ladi:

SINOV UCHUN BERILGAN

$$D = \left(\frac{n_L}{n_M} - 1\right)\frac{2}{R}, \qquad F = \frac{R}{2\left(\frac{n_L}{n_M} - 1\right)} \tag{8.7}$$

Linzani muhitga kiritilganda fokus masofasi qanday o‘zgarishini qarab ko‘raylik. Dastlab linza vakuumda turganda fokus masofa

$$F_1 = \frac{R_1 R_2}{(n_{JI} - 1)(R_1 + R_2)}$$

ga teng bo‘ladi. So‘ngra, linzani biror shaffof muhitga o‘tkazilganda fokus masofa

$$F_2 = \frac{R_1 R_2}{\left(\frac{n_L}{n_M} - 1\right)(R_1 + R_2)}$$

ga teng bo‘ladi. Bu ikkita fokus masofasining nisbati

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{n_L - 1}{\frac{n_L}{n_M} - 1}$$

ga teng bo‘ladi. Bundan

$$F_2 = \frac{n_L - 1}{\frac{n_L}{n_M} - 1} F_1$$

kelib chiqadi.

Demak, absalyut sindirish ko‘rsatkichi n_L bo‘lgan yig‘uvchi linzaning fokus masofasi F_1 bo‘lsa, bu linzani sindirish ko‘rsatkichi n_M bo‘lgan muhitga kiritganda fokus masofa F_2 quyidagicha bo‘ladi:

$$F_2 = \frac{n_L - 1}{\frac{n_L}{n_M} - 1} F_1 \tag{8.8}$$

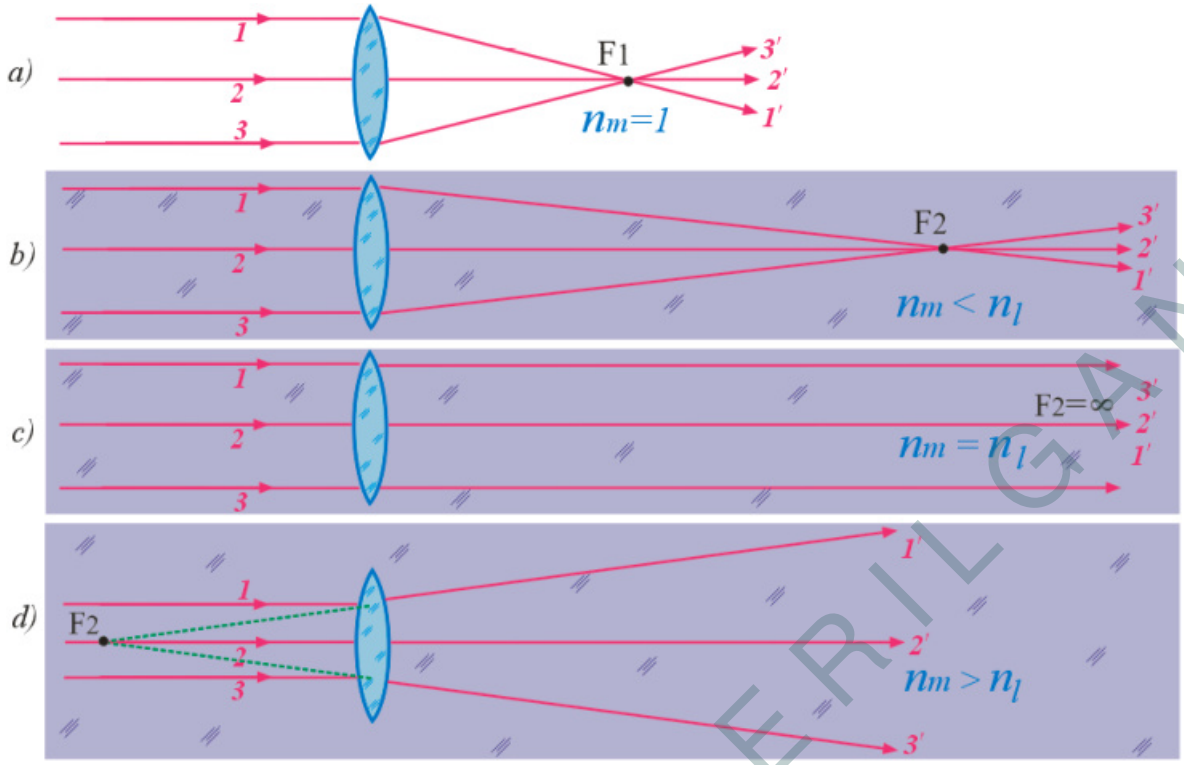
Yuqoridagi formulalardan quyidagi xulosalarga ega bo‘lamiz:

1. Linzani vakuumdan muhitga o‘tkazilsa, fokus masofasi ortadi, optik kuchi esa kamayadi.

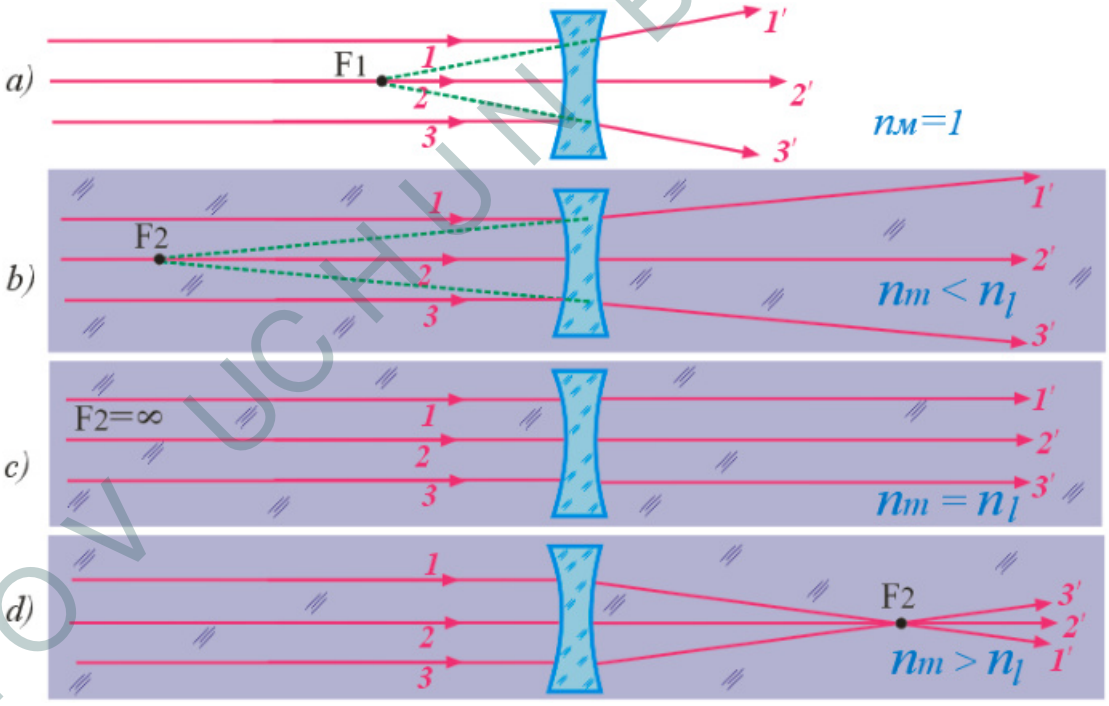
2. Agar yig‘uvchi linzani absalyut siindirish ko‘rsatkichi linzanikiga nisbatan kattaroq bo‘lgan muhitga kiritilsa, yig‘uvchi linza sochuvchi linzaga aylanadi (8.3-rasm).

3. Agar sochuvchi linzani absalyut siindirish ko‘rsatkichi linzanikiga nisbatan kattaroq bo‘lgan muhitga kiritilsa, sochuvchi linza yig‘uvchi linzaga aylanadi (8.4-rasm).

SINOV UCHUN BERILGAN



8.3-rasm



8.4-rasm

Agar bir necha linzalar bitta joyga to‘plangan bo‘lsa, bu optik sistemaning optik kuchini topish uchun har bir linzaning optik kuchlari algebraik qo‘shiladi. Bunda yig‘uvchi linzaning optik kuchi musbat, sochuvchi linzaniki esa manfiy ishora bilan olinadi.

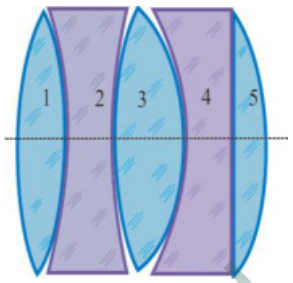
$$D = D_1 + D_2 + D_3 + \ldots + D_n \qquad \textbf{(8.9)}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Masalan, rasmda keltirilgan beshta linzaning optik kuchlari mos ravishda $D_1 = 8\,dptr, D_2 = -6\,dptr, D_3 = 10\,dptr$ $D_4 = -3\,dptr, D_5 = 4\,dptr$ bo‘lsa, linzalardan iborat optik sistemaning natijaviy optik kuchi

$$D = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 = 8 - 6 + 10 - 3 + 4 = 13\,dptr$$

bo‘lar ekan (9.5-rasm).



8.5-rasm

Mavzu yuzasidan savollar

1. *Linzaning optik kuchi deb nimaga aytiladi va uning o‘lchov birligi qanday?*
2. *Linza optik kuchini geometrik o‘lcham va shisha materila turiga bog‘liqlik formulasini yozing.*
3. *Linzani vakuumdan shaffof muhitga kirgizilsa uning fokus masofasi va optik kuchi qanday o‘zgaradi?*
4. *Linzani linza meriali sindirish ko‘rsatishidan katta bo‘lgan shaffof muhitga kirgizilsa nima bo‘ladi?*
5. *Linzalar sistemasining optik kuchi qanday aniqlanadi?*

Masala yechish:

1. *Sindirish ko‘rsatkichi n_L=1,56 bo‘lgan shishadan yasalgan simmetrik qavariq linza yoqlarining egrilik radiusi 40 cm ga teng. Bu linzani suvga kiritilganda hosil bo‘lgan fokus masofani aniqlang. Xuddi shunday fokus masofaga ega bo‘lgan boshqa bir simmetrik qavariq linza yoqlarining egrilik radiusi nimaga teng bo‘ladi?*

Berilgan:

n_L=1,56

n_S=1,33

R_1=40 cm

F_2=F_3

$F_2 = ?$

$R_3 = ?$

Yechilishi:

Dastlab, linzaning havodagi fokus masofasini topamiz.

$$\frac{1}{F_1} = (n_L - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1}\right) = (n_L - 1)\frac{2}{R_1}, \rightarrow F_1 = \frac{R_1}{2(n_L - 1)} =$$

$$= \frac{40}{2\cdot(1{,}56 - 1)} = 35{,}7\,cm$$

Endi shu linzani suvga solinganda hosil bo‘lgan fokus masofani aniqlaymiz.

$$F_2 = \frac{n_L - 1}{\frac{n_L}{n_M} - 1} F_1 = \frac{1{,}56 - 1}{\frac{1{,}56}{1{,}33} - 1} \cdot 35{,}7\ sm = 115{,}6\ cm$$

Endi esa fokus masofasi F_3=115,6 cm ga teng bo‘lgan va havoda turgan ikki yoqlama simmetrik qavariq bo‘lgan linzaning yoqlari egrilik radiusini topamiz.

$$\frac{1}{F_3} = (n_L - 1)\frac{2}{R_3}, \rightarrow R_3 = 2(n_L - 1)F_3 = 2\cdot(1{,}56 - 1)\cdot 115{,}6\ sm = 129{,}5\ sm$$

Javob: $F_2 = 115{,}6\ cm;\ R_3 = 129{,}5\ cm$

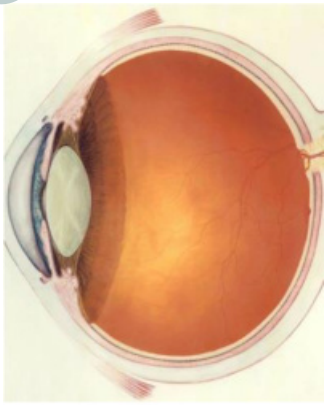
SINOV UCHUN BERILGAN

§ 9. KO‘Z–OPTIK ASBOB. KO‘ZNING OPTIK XUSUSIYATLARI.

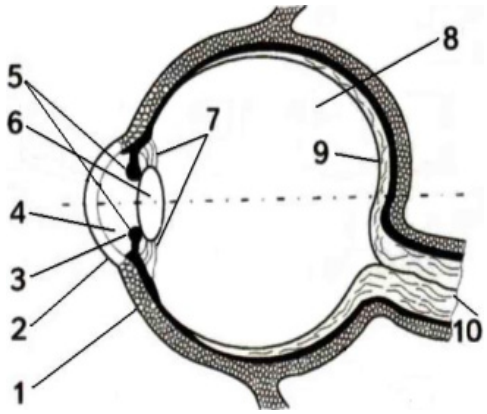
Ko‘z–optik asbob:

Odam ko‘zi shar shakliga yaqin bo‘lib, taxminan diametri 2,4 *sm* atrofida bo‘ladi (9.1-rasm). Sirtqi tomondan ko‘z ***sklera*** *1* deb ataluvchi maxsus oq tusli himoya qobig‘i bilan qoplangan. Skleraning oldingi shaffof qismi ***shox parda*** *2* deyiladi. Shox parda orqasida biror masofada ***kamalak parda*** *3* joylashgan bo‘lib, u alohida modda bilan biror rangga bo‘yalgan bo‘ladi. Kamalak parda ko‘z rangini ko‘rsatadi. Shox parda bilan kamalak parda oralig‘ida ***suvga o‘xshash*** *4* ***suyuqlik*** bo‘ladi. Kamalak pardada teshik – ***qorachiq*** *5* bor. Ko‘zda qorachiq diametri o‘zgaruvchan bo‘lib, u xuddi fotoapparatlarda apertura diafragmasi o‘zgarishiga o‘xshaydi. Ko‘zga tushayotgan yorug‘lik miqdoriga qarab qorachiqning diametri taxminan *2 – 8 mm*. oralig‘ida reflektiv tarzda o‘zgaradi. Tunda qorachiq ko‘proq yorug‘lik o‘tkazish uchun kattalashadi, Quyoshga qaraganda esa eng kichik holatni egallaydi. Qorachiq orqasida linzaga o‘xshash shaffof qat-qat jism – ***gavhar*** *6* joylashgan. Ko‘z gavhari sindirish ko‘rsatkichi *1,4*ga yaqin bo‘lgan shaffof moddadan iborat ikki yoqlama qavariq linzadir. Shuni qayd qilish kerakki, ko‘z gavhari ichki sirtining egrilik radiusi ko‘zning kamalak pardaga kelib qo‘shilgan tashqi sirtinikiga qaraganda kichikroqdir, ya’ni qavariqroqdir. Alohida ***muskul*** *7* gavhar shaklini ma’lum bir chegarada o‘zgartira oladi va yaqinroq narsalarni ko‘rishda gavharni qavariqroq holatga keltiradi Ko‘zning orqa devorigacha bo‘lgan qolgan qismi shaffof suyuqlik *8* bilan band. Ko‘z tubi juda murakkab ***to‘rsimon qobiq (to‘r parda)*** bilan qoplangan bo‘lib, bu parda tarmoqlangan ***ko‘rish nervi*** *10*dan iborat bo‘lib, bu nervlar ***tayoqchalar va kolbachalar*** tarzidagi nerv uchlari *9* bilan tugaydi. Tayoqcha va kolbachalar yorug‘likni sezuvchilar bo‘lib, ularga kelib tushgan fotonni miyaga uzatadi (*9.1-rasm*).

Ko‘zga tushadigan nurlar shox parda sirtida eng ko‘p sinadi. Gavhar ham nurni qo‘shimcha ravishda ozroq sindiradi. qisqasi, ko‘zning optik sistemasini fokus masofasi o‘zgaruvchan, lekin chuqurligi (gavhardan to‘r pardagacha masofa) o‘zgarmaydigan yig‘uvchi linza deb qarash mumkin.



a)



b)

9.1-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

To‘r pardada buyumning haqiqiy, teskari, kichiklashgan tasviri hosil bo‘ladi. Ko‘zga tushuvchi yorug‘lik nerv uchlarini (tayoqcha va kolbachalarni) ta’sirlantirishi bizda ko‘rish sezgisi hosil qiladi. Ana shu tayoqcha va kolbachalar teskari tasvirni miyaga uzatadi va miya bu tasvirni yana bir marta to‘nkarib, to‘g‘ri tasvir hosil qilib beradi.

Ko‘z akkomodatsiyasi, adaptatsiyasi va konveregensiyasi:

Ko‘z murakkab optik sistema bo‘lib, unga tushgan yorug‘lik shox parda, kamalak parda, qorachiq, gavhar va maxsus oqish suyuqlikning barchasida ozgina-ozginadan sinadi. Shulardan gavharda yorug‘lik nuri eng ko‘p sinadi. Soddalashtirish maqsadida hisob-kitoblarda ko‘zni bitta yig‘uvchi linza bilan almashtiriladi.

Agar buyum uzoqda bo‘lsa, tasvir normal ko‘zning to‘r pardasida gavhar muskulini zo‘riqtirmasdan hosil bo‘ladi. Odam juda uzoqqa (cheksizlikka, masalan yulduzlarga) qaraganda gavharni tutib turuvchi mushaklar bo‘shashadi, bunda mushaklar dam oladi. Nigohi cheksizlikka qaragan ko‘zning fokus masofasi eng katta bo‘lib, taxminan $F_1 \approx 17\,mm$ ga, optik kuchi esa $D_1 \approx 58\,dptr$ ga teng bo‘ladi.

Agar buyum yaqinroq bo‘lsa, to‘r pardada tasvir hosil qilishga ko‘zning fokus masofasini qisqartirish orqali erishiladi. Bunda gavhar egriligini o‘zgartiruvchi muskul biroz zo‘riqadi. Nigohni yaqindagi buyumlarga qaratish gavharni muskullar yordamida siqish yordamida amalga oshiriladi. Juda yaqindagi buyumlarga termulib turish ko‘z gavharini siqilgan holatda tutib turishni talab etgani bois, muskullar toliqadi. Normal ko‘z bilan $d_0 = 25$ sm masofadagi buyumga nigohni qaratganda ko‘zning fokus masofasi taxminan $F_2 \approx 14\,mm$ ga, optik kuchi esa $D_1 \approx 70\,dptr$ ga teng bo‘ladi.

Kuzatiladigan masofaning o‘zgarishiga ko‘zning moslashuvi ko‘z akkomodatsiyasi deyiladi.

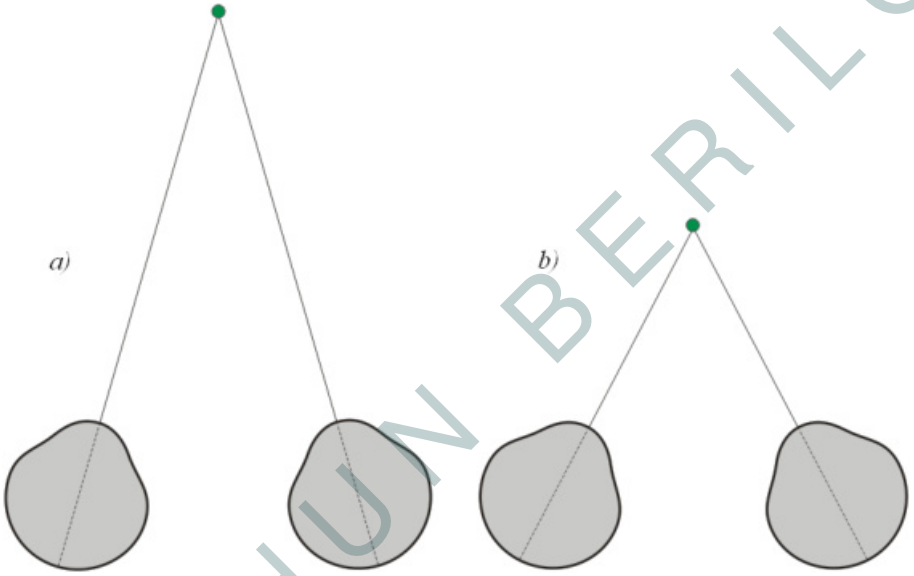
Akkomodatsiyaning eng yaqin nuqtasi ***eng yaxshi ko‘rish masofasi*** deyiladi. Normal ko‘z uchun bu masofa $d_0 = 25$ sm. Ko‘zning akkomodatsiyasi cheksiz emas. Xalqasimon mushaklar yordamida ko‘zning optik kuchini yana 12 *dptr*.gacha oshirish mumkin.

Inson ko‘zi buyumlarni faqatgina kunduzi yaxshi ko‘rishga imkon bermasdan, kechqurun va tunda ham ko‘rish imkonini beradi. Odam qorong‘uda biroz turgandan keyin narsalarning qiyofasini ko‘ra boshlaydi. Ko‘z tubidagi yorug‘lik sezuvchi nerv uchlarining turli yorug‘likka moslashish qobiliyati, ya’ni kuzatilayotgan buyumlarning turlicha ravshanligiga moslashishi ***adaptatsiya*** deb ataladi.

Odam biror buyumga qarayotganda u ko‘zining o‘qlarini shunday yo‘naltiradiki, bu o‘qlar buyumda kesishadi (9.2-rasm). Agar buyum kuzatuvchiga yaqin bo‘lsa, ko‘z o‘qlarini buyumda kesishtirish uchun mushaklarni zo‘riqtirish

SINOV UCHUN BERILGAN

kerak bo‘ladi. Shu zo‘riqish kattaligiga qarab predmetgacha bo‘lgan masofa chamalanadi, qaysi buyum uzoqda yoki yaqindaligi farqlanadi. Muayyan nuqtada ko‘z o‘qlarining kesishishiga ***konveregensiya*** deyiladi (lotincha *konveregensiya* – uchrashish). Jism harakatlanayotganda bu jismga yo‘naltirilgan ko‘z o‘qlarining vaziyati ham o‘zgaradi. Shunga ko‘ra jismning harakatlanayotgani payqaladi. Judauzoqdagi jismga qaraganda ko‘z o‘qlari deyarli parallel bo‘ladi. Bu jism harakatlanganda ko‘z o‘qlarining vaziyati deyarli o‘zgsharmagani bois, uning harakatini payqash qiyin bo‘ladi. Demak, konveregensiya hodisasi yordamida jismlarning uzoq yoki yaqinda turganligi hamda uning harakatlanayotgani yoki tinch turgani haqida ma’lumot olish mumkin ekan.



9.2-rasm

Ko‘rish sezgisining davomiyligi:

Agar uchi cho‘g‘ bo‘lib turgan jismni qorong‘uda juda tezaylantirsak, nariroqda kuzatib turgan odam aylanuvchi xalqani ko‘radi. Shunga o‘xshash elektr chiroqqa tikilib turgan odamning ko‘z o‘ngidan chiroq o‘chirilgach ham uning shu’lasi biroz vaqt davomida ketmaydi. Agar odam biror jismga qarab turgan bo‘lsa, o‘sha jism olib qo‘yilgandan keyin ham uni *0,1 s.*ga yaqin vaqt davomida ko‘radi. Tez aylanayotgan velosped yoki mototsikl g‘ildiragini ko‘rmasdan, aylana shaklidagi sharpani ko‘ramiz. Xuddi shuningdek, yonimizdan tez uchib o‘tgan o‘qni ham ilg‘amay qolamiz. Bu hodisalar insonning ko‘rish jarayonida o‘ziga xos inersiya mavjudligini ko‘rsatadi.

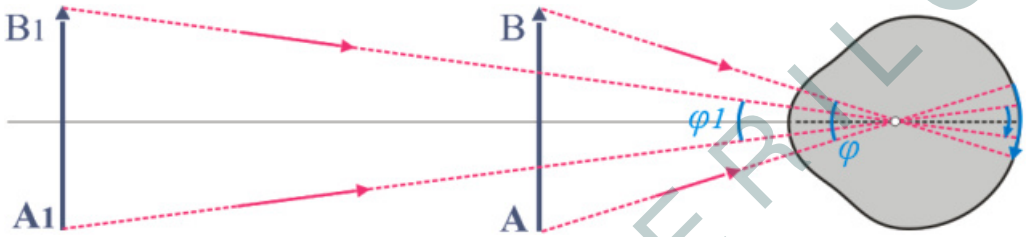
Agar odam yog‘ochdan qilingan tor tirqishli devor yonidan tez yugurib o‘tsa, bunda devor orqasida nimalar bo‘layotganini aniq ko‘radi. Bu hodisa ***stroboskopik effekt*** deyiladi. Stroboskopik effekt hozirgi zamon kinosining asosidir. Kinoteatrlarda har sekundiga 25ta kadr o‘tadi. Tasvir almashayotgan vaqtda kinoapparat ob’ektivi yopiq va ekran yoritilmagan bo‘ladi. Lekin, buni

SINOV UCHUN BERILGAN

tomoshobinlar sezishmaydi, ular tasvirlar ketma-ket almashinish natijasida harakatli jarayonni ko‘radilar.

Ko‘rish burchagi:

Uzoqdagi binolarga qaraganimizda ularning o‘lchamlari yaqindagi binolarning o‘lchamlaridan kichikroqdek tuyuladi. Buning sababi quyidagicha tushuntiriladi: Barcha binolar balandliklari bir bo‘lsa-da, ular ko‘z to‘r pardasida har xil o‘lchamdagi tasvirlar hosil qiladi, ya’ni uzoqdagi binining ko‘z tubidagi tasviri kichikroqdir. Shuning uchun uzoqdagi buyumlar kichikroqdek tuyuladi. Buyumlarning ko‘z to‘r pardasidagi tasviri o‘lchamlari ularning ko‘rish burchagi φ bilan aniqlanadi.



9.3-rasm

Ko‘zning optik markazidan buyumning chetki nuqtalariga o‘tkazilgan to‘g‘ri chiziqlar oarsidagi burchak ko‘rish burchagi deyiladi.

Ko‘rish burchagi φ qanchalik katta bo‘lsa, tasvir ko‘z tubida shuncha ko‘p sonli yorug‘lik sezuvchi nerv uchlarini (tayoqchalar va kolbachalarni) yopadi. Natijada odam kuzatayotgan buyumning ko‘p mayda detallarini ajratib oladi. Ko‘rish burchagini oshirish uchun esa buyumga yaqinroqdan qarash kerak bo‘ladi. Lekin, ko‘rish burchagini oshiraman deb buyumni eng yaxshi ko‘rish masofasi $d_0 = 25\,sm$ dan yaqinlashtirib yuborish ham foyda bermaydi. Maqsadga erishish uchun qo‘shimcha optik asboblar(lupa, ko‘zoynak, mikroskop va h.) dan foydalanish zarur bo‘ladi.

9.1-jadval

Fonning yortilganligi, *lk*	Chegaraviy ko‘rish burchagi, *min.*	Fonning yortilganligi, *lk*	Chegaraviy ko‘rish burchagi, *min.*
0,0001	50	0,5	2
0,0005	30	1	1,5
0,001	17	5	1,2
0,005	11	10	0,9
0,01	9	100	0,8
0,05	4	500	0,7
0,1	3	1000	0,7

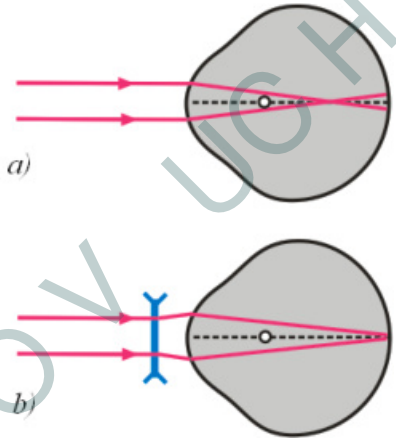
Qaralayotgan buyum juda uzoqda bo‘lsa, uning tasviri ko‘z tubida faqat birgina yorug‘lik sezuvchi nerv tolasini yopadi. Natijada, tasvir nuqtadek bo‘lib ko‘rinadi.

SINOV UCHUN BERILGAN

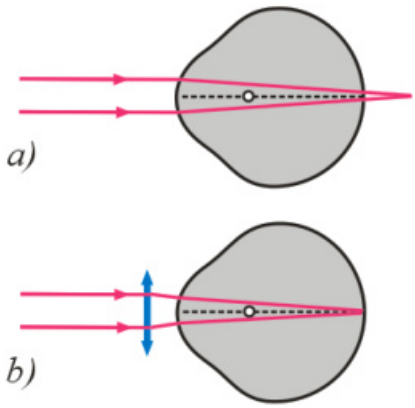
Ko‘rish burchagi $30''$ bo‘lganda ana shunday bo‘ladi. Amalda inson ko‘zi ko‘rish burchagi $1'$ dan kichikroq bo‘lgandayoq buyumning mayda detallarini ajrata olmay qoladi. Shuning uchun buyum nuqtaga aylanadigan chegaraviy burchakni $1'$ ga teng deb olinadi va bu burchakga ***chegaraviy ko‘rish burchagi*** deyiladi. Chegaraviy ko‘rish burchagi buyumni yoritilganligiga ham bog‘liq. 9.1-jadvalda normal ko‘zning chegaraviy ko‘rish burchagi bilan buyumning yoritilganligi orasidagi munosobat keltirilgan.

Yaqindan ko‘rar ko‘z va bu ko‘zga tavsiya etiladigan ko‘zoynak:

Ba’zi kishilarning ko‘zi zo‘riqmagan holda uzoqdagi buyumning tasvirini to‘r pardada emas, balki uning oldida hosil qiladi (9.4-a,rasm). Yaqindan ko‘rar ko‘z nurlarni normal ko‘zga qaraganda kuchliroq yig‘adi, ya’ni yaqindan ko‘rar ko‘zning optik kuchi normal ko‘znikidan katta bo‘ladi. Bunday nuqsonli ko‘z egalari uzoqni yaxshi ko‘ra olmaydilar. Ko‘zning bunday nuqsoni ***yaqindan ko‘rarlik*** deyiladi. Yaqindan ko‘rar ko‘z buyumni biror masofagacha aniq ko‘radi, undan uzoqlashsa ko‘rish xiralasha boshlaydi va ko‘z akkomodatsiyasining eng uzoq nuqtasi cheksizlikda bo‘lmaydi. Yaqindan ko‘rar ko‘zning eng yaxshi ko‘rish masofasi ham 25 sm.dan kichik bo‘ladi. Masalan, yaqindan ko‘rar ko‘z $10\,sm$ dan boshlab to $100\,m$ masofagacha yaxshi ko‘radi. Ko‘zning yaqindan ko‘rarlik nuqsoni sochuvchi linzalar o‘rnatilgan ko‘zoynak (– ko‘zoynak) taqish orqali tuzatiladi. Parallel nurlar bunday linza orqali o‘tar ekan ko‘zga cheksizlikdan kelayotgandek ko‘rinadi va tasvir to‘r pardada xosil bo‘ladi (9.4-b,rasm).



9.4-rasm



9.5-rasm

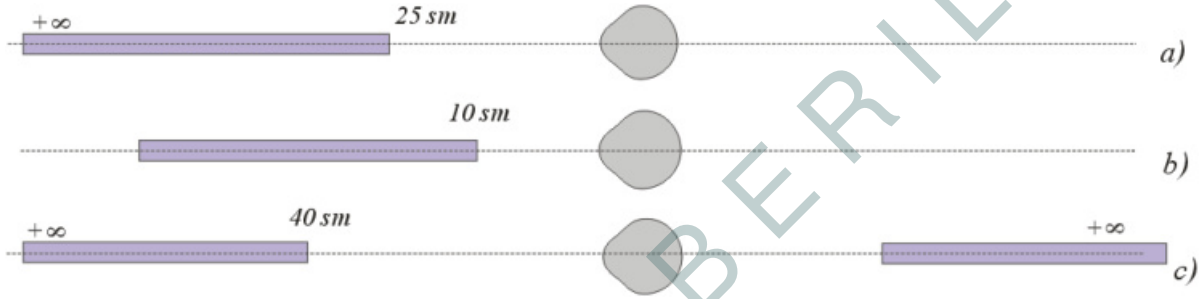
Uzoqdan ko‘rar ko‘z va bu ko‘zga tavsiya etiladigan ko‘zoynak:

Ko‘zning uzoqdagi narsalar tasviri to‘r parda orqasiga tushishi bilan bog‘liq nuqsoni ***uzoqdan ko‘rarlik*** deyiladi (9.5-a,rasm). Uzoqdan ko‘rar ko‘z nurlarni normal ko‘zchalik kuchli yig‘a olmaydi, ya’ni uzoqdan ko‘rar ko‘zning optik kuchi normal ko‘znikidan kichik bo‘ladi. Uzoqdan ko‘rar ko‘zning eng yaxshi ko‘rish masofasi 25 sm dan katta bo‘ladi. Masalan, uzoqdan ko‘rar ko‘z $50\,sm$ dan boshlab to cheksizlikkacha masofani ko‘radi. Ushbu ko‘z sohibi kitob o‘qimoqchi bo‘lsa, harflarni $50\,sm$ masofadan ajrata olmaydi, bu masofadan yaqinda esa harflar

SINOV UCHUN BERILGAN

chaplashib ketadi. Uzoqni ko‘rarlik yig‘uvchi linzalar o‘rnatilgan ko‘zoynak (+ ko‘zoynak) taqish bilan tuzatiladi. Uzoqdagi narsalarni ko‘rish uchun linzaning optikaviy kuchi parallel nurlar ko‘zning to‘r pardasida fokuslanadigan darajada bo‘lishi kerak (9.5-b, rasm).

Normal ko‘z, yaqindan ko‘rar ko‘z va uzoqdan ko‘rar ko‘zlarning yaxshi ko‘rish diapozoni misol tariqasida 9.6-rasmda tasvirlangan. Normal ko‘z 25 sm dan cheksizlikkacha, yaqindan ko‘rar ko‘z esa 10 sm dan biror masofagacha, uzoqni ko‘rar ko‘z esa 40 sm dan cheksizlikkacha zo‘riqmasdan ko‘radi. Uzoqdan ko‘rar ko‘zlar uchun ko‘zning orqasida biror masofadan boshlab cheksizlikkacha mavhum manbalarni ham ko‘rishi mumkin. Bu faqat parllel dastalarni emas, balki yig‘iladigan nurlarni ham ko‘raishini bildiradi.



9.6-rasm

Nuqsonli ko‘z uchun ko‘zoynakning optik kuchi shunday tanalanadiki, bunda ko‘z va ko‘zoynakdan iborat optik sistema normal ko‘zga aylanish kerak. Nuqsonli ko‘z va normal ko‘zning eng yaxshi ko‘rish masofalarini bilgan holda nuqsonli ko‘zga tavsiya etiladigan ko‘zoynakning optik kuchini hisoblash mumkin bo‘ladi.

Agar nuqsonli ko‘zning eng yaxshi ko‘rish masofasi d_1 bo‘lsa, bu ko‘z uchun tavsiya etiladigan ko‘zoynakning optik kuchi quyidagicha:

$$D = \frac{1}{d_0} - \frac{1}{d_1} \quad [dptr] \qquad (9.1)$$

Bu yerda: d_0=25 *cm*–normal ko‘zning eng yaxshi ko‘rish masofasi.

Mavzu yuzasidan savollar

1. *Ko‘zning tuzilishini aytib bering? Ko‘z qanday linza?*
2. *Ko‘z qanday linza? Ko‘zning fotoapparatdan farqi nimadan iborat?*
3. *Ko‘z akkomodatsiyasi, adaptatsiyasi va konveregensiyasi nima?*
4. *Ko‘rish sezgisining davomiyligi va ko‘rish burchagi haqida gapirib berin.*
5. *Yaqindan ko‘rar ko‘z nima? Bu nuqson qanday bartaraf etiladi?*
6. *Uzoqdan ko‘rar ko‘z nima? Bu nuqson qanday bartaraf etiladi?*

Masala yechish:

1. *Nuqsonsiz ko‘zning eng yaxshi ko‘rish masofasi 25 cm. Uzoqdan ko‘rar odam ko‘zining eng vaxshi ko‘rish masofasi 1 m bo‘lsa, bu odam optik kuchi qanday (D) bo‘lgan ko‘zoynak taqishi kerak?*

SINOV UCHUN BERILGAN

A) aniqlab bo'lmaydi B) +l C) +4 D) -3 E) +3

Berilgan:	*Yechish:*
$L_0 = 25\ sm$ $l = 1\ m$ $D_k = ?$	*Nuqsonli ko'z narmal ko'rishi uchun knuqsonli ko'zning optik kuchi bilan ko'zoynakning optik kuchlarining yig'indisi narmal ko'zning optik kuchiga teng bo'lishi kerak yani* $D_n = D_o + D_k$ *Bundan* $D_k = \frac{1}{L_0} - \frac{1}{l} = +3\ dprt$

Javob: *E) +3 dptr*

§ 10. OPTIK ASBOBLAR.

Ko'rish qiyin bo'lgan mayda narsalarni yoki juda olisdagi narsalarni ko'rish uchun optik asboblardan foydalaniladi. Optik asboblar kuzatilayotgan buyum va narsalarni kattalashtirib bermasdan, balki ko'rish burchagini kattalashtirib beradi.

Optik asbobning kattalashtirishi deb predmet tasvirini asbob yordamida ko'rish burchagi φ ni ochiq ko'z bilan ko'rish burchagi φ_0 ga nisbatiga aytiladi.

$$K = \frac{\varphi}{\varphi_0} \qquad \textbf{(10.1)}$$

Odatda mayda narsalarni kuzatganda φ va φ_0 burchaklar juda kichik burchaklar bo'lgani uchun kattalashtirish taxminan quyidagi formulaga teng bo'ladi.

$$K \approx \frac{tg\varphi}{tg\varphi_0} \qquad \textbf{(10.2)}$$

Lupa:

Mayda narsalarni kuzatishda ko'rish burchagini oshirib beradigan odddiy optik asbob – lupadir. Lupalarning fokus masofasi $F = 5 - 10\,sm$ oralig'ida bo'lib, u ko'rish burchagini ko'pi bilan 5 – 6 marta oshirib beradi.

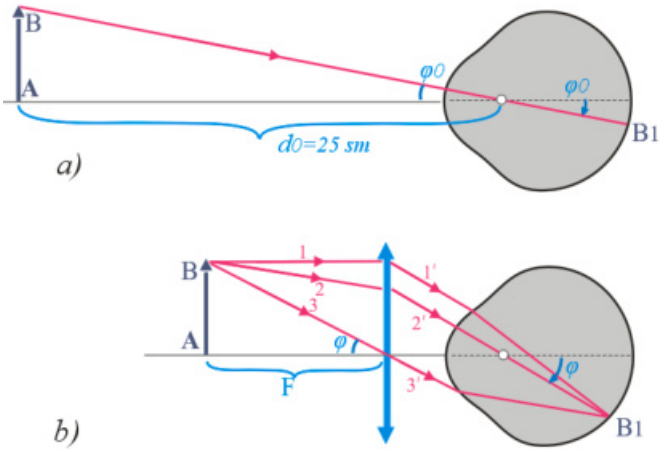
Sog'lom ko'zning eng yaxshi ko'rish masofasi d_0=25 *sm* bo'lib, mayda narsalarni ko'zga bu masofadan ham yaqin tutish foyda bermaydi, ya'ni tasvir chaplashadi, ko'z zo'riqadi.

O'lchami $AB = h$ bo'lgan mayda buyumni eng yaxshi ko'rish masofasiga olib kelganda ko'rish burchagi

$$\varphi_0 \approx tg\varphi_0 = \frac{AB}{d_0} = \frac{h}{d_0}$$

bo'ladi (10.1-a, rasm).

Lupadan foydalanganda esa lupa ko'zga yaqinroq biror masofaga olib kelinadi va kuzatiladigan mayda narsa lupaning orqa fokusiga



10.1-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

joylashtiriladi. Natijada, lupada singan narlar o‘zaro parallel nurlar dastasiga aylanadi. Ko‘z ham yig‘uvchi linza bo‘lgani uchun bu parallel nurlar dastasini ko‘zning ichki fokal tekisligida, ya’ni ko‘z tubida yig‘ib beradi. Bunda faqatgina ko‘zning optik markazidan o‘tuvchi 2′ nurgina ko‘zda sinmasdan ko‘z tubidagi B_1 nuqtaga tushadi. Qolgan barcha nurlar, jumladan 1′ va 3′ nurlar ham ko‘zda singach B_1 nuqtaga tushadi. Shunday qilib ko‘z tubida B nuqtaning to‘nkarilgan tasviri hosil bo‘ladi. Bunda o‘lchami $AB = h$ bo‘lgan mayda buyumning ko‘rish burchagi

$$\varphi \approx tg\varphi = \frac{AB}{F} = \frac{h}{F}$$

bo‘ladi (10.1-b, rasm).

Mayda narsaga lupa yoramidagi ko‘rish burchagi va ochiq ko‘z bilan qaragandagi ko‘rish burchaklari nisbati lupaning kattalashtirishini beradi.

$$K = \frac{\varphi}{\varphi_0} \approx \frac{tg\varphi}{tg\varphi_0} = \frac{h/F}{h/d_0} = \frac{d_0}{F} = \frac{0,25}{F}$$

Shunday qilib, lupaning kattalashtirishi quyidagicha bo‘lar ekan:

$$K = \frac{\varphi}{\varphi_0} = \frac{d_0}{F} = \frac{0,25}{F} \qquad \textbf{(10.3)}$$

Bu holda ko‘z cheksizlikka akkomodatsiyalangan bo‘lib, AB buyumni odam zo‘riqmasdan va uzoq vaqt toliqmasdan kuzatishi mumkin.

Agar AB buyumni lupaning fokal tekisligidan lupaga yaqinroqqa sursak $(d < F)$, lupaning kattalashtirishi oldingidan biroz kattaroq bo‘ladi, ammo ko‘z zo‘riqadi. Bunda eng yaxshi ko‘rish masofasi d_0=25 sm da buyumning $A'B'$ mavhum tasvirini olish mumkin. Singan barcha nurlar, jumladan 1',2',3' nurlar sochiladi. Lekin, ko‘z yig‘uvchi linza bo‘lgani uchun bu nurlarni qaytadan ko‘z tubida B_1 nuqtada to‘playdi. Bunda hosil bo‘lgan tasvir buyum lupaning fokal tekisligida turgandagi hosil bo‘ladigan tasvirdan kattaroq bo‘ladi, shuningdek ko‘rish burchagi ham kattaroq bo‘ladi (10.2-a, rasm).

Chizmadan $tg\varphi = \frac{AB}{d} = \frac{h}{d}$ ekani ko‘rinib turibdi. Bunda lupaning kattalashtirishi

$$K = \frac{\varphi}{\varphi_0} \approx \frac{tg\varphi}{tg\varphi_0} = \frac{h/d}{h/d_0} = \frac{d_0}{d} = \frac{1}{d}\cdot d_0 = \left(\frac{1}{F} + \frac{1}{d_0}\right)\cdot d_0 = \frac{d_0}{F} + 1 = \frac{0,25}{F} + 1$$

bo‘ladi.

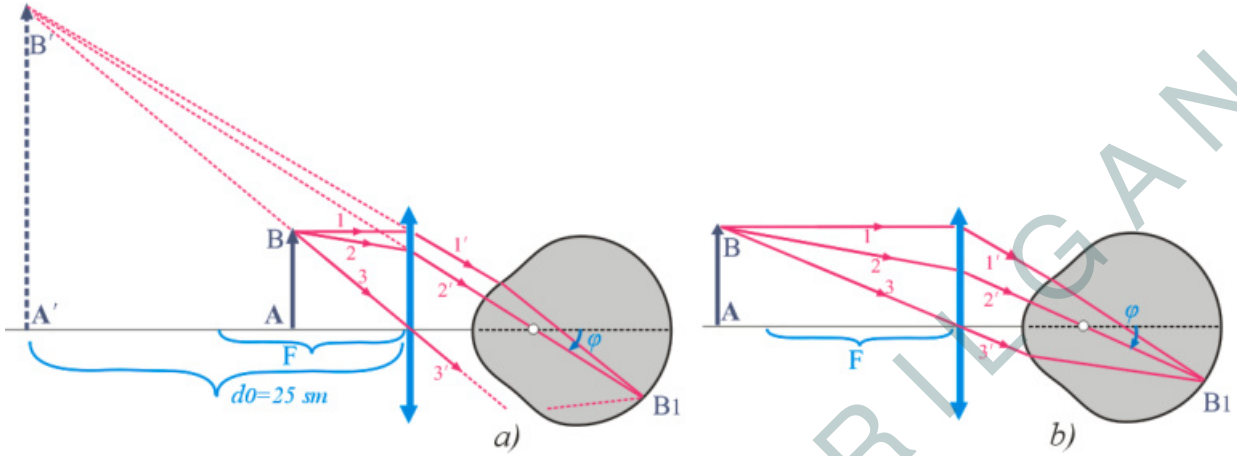
Shunday qilib, buyum lupa fokal tekisligining ichkarisiga joylashtirilganda lupaning kattalashtirishi quyidagicha bo‘larekan:

$$K = \frac{d_0}{F} + 1 \qquad \textbf{(10.4)}$$

Demak, lupaning kattalashtirishini ko‘zni zo‘riqishi evaziga ko‘pi bilan yana bir birlik oshirish mumkin ekan.

SINOV UCHUN BERILGAN

Agar AB buyumni lupaning fokal tekisligidan lupadan uzoqroqqa sursak $(d > F)$, lupaning kattalashtirishi buyum fokal tekislikda turgandagidan biroz kichiklashadi (10.2-b, rasm). Agar buyum lupadan eng yaxshi ko‘rish msofasi d_0=25 *sm* uzoqlikka joylashtirilsa, unda umuman tasvir hosil bo‘lmaydi.



10.2-rasm

Lupalarning diametri uncha kichik bo‘lmagani uchun ularning fokus masofasi ham uncha kichik bo‘lmaydi. Shu bois lupa ko‘rish burchagini istalgancha kattalashtirib berishga imkon bermaydi. U holda kattalashtirish darajasini yanada oshirish uchun boshqa optik asboblardan foydalanishga to‘g‘ri keladi.

Mikroskop:

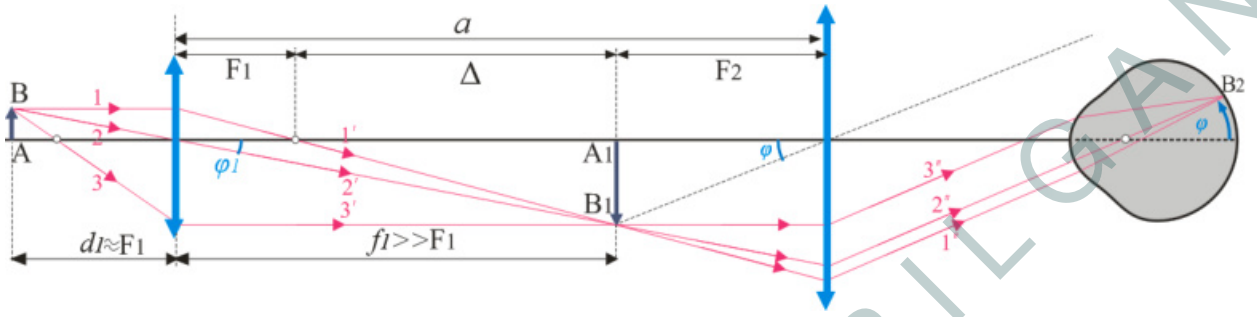
Juda kichik zarralarni ko‘rish uchun mikroskopdan foydalaniladi. Mikroskopda fokus masofasi lupanikidan ancha kichik bo‘lgan ikkita linza bo‘ladi. Buyum tomonda turadigan linzani ***ob’ektiv*** deb, kuzatuvchi tomonda turadigan linzani esa ***okulyar*** deb ataladi. Ob’ektivning fokus masofasi okulyarnikidan kichikroq (demak, optik kuchi kattaroq) bo‘ladi. Ob’ektivning fokus masofasi $F_{obek} = F_1$, okulyarning fokus masofasi esa $F_{ok} = F_2$ deb olamiz. Ob’ektiv va okulyarlar orasidagi masofani a deb, ularning fokus masofalari orasidagi masofani esa Δ deb olamiz. Bunda $\Delta -$ mikroskopning ***tubus uzunligi*** deyiladi. Kuzatiladigan mayda AB jism (masalan, biologik xujayralar) ob’ektivning fokal tekisligining shundoq orqasiga $(d_1 > F_1,\ d_1 \approx F_1)$ joylashtiriladi. Bu mayda jismning teskari haqiqiy A_1B_1 tasviri $f_1 >> F_1$ masofada hosil bo‘ladi. Okulyarni shunday joylashtiramizki, bunda A_1B_1 tasvir okulyarning fokal tekisligida yotadi. Okulyardan chiqqan nurlar parallel nurlar dastasiga aylanadi va ko‘zga φ burchak ostida tushadi. Ko‘z esa bu parallel nurlar dastasini yig‘ib ko‘z tubida A_2B_2 A_2B_2 to‘g‘ri tasvirga aylantiradi. Demak, ob’ektiv hosil qilgan A_1B_1 tasvirni odam φ burchak ostida ko‘radi (10.3-rasm). Chizmadan

$$tg\varphi = \frac{A_1B_1}{F_2} = \frac{f_1\, tg\varphi_1}{F_2} = \frac{f_1}{F_{OK}} \cdot \frac{AB}{d_1} = \frac{f_1}{F_2} \cdot AB \cdot \left(\frac{1}{F_1} - \frac{1}{f_1}\right) = \frac{f_1 - F_1}{F \cdot F_2} \cdot AB = \frac{\Delta}{F \cdot F_2} \cdot AB = \frac{\Delta \cdot AB}{F \cdot F_2}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

ekanligini aniqlaymiz. Mayda AB jismni eng yaxshi ko‘rish masofasidan kuzatilganda, ko‘rish burchagi tangensi $tg\varphi_0 = \frac{AB}{d_0}$ ga teng bo‘lar edi. Topilgan burchaklardan mikroskopning kattalashtirishini topish mumkin.

$$K = \frac{\varphi}{\varphi_0} \approx \frac{tg\varphi}{tg\varphi_0} = \left(\frac{\Delta \cdot AB}{F_1 \cdot F_2}\right) : \left(\frac{AB}{d_0}\right) = \frac{\Delta \cdot d_0}{F_1 \cdot F_2}$$



10.3-rasm

Shunday qilib, mikroskopning kattalashtirishi quyidagicha bo‘lar ekan:

$$K = \frac{\Delta}{F_1} \cdot \frac{d_0}{F_2} \qquad \textbf{(10.5)}$$

Yuqoridagi formuladan ob’ektivning kattalashtirshini $K_1 = \frac{\Delta}{F_1}$ bilan, okulyarning kattalashtirishini esa $K_1 = \frac{d_0}{F_2}$ bilan belkilasak, mikroskopning kattalashtirishi quyidagicha bo‘lar ekan:

$$K = K_1 \cdot K_2 \qquad \textbf{(10.6)}$$

Mikroskopning kattalashtirishi ob’ektivning kattalashtirishi va okulyarning kattalashtirishi ko‘paytmasiga teng bo‘ladi.

Odam mikroskop orqali qaraganda, mayda jismlarning mavhum, to‘nkarilgan, taxminan 1000 marta kattalashtirilgan tasvirini ko‘radi.

Fotoapparat:

Fotoapparatlar ochiq ko‘z bilan ko‘rinadigan jismlarni, ya’ni o‘lchami metr tartibida bo‘lgan jismlarni (mas.daraxt, bino, odam, mashina va h.) suratga olish uchun foydalaniladi. Bunda jismlarning kichiklashgan, haqiqiy va teskari tasviri fotoapparat ichidagi yorug‘likka sezgir plyonkani kuyishi natijasida hosil bo‘ladi. Bu plyonkani ***negativ*** deyiladi. Fotoapparat ichida yig‘uvchi linza bo‘lib, uni ***ob’ektiv*** deyiladi. Ob’ektiv oldinga yoki orqaga surilishi mumkin. Uzoqroqdagi jismni suratga olinayotganda obektivni orqaga, ya’ni tasvirchi o‘ziga tomon suradi. Suratga olinayotgan jismgacha masofa linza fokusidan ancha katta $(d >> F)$ bo‘ladi. Shuning uchun tasvir linza fokus masofasining shundoq orqasida, fokus masofadan biroz katta masofada $(f > F,\ f \approx F)$ hosil bo‘ladi (10.4-rasm). Natijada, fotoapparatning kattalashtirishi quyidagicha bo‘ladi:

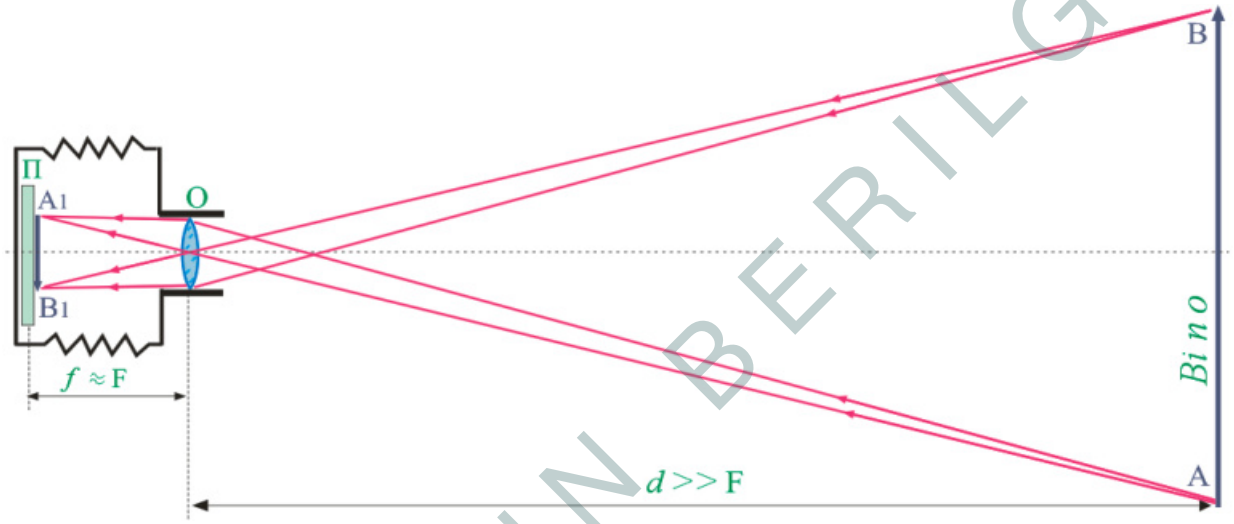
SINOV UCHUN BERILGAN

$$K = \frac{f}{d} \approx \frac{F}{d} \qquad (10.7)$$

Endi biror uzoqlikdan biror ob'ektni sur'atga olganda tasvirning o'lchami qanday bo'lishini aniqlaylik. Linzaning kattalashtirish formulalari $K = \frac{f}{d} \approx \frac{F}{d}$ va $K = \frac{H}{h}$ dan foydalanamiz. Natijada,

$$\frac{H}{h} = \frac{F}{d}, \quad \rightarrow \quad H = \frac{F}{d}h$$

so'ralgan kattalik kelib chiqadi.



10.4-rasm

Demak, balandligi h bo'lgan binoni ob'ektivining fokus masofasi F bo'lgan fotoapparat yordamida d masofadan suratga olganda negativdagi tasvir balandligi quyidagicha bo'ladi:

$$H \approx \frac{F}{d}h \qquad (10.8)$$

Fotoapparat yordamida biror ob'ektni ikki xil usulda sur'atga olganda tasvir o'lchamlari ma'lum bo'lsa, ob'ektning o'lchami, linzaning optik kuchi va fokus masofasini aniqlash mumkin ekan. Shu kattaliklarni topaylik. Buyumni d_1 masofadan suratga olganda tasvir $f_1 = \frac{H_1}{h}d_1$ masofada, d_2 masofadan suratga olganda esa tasvir $f_2 = \frac{H_2}{h}d_2$ masofada hrsil bo'ladi. Fokus masofa uchun

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2}$$

formuladan foy dalanib buyum balandligini topamiz.

$$\frac{1}{d_1} + \frac{h}{H_1 d_1} = \frac{1}{d_2} + \frac{h}{H_2 d_2}, \rightarrow \quad h\frac{H_2 d_2 - H_1 d_1}{H_1 H_2 d_1 d_2} = \frac{d_1 - d_2}{d_1 d_2}, \rightarrow \quad h = \frac{H_2 d_2 - H_1 d_1}{H_1 H_2 d_1 d_2} = \frac{(d_1 - d_2)H_1 H_2}{H_2 d_2 - H_1 d_1}$$

Linzaning optik kuchini topamiz.

SINOV UCHUN BERILGAN

$$D=\frac{1}{F}=\frac{1}{d_1}+\frac{1}{f_1}=\frac{1}{d_1}+\frac{h}{H_1d_1}=\frac{1}{d_1}+\frac{(d_1-d_2)H_2}{(H_2d_2-H_1d_1)d_1}=\frac{H_2d_2-H_1d_1+H_2d_1-H_2d_2}{(H_2d_2-H_1d_1)d_1}=\frac{H_2-H_1}{H_2d_2-H_1d_1}$$

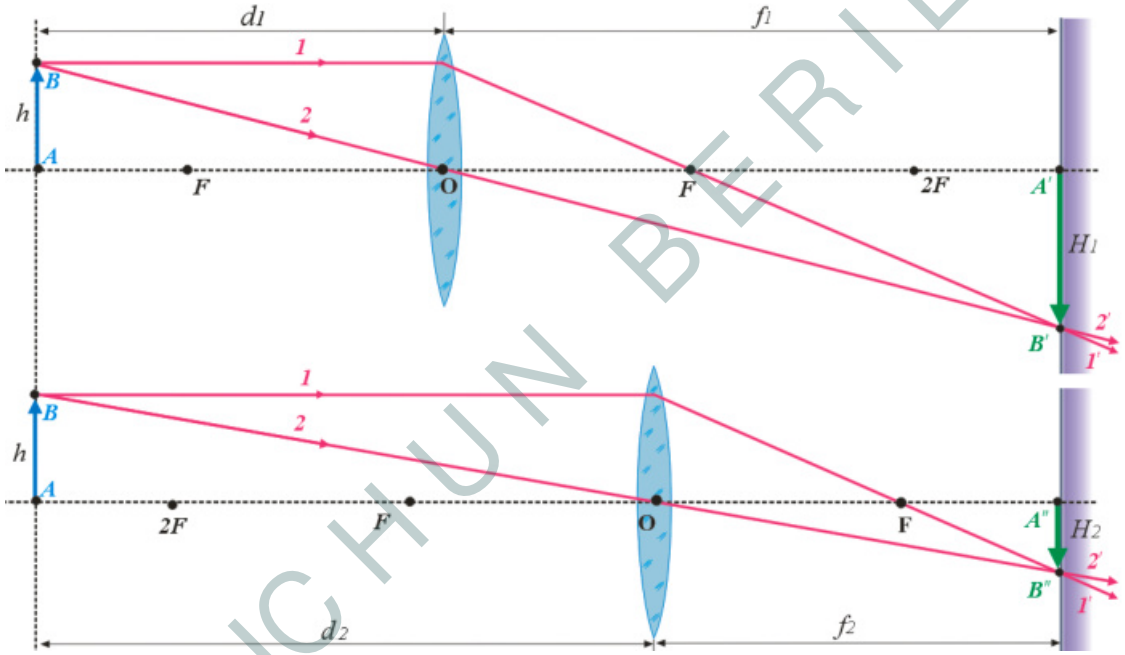
Linza fokus masofasi esa optik kuchga teskari kattalik bo‘lgani uchun

$$F=\frac{H_2d_2-H_1d_1}{H_2-H_1}$$

bo‘ladi.

Shunday qilib, agar buyumni d_1 masofadan sur’atga olganda tasvir balandligi H_1, d_2 masofadan suratga olganda tasvir balandligi H_2 bo‘lsa, u holda buyum balandligi h, optik kuchi D va fokus masofasi F quyidagicha bo‘lar ekan:

$$h=\frac{(d_1-d_2)H_1H_2}{H_2d_2-H_1d_1};\quad D=\frac{H_2-H_1}{H_2d_2-H_1d_1};\quad F=\frac{H_2d_2-H_1d_1}{H_2-H_1} \qquad (10.9)$$



10.5-rasm

Buyum va ekran orasindagi linzani surish yo‘li bilan buyumning haqiqiy tasvirini ikki marta hosil qilish mumkin ekan. Tasvir o‘lchamlarini bilgan holda buyum o‘lchamini aniqlaylik. Masala shartidan ham ma’lumki, buyum va linza orasidagi masofa har ikkala holda ham o‘zgarmas saqlanadi, ya’ni $\ell=d_1+f_1=d_2+f_2$ bo‘ladi. Undan tashqari foydalanilayotgan linza bitta bo‘lgani uchun

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{d_1}+\frac{1}{f_1}=\frac{1}{d_2}+\frac{1}{f_2}$$

bo‘ladi. Bu tengliklardan

$$\begin{cases}d_1+f_1=d_2+f_2\\ d_1f_1=d_2f_2\end{cases}$$

kelib chiqadi. Sistemadagi 2-tenglamadan $f_2=\frac{d_1f_1}{d_2}$ ni 1-tenglamaga qo‘ysak

SINOV UCHUN BERILGAN

$$d_1 + f_1 = d_2 + \frac{d_1 f_1}{d_2}$$

hosil bo‘ladi. Bundan esa

$$d_2^2 - (d_1 + f_1)d_2 + d_1 f_1 = 0$$

tenglama hosil bo‘ladi. Bu tenglamani yechib

$$\begin{cases} d_2 = f_1 \\ f_2 = d_1 \end{cases}$$

ekanini topamiz. Endi ikala holda linza kattalashtirishi uchun

$$\begin{cases} K_1 = \dfrac{f_1}{d_1} = \dfrac{H_1}{h} \\ K_2 = \dfrac{f_2}{d_2} = \dfrac{H_2}{h} \end{cases}$$

sistemani hosil qilamiz. Sistemadagi tenglamalarni ko‘paytirib

$$K_1 K_2 = \frac{f_1}{d_1}\frac{f_2}{d_2} = \frac{H_1}{h}\frac{H_2}{h} = 1$$

ifodani hosil qimlamiz. Bu yerdan esa so‘ralgan

$$h = \sqrt{H_1 \cdot H_2}$$

formulaga ega bo‘lamiz.

Shunday qilib, buyum va ekran orasindagi linzani surish yo‘li bilan buyumning H_1 va H_2 balandlikdagi haqiqiy tasvirlari olingan bo‘lsa, buyumning balandligi h quyidagicha formuladan topilar ekan (10.5-rasm):

$$h = \sqrt{H_1 \cdot H_2} \qquad \textbf{(10.10)}$$

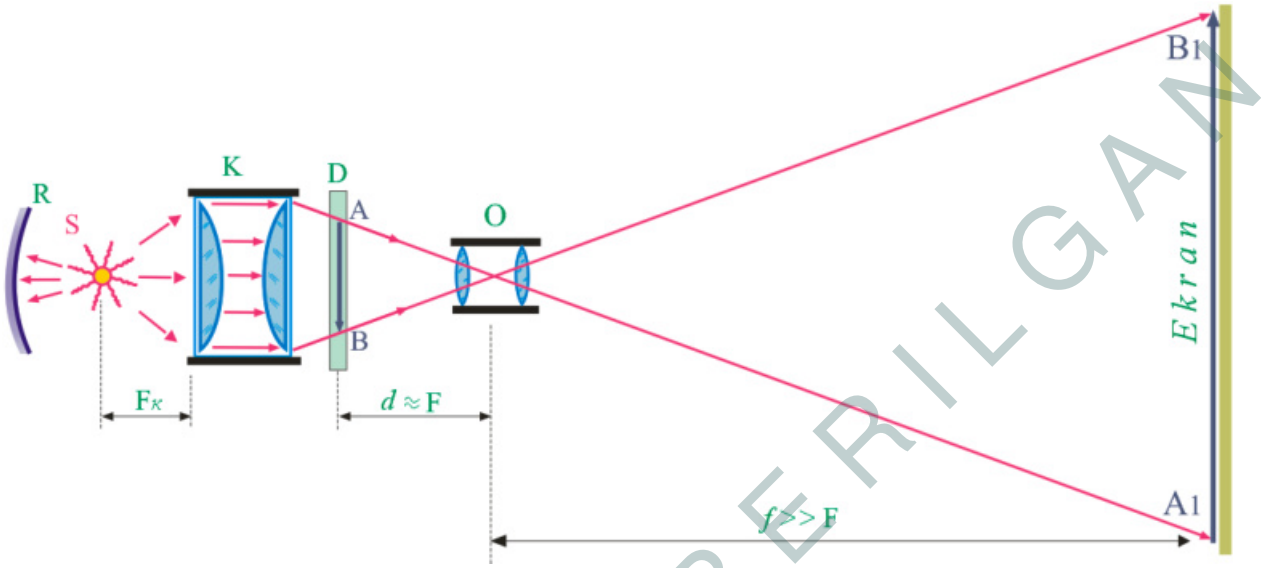
Proyeksion apparat:

Kichik rasmlar, suratlarni devorga kattalashtirib tushirib beradigan optik asbobga ***proyeksion apparat*** deyiladi. Shisha, plyonka kabi shaffof jismlarga tushirilgan rasmlar –diapozitivni kattalashtirib ko‘rishga xizmat qiladigan optik asbobga diaskop (yunoncha “dia”-orqali, “skopeo”-ko‘ryapman) deyiladi. Agar apparat noshaffof rasmlarni ko‘rishga mo‘ljallangan bo‘lsa, uni ***episkop*** deyiladi. Agar apparat ham shaffof ham noshaffof jismlarga chizilgan rasmlarni ko‘rishga mo‘ljallangan bo‘lsa, uni ***epidiaskop*** deyiladi. Diafilmlarni ko‘rish va kinozallarda kino ko‘rish proeksion apparatlar yordamida amalga oshiriladi.

11.6-rasmda diaskopning rasmi keltirilgan. U asosan K kondensor va O ob’ektivdan iborat bo‘lib, ularni linzalar tashkil etadi. Kondensorda ikkita bir xil yassi qavariq linza bo‘lib, chap tomondagi linzaning fokus masofasiga S yorug‘lik manbai joylashgan. Linzaga tushadigan yorug‘lik oqimini kuchaytirish maqsadida orqa tomonga botiq ko‘zgu qo‘yilgan. Kondensor va ob’ektiv oralig‘iga AB diapozitiv to‘nkarilgan holatda joylanadi. Diapozitivdan ob’ektivgacha masofa ob’ektiv fokus masofasidan biroz katta $(d > F, d \approx F)$ bo‘ladi. Ob’ektivdan

SINOV UCHUN BERILGAN

ekrangacha bo‘lgan masofa ob’ektiv fokus masofasidan ancha katta $(f >> F)$ bo‘ladi. Natijada, devorda diapozitivning ancha kattalashgan A_1B_1 to‘g‘ri tasviri hosil bo‘ladi. Ekrandagi tasvirning o‘lchamini o‘zgartish uchun ob’ektivni o‘ngga va chapga suriladi.



10.6-rasm

Proyeksion apparatning kattalashtirishi quyidagicha bo‘ladi:

$$K = \frac{f}{d} \approx \frac{f}{F} \qquad (10.11)$$

Geometrik optikaning tatbiq etilish chegaralari:

Yorug‘likning to‘lqin tabiati buyum detallarini yoki juda mayda narsalarni mikroskop bilan ko‘zdan kechirishda ularni farq qilish imkoniyatini cheklaydi. Difraksiya (difraksiya hodisasi to‘lqin optikasida o‘rganiladi) mayda narsalarning aniq tasvirini hosil qilishga imkon bermaydi. Chunki yorug‘lik to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqalmay, balki mayda narsalarni aylanib o‘tadi. Natijada, tasvirlar chaplashib ketadi. Chaplashgan tasvirni har qancha kattalashtirsa ham aniq tasvir olib bo‘lmaydi. Narsalarning chiziqli o‘lchamlari yorug‘lik to‘lqin uzunligidan kichik bo‘lgandagina shunday bo‘ladi.

Difraksiya teleskopning ham ko‘rsatish imkoniyatini cheklaydi. To‘lqinlar difraksiyasi oqibatida yulduzning tasviri ob’ektiv gardishida nuqta bo‘lmay, balki yorug‘ va qoramtir xalqalar sistemasi bo‘lib ko‘rinadi. Agar ikkita yulduz bir-biridan kichik burchak masofada turgan bo‘lsa, bu xalqalar bir-birining ustiga tushadi, ko‘z yorug‘lik manbalari ikkitami yoki bittami farq qila olmaydi.

Difraksiya xodisasi yuzasidan o‘tkazilgan tadqiqotlar geometrik optika qonunlari taqribiy xarakterga ega ekanligini mutlaqo ravshan ko‘rsatib berdi. Yorug‘likning to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqalish qonuni va geometrik optikaning boshqa qonunlari yorug‘likning tarqalish yo‘lidagi to‘siqlarning o‘lchamlari

SINOV UCHUN BERILGAN

yorug‘lik to‘lqinining uzunligidan ko‘p marta katta bo‘lgan holllardagina yetarli darajada aniq bajariladi.

Mavzu yuzasidan savollar



1. *Optik asboblarning kattalashtirishi nima?*
2. *Lupa nima maqsadda ishlatiladi? Uning kattalashtirish formulasini yozing. Lupalarning kattalashtirishlari qaysi oraliqda bo‘ladi?*
3. *Mikroskop nima maqsadda ishlatiladi? Uning kattalashtirish formulasini yozing. Mikroskoplarning kattalashtirishlari qaysi oraliqda bo‘ladi?*
4. *Fotoapparatlar nima maqsadda ishlatiladi? Uning ishlash prinsipini tushuntiring.*
5. *Proyeksion apparatlar nima maqsadda ishlatiladi.Uning ishlash prinsipini tushuntiring.*
6. *Ko‘rish trubasi deganda nimani tushunasiz?*

Masala yechish:

1. *Fokus masofasi 5 cm bo‘lgan lupa yordamida buyumning mavhum tasviri lupadan 10 cm masofada hosil qilindi. Lupaning kattalashtirishi qanday.*

A) 10 B) 6 C) 5 D) 3 E) 2

Berilgan:

$F = 1\ m$

$f = 3m$

$k = ?$

Yechilishi:

Lupalardan sochuvchi linzalar sifatida foydalaniladi. Shuning uchun $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$ *ifodadan* $d = \frac{Ff}{f+F} = \frac{10}{3}$ *sm.*

Lupaning chiziqli kattalashtirishi $k = \frac{f}{d} = 3$ *ga teng.*

Javob: *D)*

2. *8 m uzunlikdagi binoning fokus masofasi 5 cm bo‘lgan fotoapparat yordamida olingan tasviri uzunligi 0,01 m bo’lsa, bino necha metr masofadan rasmga olingan?*

A) 4 B) 40,05. C) 41 D) 13 E) 4,1.

Berilgan:

$h = 8\ m$

$H = 0{,}01\ m$

$F = 5\ cm$

$d = ?$

Yechish:

Fotoapparatdagi linza yig‘uvchi bo‘lganligi uchun linzaning kattalashtirishi ifodasi $k = \frac{f}{d} = \frac{H}{h}$ *dan foydalangan holda* $f = \frac{dH}{h}$ $f = 800d$ *. Yig‘uvchi linza formulasidan linza formulasi dan*

$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{801}{d}$ *bunda* $d = 801F = 40{,}05\ m$

Javob: *B) 40,05 m*

SINOV UCHUN BERILGAN

II BOBGA DOIR LABORATORIYA ISHLARI

Laboratoriya ishi: № 2.
Shishaning sindirish ko'rsatkichini aniqlash.

Ishning maqsadi: Yorug'likning sinish qonunini tekshirish.

Kerakli asbob va jihozlar: Shisha prizma, to'g'nag'ich ignalari, karton qog'oz 1 varaq karton qog'oz o'lchov chizg'ichi.

NAZARIY QISM

Yorug'lik nuri bir muhitdan ikkinchi muhitga (optik zichligi turlicha bo'lgan) o'tganda o'z yo'nalishini o'zgartiradi. Agar n_2 ni optik zichligi kichikroq muhitdan kattaroq muhitga o'tganda ikki muhit chegarasiga o'tkazilgan normal tomon og'adi.



Agar optik zichligi kattaroq muhitdan kichikroq muhitga o'tganda normaldan chetga tomon og'adi. Sinish qonuniga ko'ra tushish burchagi sinusi sinish burchagi sinusiga nisbati ikkinchi muhitni birinchi muhitga nisbatan nisbiy sindirish ko'rsatkichi deyiladi.

$$\frac{sin\alpha}{sin\gamma} = \frac{n_1}{n_2} = n_{21}$$

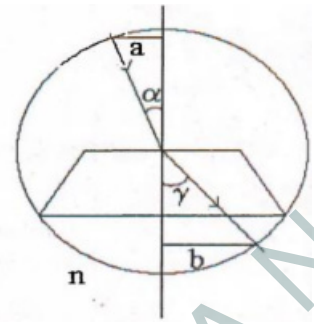
Ishni bajarish tartibi:

1. Karton ustiga oq varaqni maxkamlab oq varaq o'rtasidan shisha plastinka o'rnatish uchun to'g'ri chiziq o'tkaziladi.
2. Normal chiziq o'tkazing. Nurni tushish yo'nalishi bo'ylab tushuvchi nur uchun to'g'ri chiziq chizing va bu nurda xarakterli nuqtalarni ignalar bilan belgilang.
3. O'lchashlar va hisob-kitob natijasini jadvalga kiritib boring.
4. Nisbiy xatolik va sindirish ko'rsatkichlarini quyidagi formuladan foydalanib hisoblang.

$$\varepsilon = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot 100\% = 23 \qquad \frac{sin\alpha}{sin\gamma} = \frac{\frac{a}{R}}{\frac{b}{R}} = \frac{a}{b} = n$$

SINOV UCHUN BERILGAN

№	a(cm)	b(cm)	n	n	Δn	•Δn	s%
1							
2							
3							



Nazorat uchun savollar

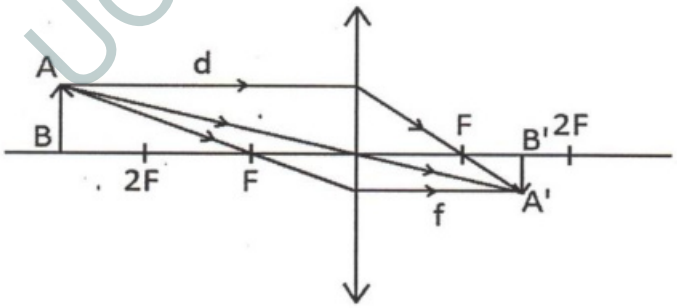
1. Absalyut nur sindirish ko‘rsatkichi deb nimaga aytiladi?
2. Nisbiy nur sindirish ko‘rsatkichi deb nimaga aytiladi?
3. Yorug‘likning sinish qonunini aytib bering.
4. To‘la ichki qaytish hodisasini aytib bering.
5. To‘la ichki qaytishning chegaraviy qiymati qanday aniqlanadi?

Laboratoriya ishi: № 3.
Linzaning focus masofasini aniqlash.

Ishning maqsadi: ikki yoqlama qavariq linzadan amalda foydalanishni o'rganish va formula yordamida uning fokus masofasini aniqlash.

Kerakli asbob va jihozlar: a) ikki yoqlama qavariq linza; b)chizg'ich; c) yorug'lik manbayi; d) ekran.

NAZARIY QISM



1-rasm

Ishni bajarish tartibi:

1). Kattalashgan, haqiqiy va teskari tasvir olish:

a) linza ekran va manba oralig'ida joylashtirish;

b) linzani chap yoki o'ngga surib kattalashgan, haqiqiy va teskari tasvir erishiladi;

c) linzadan manbagacha d, linzadan ekrangacha bo'lgan/masofalar o'lchanadi;

d) natijalar jadvalga yoziladi.

2). Kichiklashgan, haqiqiy va teskari tasvir olish:

SINOV UCHUN BERILGAN

a) linza ekran va manba oralig'ida joylashtirish;

b) linzani chap yoki o'ngga surib kichiklashgan, haqiqiy va teskari tasvir erishiladi;

c) linzadan manbagacha d, linzadan ekrangacha bo'lgan/masofalar o'lchanadi;

d)natijalar jadvalga yoziladi.

3). Linzaning fokus masofasini aniqlash:

a) ikki yoqlama qavariq linza $\frac{1}{F}=\frac{1}{d}+\frac{1}{f}$ formulasi dan linzaning focus masofasini 1- va 2-o'lchamlarga binoan topiladi;

b) Olingan natijalar jadvalga yoziladi.

4). Tekshirish:

Manba bilan teng bo'lgan haqiqiy va teskari tasvi? hosil qilinadi. Linza manba va ekran oralig'iga shunday joylashtiriladiki, bunda $d=2F$ tenglik bajarilsin. Agar tenglik bajarilmasa demak tajriba va hisoblab topilgan fokus masofaning qiymati noto'g'ri. Bu holda yuqoridagi tajribalar takroran bajariladi.

5). Linzaning optik kuchi:

Linzaning optik kuchini quyidagi formula bo'yicha dioptriyalardan aniqlandi:

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

O'rtacha arifmetik usul yordamida o'lchashlarning mutloq va nisbiy hatoliklari topiladi.

$\bar{F}=\frac{F_1F_2F_3}{3}$ – o'rtacha arifmetik qiymati;

$\Delta F=|\bar{F}-F_1|$ – mutloq hatolik qiymatlari;

$\overline{\Delta F}=\frac{\Delta F_1+F_2+F_3}{3}$ – hatolikning o'rtacha arifinetik qiymati;

$\varepsilon=\frac{\overline{\Delta F}}{\Delta F}$x100% – o'lchashning nisbiy hatoligi.

1-jadval

№	*d, cm*	*f, cm*	*F, cm*	$\bar{F}$ *, cm*	*ΔF, cm*	$\Delta\bar{F}$ *, cm*	*ε, %*
1							
2							
3							

Nazorat uchun savollar

1. Linza deb nimaga aytiladi?
2. Linzaning qanday turlarini bilasiz?
3. Linza uchun xarakterli kattaliklar (optik markaz, optik o'q, bosh optik o'q, fokus masofa, fokal tekislik) larni aytib bering.
4. Yig'uvchi linza uchun linza formulalarini yozib bering.
5. Sochuvchi linza uchun linza formulalarini yozib bering?
6. Linzaning kattalashtirishi nima? Kattalashtirish formulalarini yozib bering.

SINOV UCHUN BERILGAN

II BOBGA DOIR TESTLAR

1. Yorug‘lik nuri nima?

A) yorug‘lik manbai bilan kuzatilayotgan nuqtani birlashtiruvchi to‘g‘ri chiziq
B) B tebranishlarining yo‘nalishini ko‘rsatuvchi chiziq
C) E tebranishlarining yo‘nalishini ko‘rsatuvchi chiziq
D) yorug‘lik energiyasi tarqalayotgan chiziq
E) TJY.

2. Vakuumdagi uzunligi *0,75 μm* bo‘lgan yorug‘likning chastotasini toping (*Hz*).

A) $5 \cdot 10^{14}$ B) $4 \cdot 10^{14}$ C) $7{,}5 \cdot 10^{14}$ D) $5 \cdot 10^{15}$

3. Yassi ko‘zgu o‘z tekisligiga tik ravishda *1,5 sm/s* tezlik bilan yorug‘lik manbai tomon harakatlanmoqda. Ko‘zgudagi tasviri qo‘zg‘almas bo‘lishi uchun yorug‘lik manbai necha sm/s tezlik bilan va qaysi tomonga harakatlanishi kerak?

A) 1,5, ko‘zgudan. B) 3, ko‘zguga.
C) 3, ko‘zgudan. D) 1,5, ko‘zguga

4. Yorug‘lik bir muhitdan ikkinchisiga o‘tganda tushish burchagi *60°* ga, sinish burchagi *30°* ga teng. Ikkinchi muhitning birinchi muhitga nisbatan sindirish ko‘rsatkichini aniqlang.

A) 1/2 B) $\frac{1}{\sqrt{3}}$ C) 1,5 D) $\sqrt{3}$

5. Nur shishadan havoga o‘tmoqda. Tushish burchagi *30°*. Nur singanda, o‘z yo‘nalishini *30°* ga o‘zgartirgan bo‘lsa, snishaning sindirish ko‘rsatkichi qanday?

A) $\sqrt{2}$ B) $\sqrt{3}$ C)2 D) $\frac{2}{\sqrt{2}}$

6. Sinish burchagi tushish burchagidan katta bo‘la oladimi?

A) hamma holda katta bo‘ladi
B) nur optik zichligi kichikroq muhitdan optikzichligi kattaroq muhitga o‘tganda
C) nur optik zichligi kattaroq muhitdan optikzichligi kichikroq muhitga o‘tganda
D) nur vakuumdan muhitga o‘tganda E) bunday hoi bo‘lmaydi

7. Agar nurning ikki muhit chegarasiga tushish burchagi oshirilsa, bu muhitlarning nisbiy sindirish ko‘rsatkichi...

A) oshadi B) o‘zgarmaydi C) keskin oshadi D) kamayadi E) TJY

8. Singan nur qaytgan nur bilan 90^0 tashkil etadi. Agar tushish burchagi α ning $sin\alpha = 0{,}8$ ga teng bo‘lsa, sindirish ko‘rsatkichi qanday?

A) 1 B) 1,25 C) 1,33 D) 1,5 E) 1

SINOV UCHUN BERILGAN

9. Vakuumda to‘lqin uzunligi $\lambda_0 = 0{,}76$ μm bo‘lgan yorug‘lik uchun suvning sindirish ko‘rsatkichi $n_1 = 1{,}329$, $\lambda_2 = 0{,}7$ μm bo‘lgan yorug‘lik uchun esa $n_2 = 1{,}344$ bo‘lsa, nurlarning suvdagi tezliklari nisbati qanday?

A) 1,01 B) 1,05 C) 1,10 D) 1,20 E) 1,40

10. Agar *600 nm* to‘lqin uzunlikdagi yorug‘lik vakuumdan biror muhitga o‘tganda, tezligi 40% ga kamaygan bo‘lsa, yorug‘likning shu muhitdagi to‘lqin uzunligi qanday (nm)?

A) 240 B) 360 C) 750 D) 1000 E) 1500

11. Yorug‘lik suvdan shishaga o‘tganda, to‘la qaytish yuz berishi mumkinmi?

A) mumkin, chunki shisha yorug‘likni qaytaradi.

B) mumkin, chunki suvning sindirish ko‘rsatkichi shishanikidan katta.

C) mumkin emas, chunki suvning sindirish ko‘rsatkichi shishanikidan kichik.

D) mumkin emas, chunki suvning va shishaning sindirish ko‘rsatkichlari bir xil.

E) TJY.

12. Suv, shisha va olmosning havoga nisbatan sindirish ko‘rsatkichlari *1,33*, *1,5* va *2,42* ga teng. Shu moddalardan qaysi birida to‘la ichki qaytisnning chegaraviy burchagi eng kichik bo‘ladi?

A) olmosda B) shishada C) suvda D) hamma moddalarda bir xil

E) bu moddalarda to‘la ichki qaytish hodisasi kuzatilmaydi.

13. Nur shishadan vakuumga chiqmoqda. Agar bunda to‘la ichki qaytish burchagi α_0 bo‘lsa yorug‘likning shishadagi tezligini qanday

A) c·ctgα B) $c \cdot cos\alpha_0$ B)$\frac{c}{tg\alpha_0}$ C) α_0 D)$\frac{c}{sin\alpha_0}$ E) $c \cdot sin\alpha_0$

14. Fokus masofasi *5 cm* bo‘lgan lupa yordamida buyumning mavhum tasviri undan (lupadan) *10 cm* masofada hosil qilindi. Lupaning kattalashtirishi qanday.

A) 10 B) 6 C) 5 D) 3 E) 2

15. Buyum bilan yig‘uvchi linza oralig‘i $3F$. Linzaning fokus masofasi F bo‘lsa, tasvirning o‘lchami buyum o‘lchamidan necha marta katta bo ladi?

A) 3 B) 2 C) 1 D) 0,5 E) 0,25

16. Yig‘uvchi linzadan buyumgacha bo‘lgan masofa fokus masofadan uch marta katta bo‘lsa, kattalashtirish koeffitsiyenti qanday?

A) 3 B) 2 C) 1,5 D) 0,75 E) 0,5

17. Agar haqiqiy tasvir buyumdan 3 marta kichik bo‘Isa, buyum linzadan qanday masofada joylashgan? Linzaning fokus masofasi F.

SINOV UCHUN BERILGAN

A) $\frac{4}{3F}$ B) $1{,}5F$ C) $2F$ D) $4F$ E) $6F$

18. Yorug‘lik dastasi fokus masofalari F_1 va F_2 bo‘lgan ikki linzadan iborat sistemadan o‘tmoqda” Bu sistemadan chiqqanda dasta nurlari parallelligicha cha qolishi uchun linzalar orasidagi masofa qanday bo‘lisni kerak?

A) F_1 B) $F_1 + F_2$ C) $\frac{(F_1+F_2)}{2}$ D) F_2 E) $|F_1 - F_2|$

19. Linzaning fokus masofasi 4 cm. Lizaning optik kuchi necha dioptriya?

A) 25 B) 4 C) 0,4 D) 0,25 E) TJY

20. Buyum optik kuchi 1 *D* bo‘lgan sochuvchi linzadan *4 m* uzoqlikda turibdi. Tasvir linzadan qanday (*m*) masofada hosil bo‘ladi?

A) 3 B) 1,25 C) 1,33 D) 1 E) 0,8

21. Balandligi 3 m bo‘lgan vagonni suratga olishda uning fotoplenkadam balandligi *12 mm* bo‘ldi. Agar fotoapparat ob’ektivining fokus masofasi 20 sm bo‘lsa, surat qanday masofadan olingan (*m*)?

A) 60 B) 50 C) 40 D) 30 E) 20.

22. Nuqsonsiz ko‘zning eng yaxshi ko‘rish masofasi *25 cm*. Uzoqdan ko‘rar odam ko‘zining eng vaxshi ko‘rish masofasi *1 m* bo‘lsa, bu odam optik kuchi qanday (*dptr*) bo‘lgan ko‘zoynak taqishi kerak?

A) aniqlab bo‘lmaydi. B) +1 C) +4 D) -3 E) +3

23. Kishi kitobni *0,5 m* masofadan o‘qiyapti. *25 cm* masofadan normal o‘qishi uchun unga optik kuchi qanday ko‘zoynak kerak bo‘ladi (*dptr*)?

A) -2,5 B) -2 C) + 2 D) +2,5 E) +3

II BOBGA DOIR TOPSHIRIQLAR

1. Ko‘zgu bilan tushayotgan nur orasidagi burchak 35° ga teng. yorug‘likning qaytish burchagini aniqlang.

2. Agar olmosda chastotasi $2{,}73\cdot 10^{14}$ *Hz* bo‘lgan yorug‘likning to‘lqin uzunligi *450 nm* bo‘lsa, yorug‘likning olmosdagi tezligi qanday (*m/s*) bo‘ladi?

3. Yorug‘lik bir muhitdan ikkinchisiga o‘tganda tushish burchagi *60°* ga, sinish burchagi *30°* ga teng. Ikkinchi muhitning birinchi muhitga nisbatan sindirish ko‘rsatkichini aniqlang.

4. Havodan sindirish ko‘rsatkichi $n = \sqrt{3}$ bo‘lgan muhitga nur tushganda, qaytgan nur bilan singan nur orasidagi burchak *90°* ga teng bo‘ldi. Nurning tushish burchagi qanday?

SINOV UCHUN BERILGAN

5. Yorug‘lik nuri suyuqlikdan vakuumga o‘tmogda. Tushish burchagi *30°*. Qaytgan va singan nurlar bir-biriga tik. Bu suyuqlikning sindirish ko‘rsatkichi qanday?

6. Birinchi muhitning ikkinchi muhitga nisbatan sindirish ko‘rsatkichi 2 ga teng bo‘lsa, to‘la ichki qaytishning chegaraviy burchagi qanday bo‘ladi?

7. Nurning ikki muhit chegarasiga tushish burchagi *30°* bo‘lganda sinish burchagi *45°* ekanligini bilgan holda to‘la qaytishning chegaraviy burchagini toping.

8. Buyum bilan uning yig‘uvchi linzadagi haqiqiy tasviri orasidagi masofa *2,5 m*. Linzadan tasvirgacha bo‘lgan masofa esa *2 m* bo‘lsa, linzaning kattalashtirish koeffitsiyenti qanday?

9. Fokus masofasi *15 cm* bo‘lgan linzadan *10 cm* masofada joylashgan buyumning kichiklashgan tasviri linzadan qanday masofada hosil bo‘ladi?

10. Optik kuchi -4 *D* bo‘lgan sochuvchi iinzadan *1 m* masofada joylashgan buyumning tasviri linzadan qanday masofada hosil bo‘ladi?

11. Uzoqdan ko‘ruvchi odamning eng yaxshi ko‘rish masofasi *40 sm*. Bu odamga zarur bo‘lgan ko‘zoynakning optik kuchini toping (*dptr*).

12. Agar yaqindan ko‘rar kishi *12,5 cm* masofadan o‘qiy olsa, u optik kuchi qanday (*dptr*) bo‘lgan ko‘zoynak taqishi kerak bo‘ladi?

13. Kishi ko‘zidan ko‘zoynakni olib, kitobni *20 cm* uzoqda tutgan holda o‘qiydi. Ko‘zoynakning optik kuchi qanday (*dptr*) ?

14. Yassi ko‘zgu oldida stol lampasi turibdi. Agar ko‘zgu lampadan *10 cm* uzoqlashtirilsa, lampa bilan uning tasviri orasidagi masofa qancha o‘zgaradi?

15. Gorizontal yorug‘lik nuri vertikal joylashgan yassi ko‘zguga tushadi. Ko‘zgu o‘z o‘qi atrofida 15^0 burchaka burilsa, qaytgan nur qancha burchaka buriladi?

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

17. Yassi ko‘zguni fokus masofasi qanday?

18. 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 cm* ga teng.

19. Botiq sferik ko‘zguning fokus masofasi *30 cm* ga teng. Uning egrilik radiuasi va optik kuchi qanday bo‘ladi?

20. 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.

SINOV UCHUN BERILGAN

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

22. 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?

23. Nur shisha prizmaning yon qirrasiga 0^0 burchak ostida tushmoqda. Prizmaning sindirish burchagi 3^0. Nurning prizmadan og‘ish burchagini toping.

24. Ariq tubida kichik tosh yotipdi. Bola tayoq bilan toshni surmoqchi. Bola toshni mo‘ljalga olib tayoqni 40^0 burchak ostida ushlab turipdi. Agar ariqning chuqurligi 50 sm bo‘lsa, tayoq ariq tubiga toshdan qancha masofada taqaladi.

25. Hovuzning tubiga balandligi *1 m* bo‘lgan qoziq qoqilgan. Agar Quyosh nuri suv sirtiga 60^0 burchak ostida tushayotgan bo‘lsa va qoziq batamom suvning ostida bo‘lsa, qoziqninng hovuz tubidagi soyasininng uzunligini toping.

26. Sindirish ko‘rsatkichi *1,56* bo‘lgan shishadan optik kuchi *8 dptr* bo‘lgan linza tayyorlash kerak. Agar linza yoqlarining egriligi birday bo‘lsa, bu sirtlarning egrilik radiuslari nimaga teng?

27. Agar shishadan tayyorlangan linzaning qavariq linzaning fokus masofasi bu linzaning egrilik radiusiga teng bo‘lsa, shishaning egrilik radiusi nimaga teng?

28. Qavariq linzadan *40 sm* uzoqlikdagi buyumning tasviri linzadan *15 cm* narida hosil bo‘lgan. Agar buyumning kattaligi *60 sm* bo‘lsa, linzaning fokus masofasi qancha bo‘ladi? Buyum tasvirining kattaligi qanday bo‘ladi?

29. Normal ko'rish qobiliyatiga ega bo'lgan kishi yassi ko'zguda o'z betining tasviriga diqqat bilan qaraganda ko'zguni qanday masofada tutib turish lozim?

30. Sof havoda yoritilganlik o’rtacha bo'lganda normal ko'z uchun chegaraviy ko'rish burchagi $40''$ ga teng. Oq fonda ko'rish nuriga perpendikulyar joylashgan diametri *10 cm* bo'lgan qora doira qanday masofada ko'rinmay qoladi?

31. O'qituvchi stolidan *8 m* masofada oxirgi partada o'tirgan o'quvchi o'lchov asbobi bo'linmalarini bir-biridan keskin farq qilib ko'rishi uchun bu bo'linmalar bir-biriga qanchalik yaqin bo'lishi mumkin? Chegaraviy ko'rish burchagi $2'$ ga teng deb hisoblang.

SINOV UCHUN BERILGAN

III BOB. TO‘LQIN OPTIKASI



To‘lqin optikasi **-** yorug‘likning xossalari va uning modda bilan bo‘ladigan ta’sirini o‘rganuvchi optikaning bir bo‘limi. Geometrik optikada to‘siq yoki tirqishlardan o‘tgach nur aniq soyalar hosil qilsa, fizik optikada esa yorug‘likning to‘siq va tirqishlarni aylanib o‘tish xossalari o‘rganiladi. Bundan tashqari dispersiya, interferensiya, qutblanish kabi hodisalari ham o‘rganiladi. Fizik optikani to‘lqin optikasi deb ham ataladi. To‘lqin optikasini ba’zida fizik optika deb ham yuritiladi.

§ 11. YORUG‘LIK TEZLIGI VA UNI O‘LCHASHNING TURLI TARIXIY USULLARI.

Xona chirog‘i yoqilganda xona birdaniga yop-yorug‘ bo‘lib ketadi. Yorug‘lik nurining xona devorlariga etib kelishi hech qancha vaqt olmaydi. Yorug‘lik tezligini o‘lchashga son-sanoqsiz besamar urinishlar bo‘lgan. Shunda odamlar yorug‘lik tarqalishi vaqt olmaydi, u har qanday masofani bir onda o‘tadi deb o‘ylay boshladilar. Lekin, yorug‘lik tezligining chekli ekanligi *XIIV* asrga kelibgina ayon bo‘ldi.

Astronomik usul (Ryumer usuli):

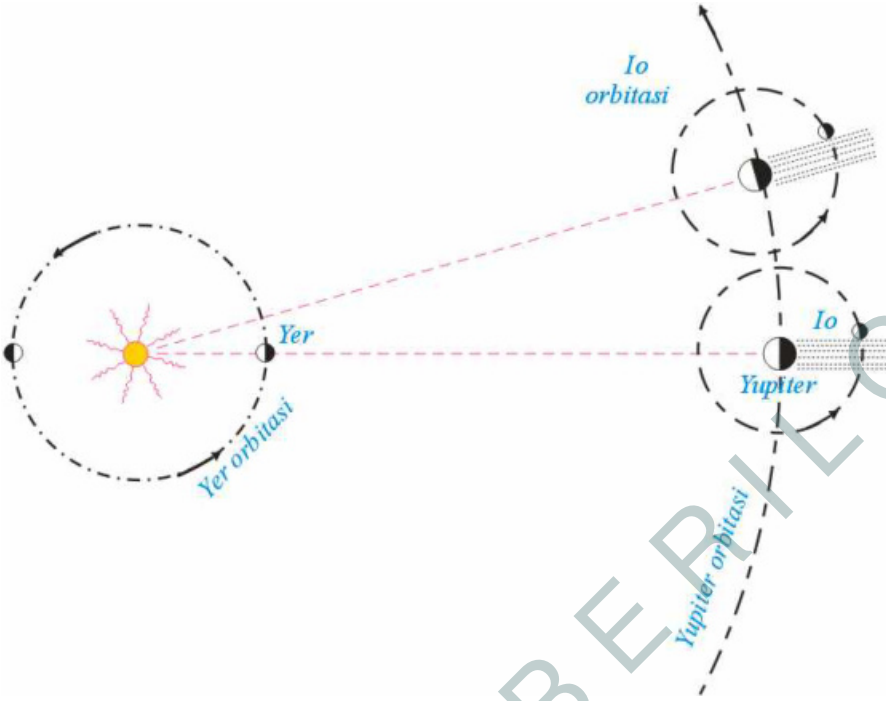
Yorug‘lik tezligini 1-marta astronomik usul bilan daniyalik astronom Ryumer 1676-yil o‘lchagan. Uning yorug‘lik tezligini topishda muvaffaqiyat qozonganligining sababi, u o‘lchashlarda planetalararo masofalarga teng juda katta masofalardan foydalandi. Bu usulda olim yorug‘lik tezligini Yupiter sayyorasi yo‘ldoshi Ioning Yupiter orqasidan o‘tishidagi kechikishiga asoslanib aniqlagan. U quyidagicha ish qildi:

Ryomer Quyosh sistemasining eng katta planetasi Yupiter sayyoralarining tutilishini kuzatdi. Yupiterga eng yaqin yo‘ldosh Ioni kuzatganda tutilishi boshqa yo‘ldoshlardan juda tez sodir bo‘lardi. Io Yupiter diski oldidan o‘tib orqa tomoniga yashirinardi. Biroz vaqtdan so‘ng yana paydo bo‘lardi. Ioning har ikki ko‘rinishi orasidagi vaqt 42 soatu 28 minut edi, ya’ni Ioning Yupiter atrofida aylanish davri 42 soatu 28 minut edi.

Dastlab Ryumerning o‘lchash ishlari Yupiter Yerga eng yaqin kelganda o‘tkazildi (11.1-rasm). Keyingi o‘lchash ishlari esa oradan 6 oy vaqt o‘tgach, ya’ni Yer o‘z orbitasining qarama-qarshi tomoniga o‘tgach o‘tkazildi.Bunda Io va Yer orasidagi masofa taxminan Yer orbitasi diametriga oshgan edi. Bunda olim kutilmagan natijaga ega bo‘ldi. Ioning aylanish davri 42 soatu 28 minut ekanligini bilgan holda o‘tgan 6 oy ichida Io Yupiterni necha marta aylanishi va galdagi soya

SINOV UCHUN BERILGAN

ortidan chiqish soat nechada ro‘y berishini hisob-kitob qilgan edi. Io Yupiter soyasidan Ryomer hisob-kitob qilgandan ko‘ra 22 minut kechikib chiqdi.



11.1-rasm

Ryomer kechikishning sababini quyidagicha hisoblab bergan: “Agar men Yer orbitasining 6 oy oldingi narigi tomonida turganimda edi, Io soyadan o‘z vaqtida chiqqan bo‘lar edi, yorug‘lik nuri Yer dimetrini bosib o‘tishga 22 minut sarf qildi”.

Ryomerning o‘lchashlari uncha aniq emas edi. Uning hisob-kitobiga ko‘ra Yerdan Quyoshgacha masofa taxminan 142 *mln.km*. edi. Shunga ko‘ra Yer orbitasi diametrini kechikish vaqtiga bo‘lib, yorug‘lik tezligining qiymatini topdi.

$$c = \frac{d}{\Delta t} = \frac{2r}{\Delta t} = \frac{2 \cdot 142000000\,км}{22 \cdot 60\,сек} \approx 215000\,км/сек \qquad (11.1)$$

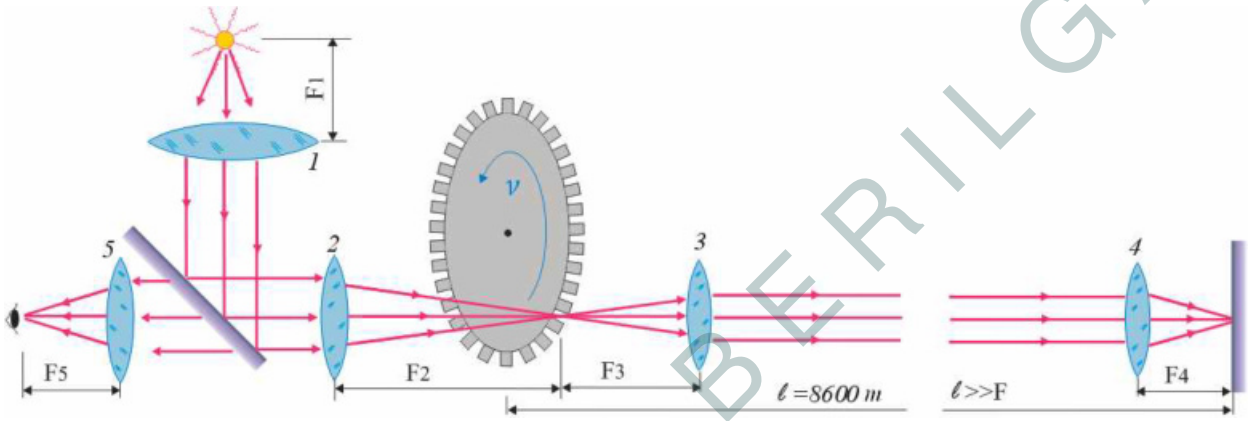
Ryumer yorug‘lik tezligini *215000 km/s* deb aniqlagan. Bu qiymat uncha aniq bo‘lmasa-da, lekin yorug‘lik tezligi haqida qimmatli ma’lumot edi.

Laboratoriya usuli (Fizo usuli):

Yorug‘lik tezligini birinchi marta labaratoriya usulida 1849-yil fransuz fizigi I.Fizo aniqlagan. Yorug‘lik nuri linza va ko‘zgu orqali aylanib turgan tishli g‘ildiraklar orasiga yo‘naltirildi. Tishli g‘ildirakning chastotasi oshirib borilsa, kuzatuvchi ko‘zgudan qaytib kelgan nurni goh ko‘rar, goh ko‘rmas edi. Buning sababi tishlar orasidan o‘tgan nur *8,6 km* masofadagi ko‘zgudan qaytib kelganda nur yo‘liga goh tirqish, goh to‘siq to‘g‘ri kelishida edi. Aylanib turuvchi tishli g‘ildiraklar orasidan o‘tkazilib yuborilgan nurning *8,6 km* masofadagi ko‘zgudan qaytib kelish yo‘li, g‘ildirakning tishlar soni va aylanish chastotasini bilgan holda yorug‘lik tezligining qiymatini topdi. Bunda u yorug‘lik tezligi *313000 km/s* ga teng deb chiqardi (11.*2-rasm*).

SINOV UCHUN BERILGAN

Linzalarning fokus masofalaridan 8600 m masofa juda katta, ya'ni $\ell >> F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$. Shuning uchun, hisob-kitoblarga fokus masofani aralashtirmaymiz. Yorug'lik nurining odam ko'ziga tushguncha o'tgan yo'li taxminan 2ℓ ga teng. Yorug'lik nuri 2ℓ masofani c tezlik bilan $\Delta t = \frac{2\ell}{c}$ vaqtda o'tadi. Bu vaqtda esa ν chastota bilan aylanayotgan tishli g'ildirak biror $\Delta\varphi = \varphi_0 k = \frac{2\pi}{N}k$ burchakka buriladi. Boshqa tomondan bu burilish burchagini aylanish chastotasi orqali



11.2-rasm

$$\Delta\varphi = \omega\Delta t = 2\pi\nu\Delta t$$

deb yozish mumkin. Bularni tenglashtirib yorug'lik tezligini topamiz.

$$2\pi\nu\Delta t = \frac{2\pi}{N}k;\ \rightarrow\ \Delta t = \frac{k}{\nu N} = \frac{2\ell}{c};\ \rightarrow\ c = \frac{2N}{k}\nu\ \ell$$

Shunday qilib, keling ko'zgu va tishli g'ildiraklar orasidagi masofa ℓ, g'ildirakning aylanish chastotasi ν, g'ildirakdagi tishlar soni N bo'lsin. Tishlar orasidan yuborilgan nur ko'zgudan qaytib kelganda ғildirak k ta tish burchagiga burilib yana tirqishga to'g'ri kelib qolgan bo'lsin. Bunda yorug'lik tezligi quyidagicha bo'ladi:

$$\boxed{c = \frac{2N}{k}\nu\ \ell} \qquad \textbf{(11.2)}$$

Agar yuqoridagi formulada burilgan tishlar soni butun son ($k = 1;2;3;4;...Z$) bo'lsa, kuzatuvchi ko'zgudan qaytgan nurni har doim ko'radi.

Agar burilgan tishlar soni yarimli butun son ($k = 0,5;1,5;2,5;3,5;...(2Z-1)/2$) bo'lsa, kuzatuvchi ko'zgudan qaytgan nurni hech qachon ko'rmaydi.

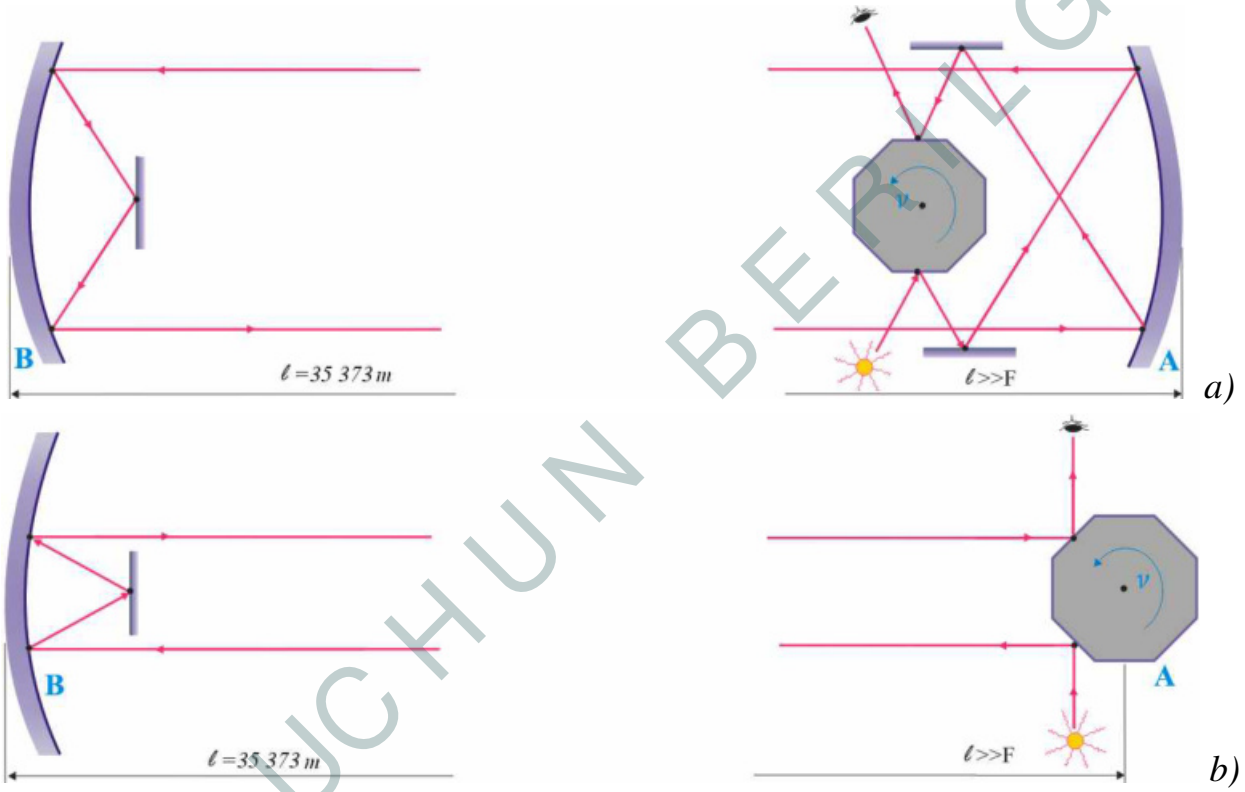
Agar burilgan tishlar soni na butun son va na yarimli butun son bo'lsa, kuzatuvchiga ko'zgudan qaytgan nur goh ko'rinadi, goh ko'rinmaydi.

Laboratoriya usuli (Maykelson usuli):

Amerikalik fizik Maykelson Fizo va Fuko tajribalarini takomillashtirib tishli g'ildirak o'rniga *8* qirrali aylanuvchi prizmatik ko'zgudan foydalandi. Oralig'i

SINOV UCHUN BERILGAN

$\ell = 35{,}373\,km$ bo‘lgan Vilson va San-antoniya tog‘larida tajriba o‘tkazdi. Maykelson yorug‘lik tezligini *299796 km/s* chiqardi (11.*3-a,b,rasm*). *A* va *B* nuqtalar Vilson va San-antoniya tog‘laridagi sferik ko‘zgular bo‘lib, ular nurni qaytarishga mo‘ljallangan. *S* manbadan chiqqan yorug‘lik nuri prizmatik ko‘zgu va sferik ko‘zgulardan qaytib, so‘ngra prizmatik ko‘zguning boshqa yog‘iga tushguncha o‘tgan vaqt ichida katta chastota bilan aylanayotgan prizmatik ko‘zgu ham biror burchakka buriladi. Tajriba jihozlarining ko‘pchiligi, ya’ni prizmatik ko‘zgu, yassi ko‘zgu va kuzatuvchi *A* Vilson tog‘ida bo‘lib, faqat qaytaruvchi sferik va yassi ko‘zgu $\ell = 35{,}373\,km$ uzoqlikdagi *B* San-Antoniya tog‘ida edi.



11.3-rasm

Keling, Maykelson tajribasida prizmatik ko‘zgu qirralar soni N , aylanish chastotasi ν, *A* va *B* nuqtalar orasidagi masofa ℓ bo‘lsin. Nur barcha yo‘lni o‘tib ko‘zguning boshqa qirrasiga tushganda ko‘zgu k ta qirraga burilgan bo‘lsin.Sferik ko‘zgularning fokus masofalaridan *35373 m* masofa juda katta, ya’ni $\ell >> F_1 + F_2$. Shuning uchun hisob-kitoblarga fokus masofani e’tiborga olmaymiz. Yorug‘lik nurining odam ko‘ziga tushguncha o‘tgan yo‘li taxminan 2ℓ ga teng. Yorug‘lik nuri 2ℓ masofani c tezlik bilan $\Delta t = \dfrac{2\ell}{c}$ vaqtda o‘tadi. Bu vaqtda esa ν chastota bilan aylanayotgan prizmatik ko‘zgu biror $\Delta\varphi = \varphi_0 k = \dfrac{2\pi}{N}k$ burchakka buriladi. Boshqa tomondan bu burilish burchagini aylanish chastotasi orqali $\Delta\varphi = \omega\Delta t = 2\pi\nu\Delta t$ deb yozish mumkin. Bularni tenglashtirib yorug‘lik tezligini topamiz.

SINOV UCHUN BERILGAN

$$2\pi\nu\Delta t=\frac{2\pi}{N}k\ ,\ \rightarrow\ \ \Delta t=\frac{k}{\nu N}=\frac{2\ell}{c}\ ,\ \rightarrow\ \ c=\frac{2N}{k}\nu\ell$$

Shunday qilib, Maykelson yorug‘lik tezligini aniqlashga imkon beruvchi ushbu formulani hosil qildi.

$$\boxed{c=\frac{2N}{k}\ \nu\ \ell} \qquad \textbf{(11.3)}$$

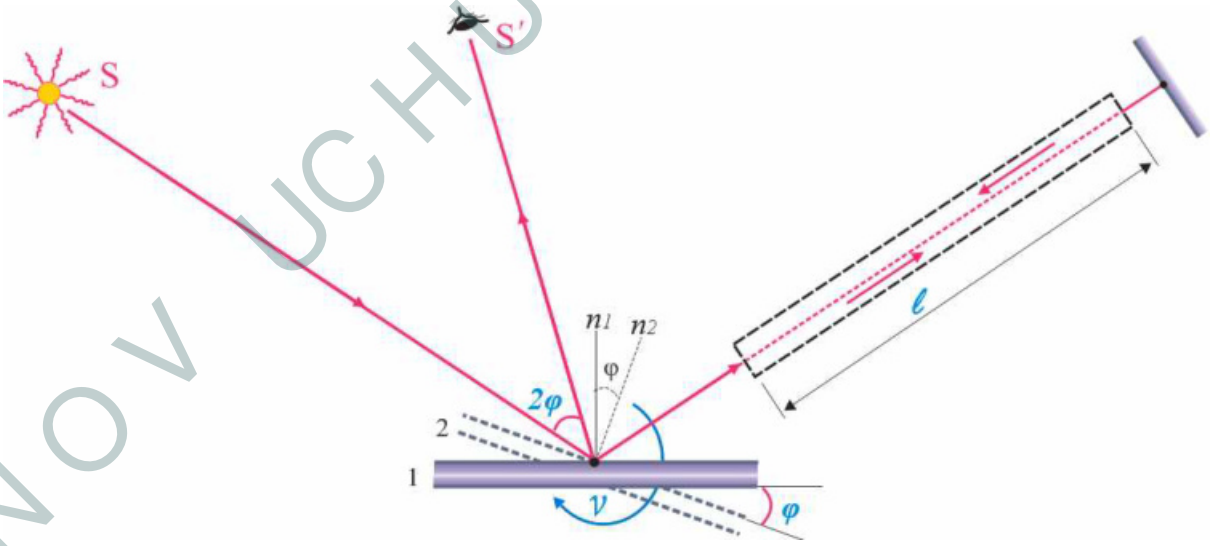
Agar yuqoridagi formulada burilgan tishlar soni butun son ($k=1;2;3;4;...Z$) bo‘lsa, kuzatuvchi ko‘zgulardan qaytgan nurni har doim ko‘radi.

Agar burilgan tishlar soni yarimli butun son ($k=0{,}5;1{,}5;2{,}5;3{,}5;...(2Z+1)/2$) bo‘lsa, kuzatuvchi ko‘zgulardan qaytgan nurni hech qachon ko‘rmaydi.

Agar burilgan tishlar soni na butun son va na yarimli butun son bo‘lsa, kuzatuvchiga ko‘zgulardan qaytgan nur goh ko‘rinadi, goh ko‘rinmaydi.

Laboratoriya usuli (Fuko usuli):

Yorug‘lik tezligini o‘lchash uchun boshqacharoq usul qo‘lladi. U aylanuvchi ikki yoqlama ko‘zgudan foydalandi (11.4-rasm). *SA* yo‘nalishida kelgan nur aylanuvchi ko‘zguga tushib, so‘ng yana qaytib nay ichiga yo‘naladi. Nay uchidagi *B* ko‘zgudan qaytib yana *A* nuqtaga tushadi. Bunda nur 2ℓ masofa bosib o‘tadi, aylanuvchi ko‘zgu esa ma’lum φ burchakka burilgan bo‘ladi. *B* ko‘zgudan qaytib kelgan nur *A* ko‘zgudan ham qaytib S' nuqtadagi kuzatuvchining ko‘ziga tushadi. Bu yerda *AS* va *AS′* nurlar orasidagi burchak 2φ ga teng bo‘ladi.



11.4-rasm

Yorug‘lik nurining odam ko‘ziga tushguncha o‘tgan yo‘li taxminan 2ℓ ga teng. Yorug‘lik nuri 2ℓ masofani *c* tezlik bilan $\Delta t=\frac{2\ell}{c}$ vaqtda o‘tadi. Bu vaqtda esa *ν* chastota bilan aylanayotgan ikki yoqlama ko‘zgu biror

$$\varphi=\omega\Delta t=2\pi\nu\Delta t$$

burchakka buriladi. Bularni bilgan holda yorug‘lik tezligini topamiz.

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\varphi = 2\pi\nu\Delta t = 2\pi\nu\frac{2\ell}{c}, \quad \rightarrow \quad c = \frac{4\pi}{\varphi}\nu\ell$$

Shuning uchun qaytib kelgan nur aylanuvchi ko‘zgudan ham qaytib nuqtada qayd etiladi. Fuko tezlikni *296000 km/s* chiqardi (11.4-rasm). Agar nur borib kelguncha aylanuvchi ko‘zgu ixtiyoriy α burchakka burilgan bo‘lsa, va ko‘zguning aylanish chastotasi ν bo‘lsa, yorug‘lik tezligi quyidagicha bo‘ladi:

$$c = \frac{4\pi}{\varphi}\nu\ell \qquad (11.4)$$

Fuko birinchi bo‘lib yorug‘likning suvdagi tezligini o‘lchadi. U havodagi tezlikdan 4/3 marta kichik, ya’ni suv uchun yorug‘lik tezligi taxminan *222 000 km/s* chiqdi.

Eng zamonaviy usullar yorug‘likning vakkuumdagi tezligini juda aniq o‘lchashga imkon berdi. Yorug‘likning vakuumdagi tezligi $c = 299792456{,}2 \pm 0{,}8\ m/s$ ga teng bo‘lib, olamdagi eng katta tezlikdir. Hech bir jismning tezligi bu tezlikka tenglasha olmaydi va o‘ta olmaydi.

Mavzu yuzasidan savollar

1. *Yorug‘lik tezligini o‘lchashning astronomik usuli haqida so‘zlab bering. Ryomer tezlikning qanday qiymatini olgan?*
2. *Fizo usulini tushuntirib bering. U qanday qiymat olgan?*
3. *Maykelson usulini tushuntirib bering. U qanday qiymat olgan?*
4. *Fizo va Maykelson tajribasida k doimiy sonning qanday qiymatlarida har doim kuzatuvchi yorug‘likni ko‘radi? k doimiy sonning qanday qiymatlarida har doim kuzatuvchi yorug‘likni ko‘rmaydi?*
5. *Fuko usulini tushuntirib bering. U qanday qiymat olgan?*

Masala yechish:

1. *Maykelsonning yorug‘lik tezligini aniqlashga oid tajribasining sxemasi 11.3-rasmda berilgan. Yorug‘lik nuri taxminan 71 km yo‘lni bosib o‘tadi. Ko‘rish trubasidan qaraganda yorug‘lik hamma vaqt ko‘rinib turishi uchun sakkiz yoqli ko‘zgu prizma sekundiga necha marta aylanish kerak? 528k*

Berilgan:

ℓ_{um}=71 km
N=8
c=3·10⁸ m/s

ν=?

Yechish:

Yorug‘lik tezligini toppish formulasidan foydalanib hisoblaymiz.

$$c = \frac{N}{k}\nu\ell_{um}, \quad \rightarrow \quad \nu = \frac{kc}{N\ell_{um}} = k\cdot\frac{3\cdot10^8\ m/s}{8\cdot71\cdot10^3\ m} = k\cdot528\ [Hz]$$

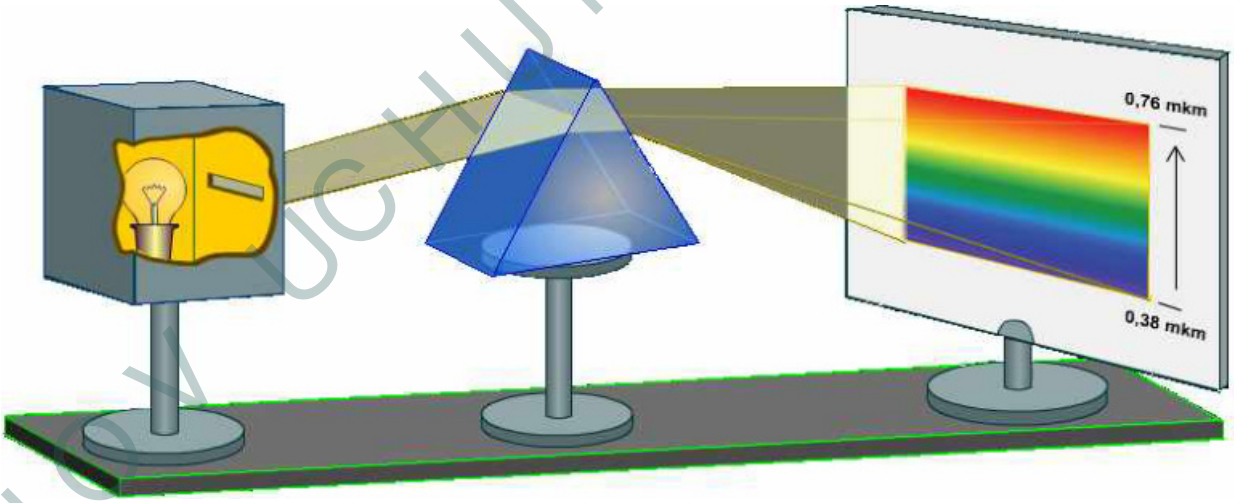
Javob: *528·k [Hz]*

SINOVUCHUN BERILGAN

§ 12. YORUG‘LIK DISPERSIYASI.

Dispersiya hodisasi:

Ingliz olimi Nyuton teleskoplar bilan ishlayotganda yub’ektiv hosil qilgan tasvir chetlari turli ranglarda bo‘yalganiga e’tibor berdi. Nyuton ushbu hodisaga qiziqb qoldi va dunyoda birinchi marta yorug‘lik nurlarining turli-tuman ranglardan iboratligini aniqladi. Nyutonning laboratoriyaxonasiga deraza tirqishidan yorug‘lik o‘tadi va bu yorug‘lik nurlari stol ustidagi uchburchakli shisha prizmaga tushadi. Natijada devorda yetti xil kamalak ranglari paydo bo‘ladi. Bu kamalak alohida rangga bo‘yalgan polosasimon bo‘lib, ulra ma’lum tartibda joylashgandi. Eng tepadan qizil, qizg‘ish, sariq, yashil, havorang, ko‘k va binafsha rangidagi polosalar edi. Nyuton derazadagi tirqishni qizil shisha bilan berkitganda devorda faqat qizil polosa, ko‘k shisha bilan berkitganda esa faqat ko‘k polosa va hokoza paydo bo‘lib, qolgan polosalar yo‘qolar edi. O‘sha paytgacha prizma yorug‘likni turli ranglarga bo‘yaydi degan fikrning noto‘g‘ri ekanligini isbotladi. Kamalakning turli rangdagi polosalarini Nyuton ***spektrlar*** deb atadi (12.1-rasm). Tabiiy yorug‘lik nurini (Quyosh va yulduzlar nurlari, cho‘g‘lanma lampa nuri va h.) ***oq yorug‘lik*** deb ataladi. Oq yorug‘lik murakkab bo‘lib, prizmaga tushganda undan 7 xil nur ajralib chiqadi. Har bir rang o‘zining chastotasi va to‘lqin uzunligiga ega. Bitta rangga ega bo‘lgan nurni ***monoxramatik nur*** deyiladi.



12.1-rasm

Demak, tabiiy yorug‘lik nuri turli spektrlar yoki monoxromatik nurlar aralashmasidan iborat bo‘lib, bu nurlarni shisha prizma turlicha sindirar ekan. Natijada devorda spektrlarning geometrik o‘rni har xil joylarda bo‘lar ekan. Jumladan, qizil nurning shisha prizmaga ta’sirchanligi eng past bo‘lib, u eng kam burchakka sinar ekan. Binafsha nurning shisha prizmaga bo‘lgan ta’sirchanligi esa eng yuqori bo‘lib, u eng ko‘p burchakka og‘ar ekan. Demak, shaffof muhit turli spektrlarni turlicha sindirar ekan.

SINOV UCHUN BERILGAN

Muhit nur sindirish ko‘rsatkichining yorug‘lik to‘lqin uzunligiga (yoki) chastotasiga bog‘liq bo‘lishiga yorug‘lik dispersiyasi deyiladi.

Dispersiya so‘zi lotincha so‘z bo‘lib, *dispergo – sochaman* deganidir. Dispersiya hodisasini quyidagicha ta’riflash ham mumkin:

Nur sindirish ko‘rsatkichining yorug‘likning rangiga bog‘liqligi dispersiya deyiladi.

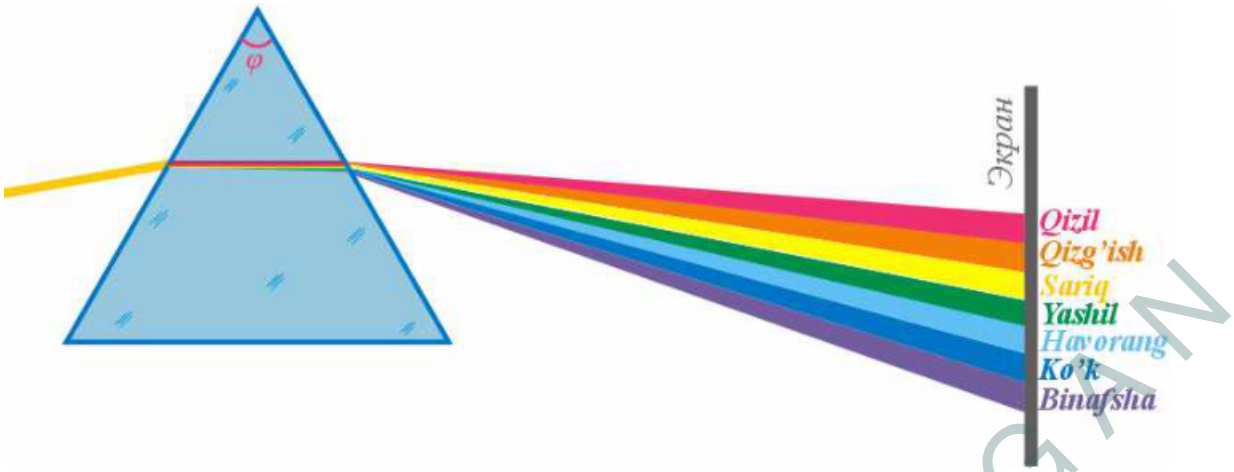
Oq nurning prizmadan o‘tishida nurlarga ajralishiga sabab, turli ranglar uchun prizmaning nur sindirish ko‘rsatkichi turlicha bo‘lishi va turli burchakka og‘ishidir. Oldingi bobda yorug‘likning sinish qonunida suvning absalyut nur sindirish ko‘rsatkichi $n=1,3$ ga teng, shishaniki esa $n=1,6$ ga teng va hokoza degan edik. Aslida esa bu kattaliklar o‘rtacha olingan qiymatlar bo‘lib, u to‘lqin uzunligi $\lambda = 555\ nm$ bo‘lgan yashil to‘lqin uchun o‘rinlidir. Shishaning yashil to‘lqin uchun absalyut nur sindirish ko‘rsatkichi $n=1,6$ ga teng bo‘lsa, qizil to‘lqin uchun $n<1,6$ va binafsha to‘lqin uchun $n>1,6$ bo‘ladi. Demak, barcha spektrlar uchun absalyut nur sindirish ko‘rsatkichlari $n_{qizil} < n_{qizg'ish} < n_{sariq} < n_{yashil} < n_{havorang} < n_{ko'k} < n_{binafsha}$ tartibida bo‘lar ekan, ya’ni chastota oshib borishi bilan nur sindirish ko‘rsatkichining qiymatlari ham oshib borar ekan. 12.1-jadvalda ba’zi shaffof muhitlar uchun sindirish ko‘rsatkichining to‘lqin uzunlikka bog‘liqligi berilgan.

Chastota oshib borishi bilan nur sindirish ko‘rsatkichi qiymatining oshib borishiga ***normal dispersiya*** deyiladi. Aksincha, chastota oshib borishi bilan nur sindirish ko‘rsatkichi qiymatining kamayib borishiga esa ***anomal dispersiya*** deyiladi. Oq yorug‘lik tarkibidagi barcha spektrlar shaffof muhitga tushganda normal dispersiya sodir bo‘ladi.

12.1-jadval

Modda	Qizil (660 nm)	Qizg‘ish (610 nm)	Sariq (580 nm)	Yashil (550 nm)	Ko‘k (470 nm)	Binafsha (410 nm)
Suv	1,331	1,332	1,333	1,335	1,338	1,342
Olmos	2,410	2,415	2,417	2,426	2,444	2,458
Shisha (crown)	1,512	1,514	1,518	1,519	1,524	1,530
Shisha (flint)	1,662	1,665	1,667	1,674	1,684	1,698
Polystrene	1,488	1,490	1,492	1,493	1,499	1,506
Kvarts	1,455	1,456	1,458	1,459	1,462	1,468

SINOV UCHUN BERILGAN



12.2-rasm

Oq yorug‘likning dispersiya natijasida monoxromatik nurlarga ajralishidagi ketma-ketlik 12.2-rasmda tasvirlangan. Bu nurlarning qaysi to‘lqin uzunligiga mos kelishi 12.2-jadvalda berilgan.

12.2-jadval

Rangi	To‘lqin uzunligi, *nm*	Rangi	To‘lqin uzunligi, *nm*
Qizil	770 – 620	Yashil	550 – 510
Qizg‘ish	620 – 585	Havorang	510 – 480
Sariq	585 – 575	Ko‘k	480 – 450
Yashil-Sariq	575 - 550	Binafsha	450 – 390

Yorug‘lik nuri vakuumdan shaffof muhitga o‘tganida yoki bir muhitdan boshqa muhitga o‘tganda nurning chastotasi o‘zgarmasdan, balki uning to‘lqin uzunligi va tezligi o‘zgaradi. Monoxromatik nuri vakuumdan biror shaffof muhitga o‘tganda chastotasi va rangi o‘zgarmaydi, tezligi va to‘lqin uzunligi qisqaradi.

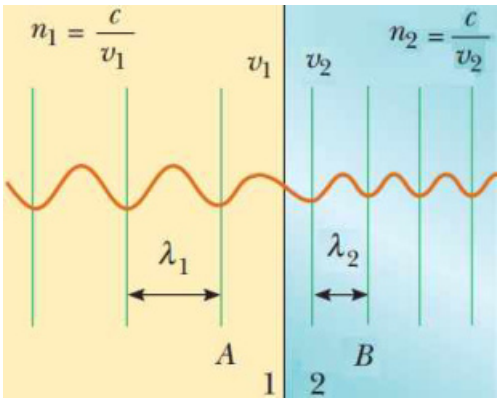
$$\vartheta = \frac{c}{n}, \qquad \lambda_{muh} = \frac{\lambda_{vak}}{n} \tag{12.1}$$

Yuqoridagi formuladan ko‘rinib turibdiki, shaffof muhitda qizil nuri eng tez, binafsha nuri esa eng sekin tarqalar ekan. Boshqacha aytganda monoxromatik nurlarning shaffof muhitdagi tezliklarini $\vartheta_{qizil} > \vartheta_{qizg'ish} > \vartheta_{sariq} > \vartheta_{yashil} > \vartheta_{havorang} > \vartheta_{ko'k} > \vartheta_{binafsha}$ tartibida joylashtirish mumkin. Biror qalinlikdagi parallel plastinkadan o‘tganda, qizil nur eng avval, binafsha nuri esa eng kechikib chiqar ekan. Bo‘shliqda, ya’ni vakuumda barcha rangdagi nurlar bir xil $c = 3 \cdot 10^8\, m/s$ tezlik bilan tarqaladi. Agar shunday bo‘lmaganida edi, astronom Ryomerning kuzatishlarida Yupiter yo‘ldoshi Io soyaga kirish oldidan binafsha rangda, soyadan chiqishda esa qizil rangda ko‘ringan bo‘lar edi. Ayni bir monoxromatik nurning to‘lqin uzunligi optik zichroq muhitga o‘tganida to‘lqin uzunligi qisqaradi ba aksincha (12.3-rasm).

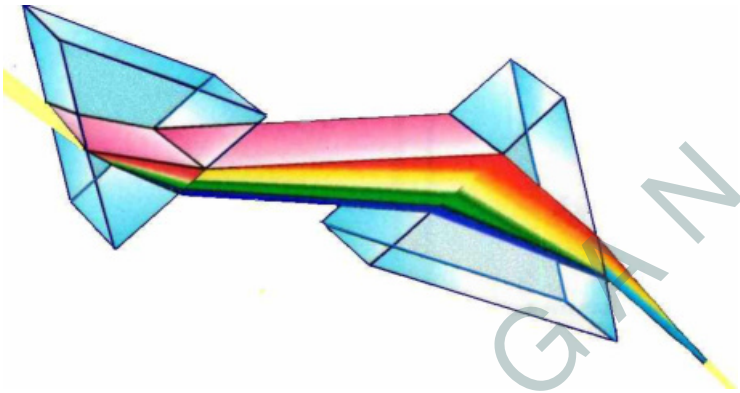
Shaffof muhitga o‘tganda yorug‘likning to‘lqin uzunligi o‘zgaradi degani bu uning rangi o‘zgaradi degani emas. Muhit ichida ham nur o‘z rangini saqlab

SINOV UCHUN BERILGAN

qoladi. Agar prizmadan turli rangga ajralgan nurlar yana qo‘shilsa oq yorug‘lik hosil bo‘ladi (12.4-rasm).

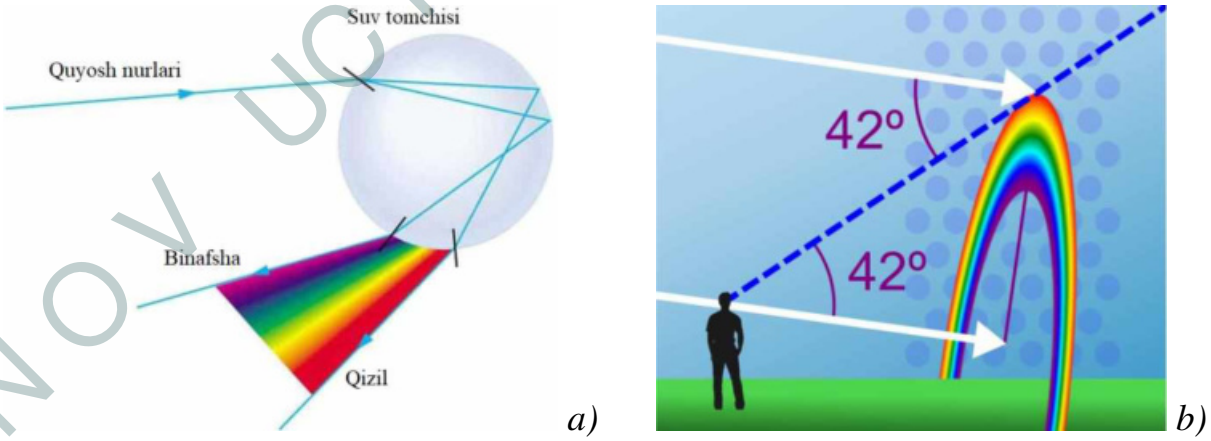


12.3-rasm



12.4-rasm

Yomg‘irli paytda bulutlar orasidan quyosh chiqqanda bulutlar tagida kamalak paydo bo‘lishiga bolaligimizdan ko‘p marta guvoh bo‘lganmiz. Bu hodisa ham dispersiya tufaylidir. Bulutlar tagidagi yomg‘ir tomchilariga kelib tushgan quyosh nurlari 12.4-rasmdagi kabi ikki marta sinadi. Birinchi marta tomchiga kirishda tashqi sirtda sinib tomchining ichiga kirsa, ikkinchi marta esa tomchining ichidan chiqishda nurning qandaydir qismi ichki sirtdan orqaga qaytadi. Mana shu ikki marta sinishda quyosh nurlari ikki marta dispersiyaga uchraydi va turli ranglarga yoyilib ketadi. Turli tomchilardan dispersiyalangan mos monoxromatik nurlar qo‘shilib o‘ziga xos ranglar to‘plamini – kamalakni hosil qiladi. Ko‘p hollarda kuzatuvchi kamalakni quyosh nurlariga nisbatan 42^0 burchak ostida kuzatishi mumkin (12.5-rasm).



a) *b)*

12.5-rasm

Jismlarning rangi:

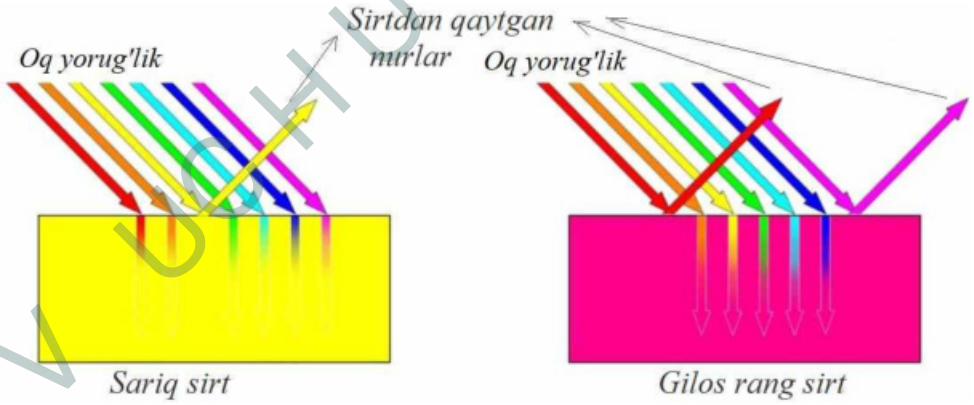
Oq yorug‘likning tuzilishi juda murakkab bo‘lib, undagi yettita asosiy kamalak ranglarining har biri yana minlab ranglarga bo‘linadi. Ana shuning uchun ham tabiat juda rang-barangdir. Aksincha, agar ranglar mavjud bo‘lmaganida esa barcha jismlar bir xil oq-qora rangda yoki oqimtir-qoramtir rangda ko‘ringan bo‘lar edi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Ranglar haqida shuncha ko‘p fikrlar aytdik, rangning o‘zi nima degan savol tug‘ilaishi tabiiydir. Nima uchun ba’zi nurlarni qizil, ba’zi nurlarni esa ko‘k rangda ko‘ryapmiz?

– Har bir rangdagi monoxromatik nur o‘z chastotasi va to‘lqin uzunligiga ega bo‘lib, barcha rangdagi nurlar elektromagnit to‘lqindir. Aslida tabiatda hech qanday rang mavjud bo‘lmasdan, bu bizning miyamizning ko‘zga tushgan nurlarga aks-ta’siridir, ya’ni rang – bu miyaning psixo-fiziologik xususiyati mahsulidir. Barcha nurlarga miyaning ta’sirchanligi aynan birday bo‘lmasdan, balki turli nurlarga miyaning aks-sadosi turlicha bo‘ladi. Ko‘zimizga qizil nur tushganda miyada qizil qilib ko‘rish tuyg‘usi hosil bo‘ladi, ko‘k nur tushganda esa ko‘k qilib ko‘rish tuyg‘usi hosil bo‘ladi va hokoza. Agar ko‘zimizga to‘lqin uzunliklari $\lambda > 760\ nm$ bo‘lgan infraqizil nurlar yoki $\lambda < 760\ nm$ bo‘lgan ultrabinafsha nurlar tushsa, miyada bu nurlarga nisbatan hech qanday bir ta’sirchanlik, aks-sado yoki sezgi uyg‘otilmaydi. Demak, bu nurlarni biz ko‘rmaymiz, his etmaymiz. Ko‘zimiz yashil nurlarni eng yaxshi ko‘radi? Demak bu nurga bo‘lgan miyaning ta’sirchanligi eng yuqoridir.

Endi jismlar nega turli ranglarda ko‘rinadi degan savol tug‘iladi. Aytaylik olmaning rangi qizil, o‘simliklar yashil rangda va hokoza. Nima, qizil olmaning molekulalari qizil rangga, o‘simliklarning molekulalari yashil rangga bo‘yab qo‘yilganmi?



12.6-rasm

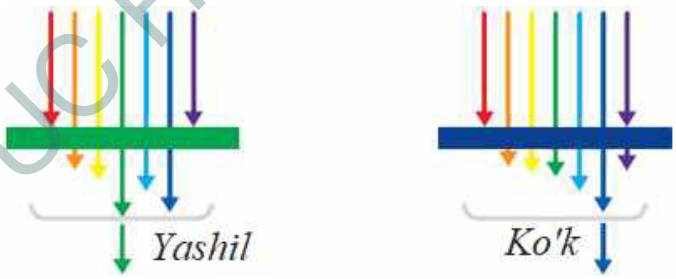
– Har qanday jism biror turdagi molekulalardan tashkil topgan bo‘lib, bu molekulalar esa elektron qobiqlarga ega. Eng tashqi elektron qobiqni optik qobiq deb yoki ximiyaviy qobiq deb yoki valent qobiq debataladi. Ana shu tashqi elektron qobiqlar unga kelib tushgan biror chastotali nurni yutsa, boshqa qaysidir chastotali nurni qaytaradi va yana qaysidir bir chastotali nurni esa o‘tkazib yuboradi. Ushbu holat turli jism molekulalarida turlicha bo‘ladi. Masalan, qizil olma qobig‘i unga kelib tushgan barcha nurlardan qizil nurni qaytarib, qolganlarini esa yutish xususiyatiga ega. O‘simliklar esa yashil nurni qaytarib, qolganlarini yutish xususiyatiga ega. Ana shuning uchun ham olma qizil rangda, o‘simliklar esa yashil rangda ko‘rinadi. Demak, biz jismlarni ular qaytargan nur rangiga

SINOV UCHUN BERILGAN

bo‘yalgandek qilib ko‘rar ekanmiz. 12.6-rasmda sariq va qizil sirtlarga tushgan oq yorug‘liknng faqat sariq va qizil nurlarni qaytargaligi tasvirlngan. Yana shuni ta’kidlash kerakki, modda va jismlarning molekulalari biror bir rangga bo‘yalmagan. Agar shunday bo‘lganda edi, qop-qorong‘u joyda ham olmani qizil rangda, o‘simliklarni yashil rangda ko‘rgan bo‘lar edik.

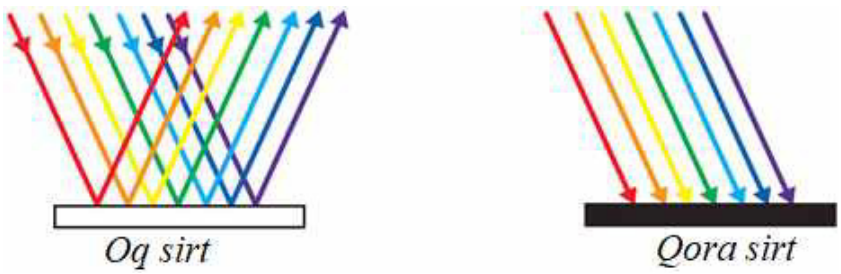
Shaffof jismlarning rangi turlicha bo‘ladi, buning sababi nimada? Nega shishalar turlicha ko‘k, sariq, yashil bo‘lib ko‘rinadi?

– Shaffof jismlarda o‘ziga tushgan yorug‘lik nurini o‘tkazib yuborish xususiyati kuchli bo‘lib, bu xususiyat yorug‘lik tarkibidagi barcha nurlar uchun aynan birday emas. Har qanday shaffof jism qaysidir nurni o‘tkazib, qolganlarini esa yutib qoladi. Masalan, qizil rangli shisha boshqa nurlarni yutib, aynan qizil nurni o‘tkazib yuboradi. Demak, biz shaffof jismlarni ular yutmasdan o‘tkazib yuborgan nur rangiga bo‘yalgandek qilib ko‘rar ekanmiz. Shaffof jismning aynan bitta monoxromatik nurni to‘la o‘tkazib, qolgan barcha nurlarni 100 % yutadi deyish biroz noto‘g‘riroq fikrdir. Aslida shaffof jismdan o‘tganda har bitta monoxromatik nurning qandaydir qismi yutilsa, yana qandaydir qismi o‘tib ketadi. Shaffof jismning rangini ko‘proq o‘tib ketgan nurning rangida ko‘ramiz degan fikr to‘g‘riroqdir. 12.7-rasmda yashil rangli shisha yashil nurning katta qismini o‘tkazib, qolgan nurlarni asosan yutib qolayotgani, qolgan nurlarning juda kam qismini o‘tkazayotgani tasvirlangan. Xuddi shuningdek, ko‘k rangli shisha ham ko‘k nurning asosiy qismini o‘tkazib, qolgan nurlarni deyarli yutib qolayotgani tasvirlangan.



12.7-rasm

Nega kamalak spektrlari tarkibida yetti xil rang boru, lekin oq va qora rang yo‘q?



12.8-rasm

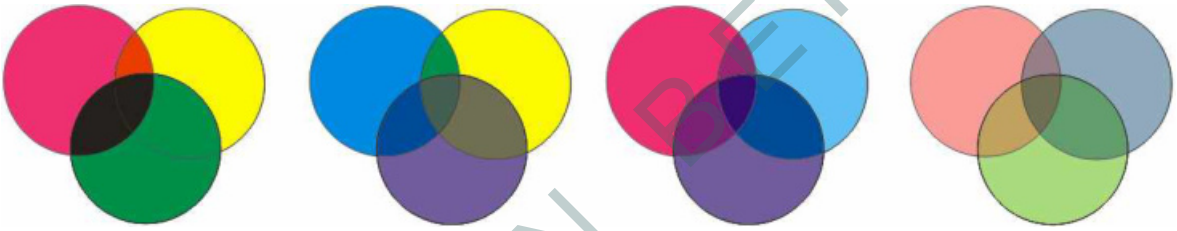
– Agar biror jism uning sirtiga tushayotgan barcha rangdagi nurlarni yutib qolsa, shu jismni biz qora qilib ko‘ramiz. Aksincha, jism unga tushayotgan barcha

SINOV UCHUN BERILGAN

nurlarni qaytarsa, o‘sha jism oq bo‘lib ko‘rinadi. Deyarli barcha nurlarni yutadigan jism qoramtir rangda, deyarli barcha nurlarni qaytaradigan jism esa oqish rangda ko‘rinadi (12.8-rasm).

–Biror rangli jismga boshqa rangdagi shisha orqali qaralsa, u qora rangda ko‘rinishining sababi nimada?

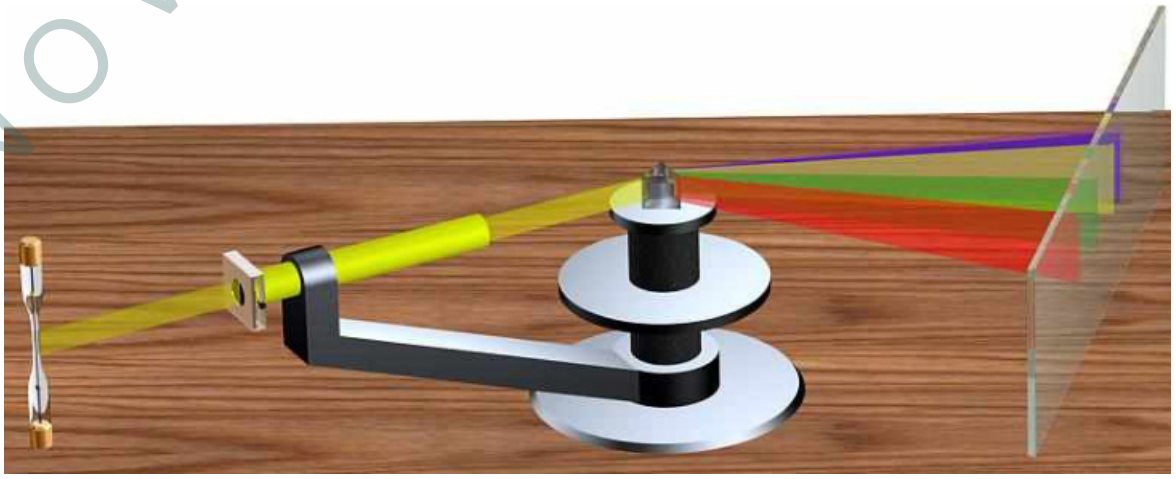
–Biror rangli jismga boshqa rangdagi shisha orqali qaralsa, u albatta qora rangda ko‘rinadi. Masalan, ko‘k rangli jismga yashil shishada qaralsa, u qora rangda ko‘rinadi. Chunki, ko‘k rangli jism sirtidan faqat bitta ko‘k nur qaytadi. Yashil shisha esa yashildan boshqa barcha nurlarni yutish xususiyatiga ega bo‘lgani uchun ko‘k nurni ham yutib qoladi. Binobarin, barcha ranglar yutilgan joy qora rangda ko‘rinish kerak. Agar jismga shu jism rangidagi shishada qaralsagina, jism o‘z rangida ko‘rinadi. Xuddi shuningdek, biror tasvirga aytaylik qizil shishada qarasak, tasvir qora va qizil ranglarda ko‘rinadi. Faqat bitta rangdagi nurni o‘tkazadigan maxsus shishalarga ***yorug‘lik filtrlari*** deyiladi.



12.9-rasm

Ikki xil bo‘yoqning qo‘shilishidan shunday rang hosil bo‘ladiki, bu rang ikkala bo‘yoq qaytargan ranglarning aralashmasi bilan belgilanadi. Lekin ikki xil rangli nurlar qo‘shilganda hosil bo‘ladigan rang bo‘yoqlar aralashmasi hosil qilgan rangdan farq qiladi. Yuqorida rasmda turli rangli monoxromatik nurlar aralashmasidan hosil bo‘lgan ranglar tasvirlangan. Masalan, yashil va qizil nurlar qo‘shilib qora rangni, ko‘k va sariq nurlar qo‘shilib yashil rangni, och yashil va qizg‘ish nurlar qo‘shilib jigar rangni hosil qiladi (12.9-rasm).

Spektroskop:



12.10-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Tabiiy yorug‘lik nurlarini yoki biror lampa nurlayotgan yorug‘likni tarkibiy qismlarga–spektrlarga ajratib beradigan qurilma spektroskop deb ataladi. Spektroskop yordamida juda tor sohadagi aniq chastotali monoxromatik dasta olish mumkin (12.10-rasm). Olis yulduzlardan kelayotgan nurlarning tarkibiy qismlarini o‘rganib, o‘sha yulduzlarning tarkibi qaysi elementlardan iborat ekanligi va tarkibi qandayligi, yoshi va hokozalarni spektroskop yordamida tadqiq etiladi. Bundan tashqari ayni bir ximiyaviy qanday chastotali nurlar hosil qilinishi ham spektroskop yordamida o‘rganiladi.

Mavzu yuzasidan savollar

1. *Yorug‘lik dispersiyasi deb nimaga aytiladi? Buni birinchi kim aniqlagan? Oq nur qanday spektral tarkiblarga ajraladi?*
2. *Uchburchakli shisha prizmada qaysi nur eng ko‘p burchakka og‘adi?*
3. *Shaffof muhitda qaysi nur eng katta tezlikda tarqaladi?*
4. *Yassi parallel plastnkaga tik holda tushgan oq yorug‘likning qaysi spektr tarkibi plastinadan eng avval chiqadi? Qaysinisi eng oxiri chiqadi?*
5. *Oq yorug‘likni qaysi qurilma bilan spektr tarkiblarga ajratiladi?*

Masala yechish:

1. *0,75 μm uzunlikda chastotasi* $4 \cdot 10^{14}$ *Hz bo‘lgan qizil nurlanishning nechta to‘lqin uzunligi joylashadi?*

A) 400 B) 750 C) 1000 D) 1500

Berilgan:

$L = 0{,}75\ mm$

$\nu = 4 \cdot 10^{14}\ Hz$

$N = ?$

Yechilishi:

Bu oraliqda nechata to‘lqin joylashishini bilish uchun avval nurning to‘lqin uzunligini aniqlaymiz

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = x = \frac{3 \cdot 10^8}{4 \cdot 10^{14}} = 0{,}75 \cdot 10^{-6} m$$

L oraliqqa uzunligi λ ga teng to‘lqindan N tasi joylashishi mumkin.

$$N = \frac{L}{\lambda} = \frac{0{,}75 \cdot 10^{-3}}{0{,}75} \cdot 10^{-6} = 1000\ ta.$$

Javob: *C) 1000.*

2. *Agar olmosda chastotasi 2,73· 10¹⁴ Hz bo‘lgan Yorug‘likning to‘lqin uzunligi 450 nm bo‘lsa, yorug‘likning olmosdagi tezligi qanday (m/s) bo‘ladi?*

Berilgan:

$\nu = 2{,}73 \cdot 10^{14} Hz$

$\lambda = 450\ nm$

$\upsilon = ?$

Yechilishi:

Yorug‘likning muhitdagi tezligi vakuumdagi tezligidan kichik ekanligi etiborga olsak. $\upsilon = \lambda \cdot \nu$ *ifodaga ega bo‘lamiz*

$$\upsilon = 2{,}73 \cdot 10^{14} \cdot 45 \cdot 10^{-8} = 1{,}23 \cdot 10^8\ m/s.$$

Javob: $1{,}23 \cdot 10^8$.

SINOV UCHUN BERILGAN

§ 13. YORUG‘LIK INTERFERENSIYASI. INTERFERENSION MANZARANI HISOBLASH.

Mexanika bo‘limida mexanik to‘lqinlar bir-birlari bilan qo‘shilib bir-birini kuchaytirish yoki susaytirishini (interferensiya hodisasi) ko‘rgan edik. Yorug‘lik to‘lqinlari ham to‘lqin bo‘lgani uchun ularda ham bir-birlari bilan qo‘shilib kuchaytirish yoki susaytirishlar bo‘ladimi degan savol tug‘iladi. Interferensiya natijasida suv yuzidagi to‘lqinlarda mavjlanish va sokinlanish zonalari, tovush to‘lqinlarida esa sershovqin va jimjitlik zonalari paydo bo‘lgan edi. Yorug‘lik to‘lqinlarida ham interferensiya hodisasi sodir bo‘lsa, ular o‘zini qanday ko‘rinishda namoyon etadi?

Kogerent to‘lqinlar. Yorug‘lik interferensiyasi. Yo‘llar farqi.

Xuddi mexanik to‘lqinlar kabi, yorug‘lik to‘lqinlari ham uchrashganda bir-birini kuchaytirishi yoki susaytirishi mumkin.

Chastotalari bir xil, faza farqlari o‘zgarmas bo‘lgan to‘lqinlarning uchrashganda bir-birini kuchaytirishi yoki susaytirishiga interferensiya deyiladi.

Bir xil chastotali va fazalar farqi o‘zgarmas bo‘lgan to‘qinlar o‘zaro kogerent to‘lqinlar deyiladi. Kogerent to‘lqinlarni yuzaga keltiruvchi manbalar kogerent manbalar deyiladi.

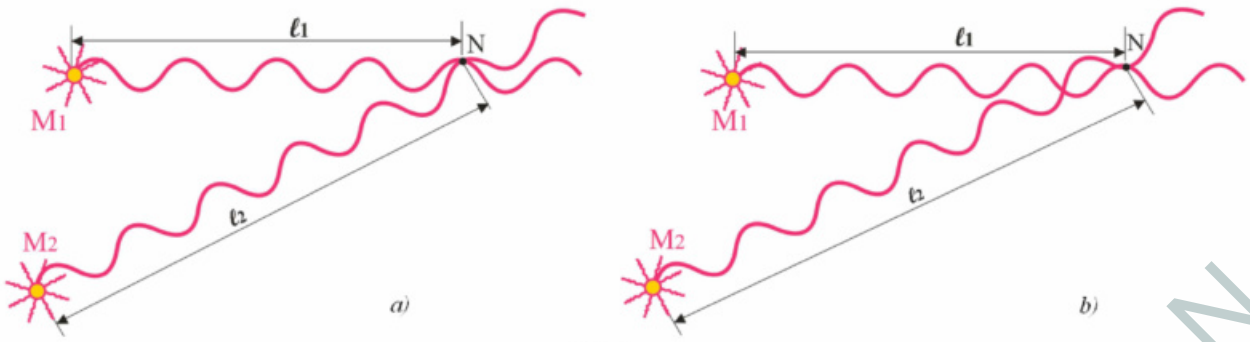
Aslida ikkita manbadan chiqqan yorug‘lik to‘lqinlari kogerent bo‘la olmaydi. Shu sababdan bitta manbadan yorug‘lik filtri orqali o‘tgan monoxromatik nurni sun’iy ravishda ikki yoki undan ko‘p bo‘lakka ajratib, so‘ng yana ularni uchrashtirish kerak.

Yorug‘lik to‘lqinlari qo‘shilib bir-birini kuchaytirganda maksimumlar sharti, susaytirganda esa minimumlar sharti bajarildi deyiladi. Aslida o‘zaro kogerent bo‘lmagan to‘lqinlar qo‘shilganda ham biri-birini kuchaytirishi yoki susaytirishi mumkin. Lekin, bu to‘lqinlarning fazalar farqi tinimisiz o‘zgarib turgani bois, kuchaygan yoki susaygan zonalar ham tinimsiz nuqtadan nuqtaga ko‘chib turadi. Biror nuqtada har doim maksimum yoki har doim minimum sharti bajarilishi uchun bu to‘lqinlar tebranishlari orasidagi fazalar farqi hech qachon o‘zgarmasligi kerak, ya’ni ular o‘zaro kogerent bo‘lishi kerak.

Biror nuqtada maksmum yoki minimum sharti bajarilishi bu nuqtaga etib kelgan yorug‘lik to‘lqinlari bosib o‘tgan yo‘llar farqiga bog‘liq.

Bir xil monoxromatik nurlar chiqaruvchi o‘zaro kogerent manbalardan birinchisi M_1 , ikkinchisi M_2 bo‘lib, bu to‘lqinlar uchrashgan nuqta N bo‘lsin. Uchrashguncha har bir to‘lqin bosib o‘tgan yo‘l $\ell_1 = M_1N$ va $\ell_2 = M_2N$, bu to‘lqinlar uchrashguncha o‘tgan yo‘llar orasidagi farq $\Delta\ell = \ell_2 - \ell_1 = M_2N - M_1N$ bo‘lsin (13.1-a,b rasm).

SINOV UCHUN BERILGAN



13.1-rasm

Agar ikkinchi to‘lqin birinchi to‘lqindan yarim to‘lqin uzunligining juft soni qadar (yoki butun sondagi to‘lqin qadar) kechikib kelsa, bu to‘lqinlar bir xil fazada $(\Delta\varphi = 0, 2\pi, 4\pi, ...)$ qo‘shiladi, qo‘shilish nuqtasida ular bir-birini kuchaytirib monoxromatik nur rangidagi yorug‘ polosa hosil bo‘ladi bo‘ladi. N nuqtada maksimum sharti bajariladi va u quyidagicha bo‘ladi:

$$\delta = \ell_2 - \ell_1 = 2k \cdot \frac{\lambda}{2} = k\lambda \qquad (13.1)$$

Agar ikkinchi to‘lqin birinchi to‘lqindan yarim to‘lqin uzunligining toq soni qadar kechikib kelsa, bu to‘lqinlar qarama-qarshi fazada $(\Delta\varphi = \pi, 3\pi, 5\pi, ...)$ qo‘shiladi, qo‘shilish nuqtasida ular bir-birini susaytirib qorong‘u polosa hosil bo‘ladi. N nuqtada minimum sharti bajariladi va u quyidagicha bo‘ladi:

$$\delta = \ell_2 - \ell_1 = (2k-1) \cdot \frac{\lambda}{2} \qquad (13.2)$$

Yuqorida biz interferension manzara hosil bo‘lish shartlari bilan umumiy holatda tanishdik. Endi tabiatda ko‘p sodir bo‘ladigan hodisalardan ba’zilarining sabablarini ochishga harakat qilib ko‘raylik.

Ikkita nuqtaviy manbadan hosil bo‘lgan interferensiya:

Bir-biriga juda yaqin joylashgan va bir xil monoxromatik nurlar nurlovchi ikkita manbadan ham ekranda interferensiyalangan manzarani kuzatish mumkin.

Tasavvur qilaylik, ekrandan ℓ masofada, bir-biridan esa d masofada joylashgan ikkita M_1 va M_2 yorug‘lik manbalari o‘zaro kogerent nurlar nurlasin. Ekranda ixtiyoriy D nuqta olaylik. Bu nuqta manbalardan ℓ_1 va ℓ_2 masofada, ekranning markaziy chizig‘idan esa x masofada joylashgan bo‘lsin. Shu manbalardan ekranda hosil bo‘ladigan interferension manzarani hisobalb chiqaramiz (45.2-a,rasm). Bu erda ℓ_1 va ℓ_2 quyidagicha topiladi:

$$\begin{cases} \ell_2^2 = \ell^2 + \left(x + \dfrac{d}{2}\right)^2 \\ \ell_1^2 = \ell^2 + \left(x - \dfrac{d}{2}\right)^2 \end{cases}$$

Tenglamalar sistemasidagi birinchi formuladan ikkinchisini ayirish natijasida

$$(\ell_2 - \ell_1)(\ell_2 + \ell_1) = 2dx$$

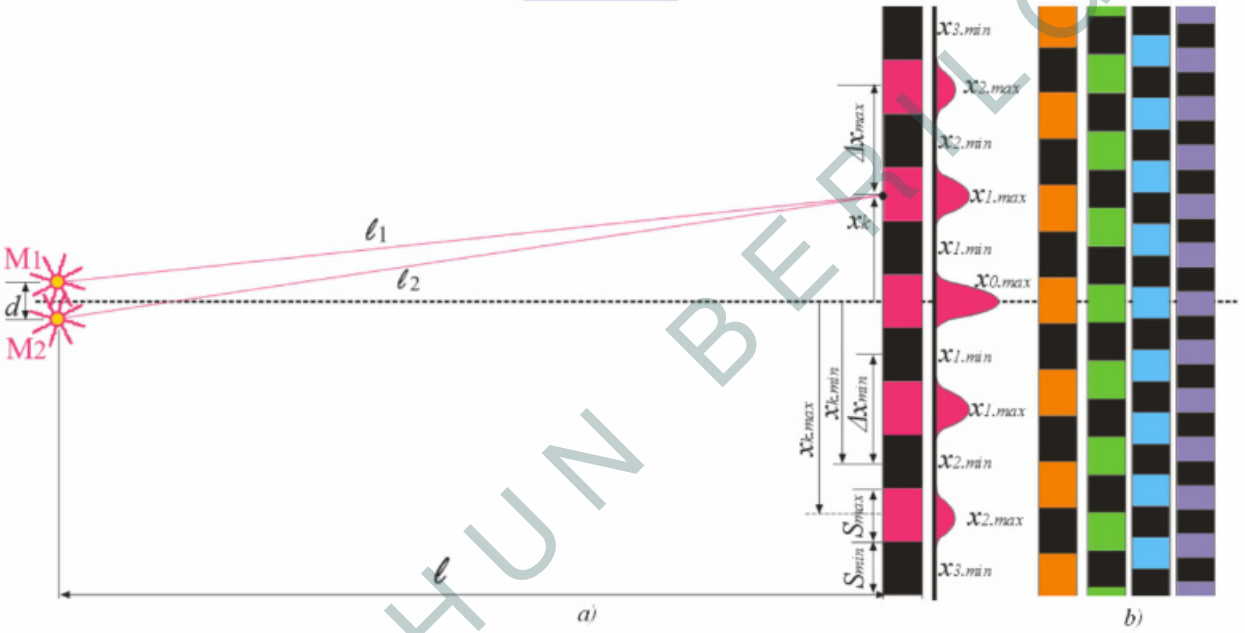
SINOV UCHUN BERILGAN

ifodaga ega bo‘lamiz. Agar $\delta = \ell_2 - \ell_1$ ekanligini e’tiborga olsak, yo‘llar farqi quyidagicha bo‘ladi:

$$\delta = \ell_2 - \ell_1 = \frac{2dx}{\ell_1 + \ell_2} \qquad (13.3)$$

Manbalar bir-biriga juda yaqin va ekran esa ancha uzoqda bo‘lgani uchun $(\ell >> d)$, $\ell_1 + \ell_2 \approx 2\ell$ deb hisoblash mumkin. U holda yuqoridagi formula quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$\delta = \frac{dx}{\ell} \qquad (13.4)$$



13.2-rasm

Agar ikkinchi to‘lqin birinchi to‘lqindan butun to‘lqin uzunligi qadar kechikib kelsa,

kogerent manbalardan yetib kelgan nurlar bir xil fazada tebranayotgan bo‘ladi. Bu to‘lqinlar qo‘shilib biri-birini kuchaytiradi. Bunga ***maksimumlar sharti bajarildi*** deyiladi. Maksimumlar sharti bajarilgan zonada monoxromatik nurning rangiga bo‘yalgan polosa hosil bo‘ladi, masalan, manbalar qizil nur chiqarayotgan bo‘lsa, qizil polosa hosil bo‘ladi (13.2-a, rasm).

Agar ikkinchi to‘lqin birinchi to‘lqindan yarim to‘lqin uzunligining toq soni marta kechikib kelsa, kogerent manbalardan yetib kelgan nurlar qarama-qarshi fazada tebranayotgan bo‘ladi. Bu to‘lqinlar qo‘shilib biri-birini susaytiradi. Bunga ***minimumlar sharti bajarildi*** deyiladi. Minimumlar sharti bajarilgan zonada har doim qorong‘u polosa hosil bo‘ladi (13.2-a, rasm).

Maksimum va minimumlar sharti quyidagicha bo‘ladi:

$$\begin{cases} \delta_{max} = k\lambda & - \quad \max.\ sharti \\ \delta_{min} = \dfrac{2k-1}{2}\lambda & - \quad \min.\ sharti \end{cases} \qquad (13.5)$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Bu yerda: yorug‘ xalqalar uchun $k = 0,1,2,3,...$ va qorong‘u xalqalar uchun esa $k = 1,2,3,4,...$ deb olinadi.

Endi yuqoridagi formulalardan foydalanib, ixtiyoriy tartibli maksimum yoki minimum polosallarning geometrik o‘rni qayerda ekanligini aniqlash mumkin. Buning uchun maksimum va minimum shartlaridan foydalanamiz.

$$\begin{cases} \delta_{max} = k\lambda \\ \delta_{\min} = \dfrac{2k-1}{2}\lambda \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \dfrac{dx}{\ell} = k\lambda \\ \dfrac{dx}{\ell} = \dfrac{2k-1}{2}\lambda \end{cases} \rightarrow \begin{cases} x_{k.\max} = k\lambda\dfrac{\ell}{d} \\ x_{k.\min} = \dfrac{2k-1}{2}\lambda\dfrac{\ell}{d} \end{cases}$$

Demak, ekran markazidan ixtiyoriy *k*-tartibli maksimum va minimumgacha bo‘lgan masofalar mos holda quyidagi formuladan topilar ekan:

$$\begin{cases} x_{k.\max} = k\dfrac{\lambda\ell}{d} \\ x_{k.\min} = \dfrac{2k-1}{2}\dfrac{\lambda\ell}{d} \end{cases} \qquad (13.6)$$

Yuqoridagi formuladan ko‘rinib turibdiki, aynan biror *k*-tartibli interferension polosadan ekranning markaziy chizig‘igacha masofa to‘lqin uzunligiga to‘g‘ri proporsional bo‘lar ekan. Shuning uchun, aynan bir xil tartibli interferension polosa qizil nur uchun markaziy chiziqdan eng uzoqda, binafsha nur uchun esa markaziy chiziqqa eng yaqin joylashadi (13.2-b, rasm).

Ikkita qo‘shni interferension polosalar orasidagi masofani aniqlaylik. Qo‘shni maksimumlar orasidagi masofani topish uchun *k*-tartibli va *k-1*-tartibli maksimumlar orasidagi masofani topamiz.

$$\Delta x_{\max} = x_{k.\max} - x_{k-1.\max} = k\lambda\frac{\ell}{d} - (k-1)\lambda\frac{\ell}{d} = k\lambda\frac{\ell}{d}$$

Qo‘shini minimumlar orasidagi masofa ham xuddi shunday yo‘l bilan topiladi.

$$\Delta x_{\max} = x_{k.\min} - x_{k-1.\min} = \frac{2k-1}{2}\lambda\frac{\ell}{d} - \frac{2(k-1)-1}{2}\lambda\frac{\ell}{d} = \frac{2k-1-2k+2+1}{2}\lambda\frac{\ell}{d} = \lambda\frac{\ell}{d}$$

Demak, qo‘shni maksimumlar orasidagi masofa qo‘shni minimumlar orasidagi masofaga teng, ya’ni $\Delta x_{\max} = \Delta x_{\min}$ bo‘lar ekan.

Shunday qilib, ikkita qo‘shni maksimumlar orasidagi masofa ikkita qo‘shni minimumlar orasidagi masofaga teng va quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\Delta x_{\max} = \Delta x_{\min} = \frac{\lambda\ell}{d} \qquad (13.7)$$

Yuqoridagi formuladan ko‘rinib turibdiki, qo‘shni interferension polosalar orasidagi masofa to‘lqin uzunligiga to‘g‘ri proporsional bo‘lar ekan. Shuning uchun ham bu kattalik qizil nurda eng katta, binafsha nurda esa eng kichik bo‘ladi (13.2-b, rasm).

Makimum polosaning eni minimum polosaning eniga teng va quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

$$S_{max} = S_{min} = \frac{\lambda \ell}{2d} \qquad (13.8)$$

Yuqoridagi formuladan ko‘rinib turibdiki, interferension polosalar eni to‘lqin uzunligiga to‘g‘ri proporsional bo‘lar ekan. Shuning uchun, bu kattalik qizil nurda eng katta, binafsha nurda esa eng kichik bo‘ladi (13.2-b, rasm).

Ekranda hosil bo‘ladigan maksimumlarning eng yuqori tartibi quyidagicha bo‘ladi:

$$K = \frac{d}{\lambda} \qquad (13.9)$$

Ekranda hosil bo‘ladigan jami maksimumlar soni quyidagicha bo‘ladi:

$$N = 2K + 1 = 2\frac{d}{\lambda} + 1 \qquad (13.10)$$

Formuladan ko‘rinib turibdiki, jami maksimumlar soni manbalar orasidagi masofaga to‘g‘ri, to‘lqin uzunligiga teskari proporsional bo‘lar ekan. Boshqacha aytganda, manbalar orasidagi masofa ortganda maksimumlar soni ortib polosalar ensizlashadi, to‘lqin uzunligi ortaganda esa maksimumlar soni kamayib polosalar qalinlashadi.

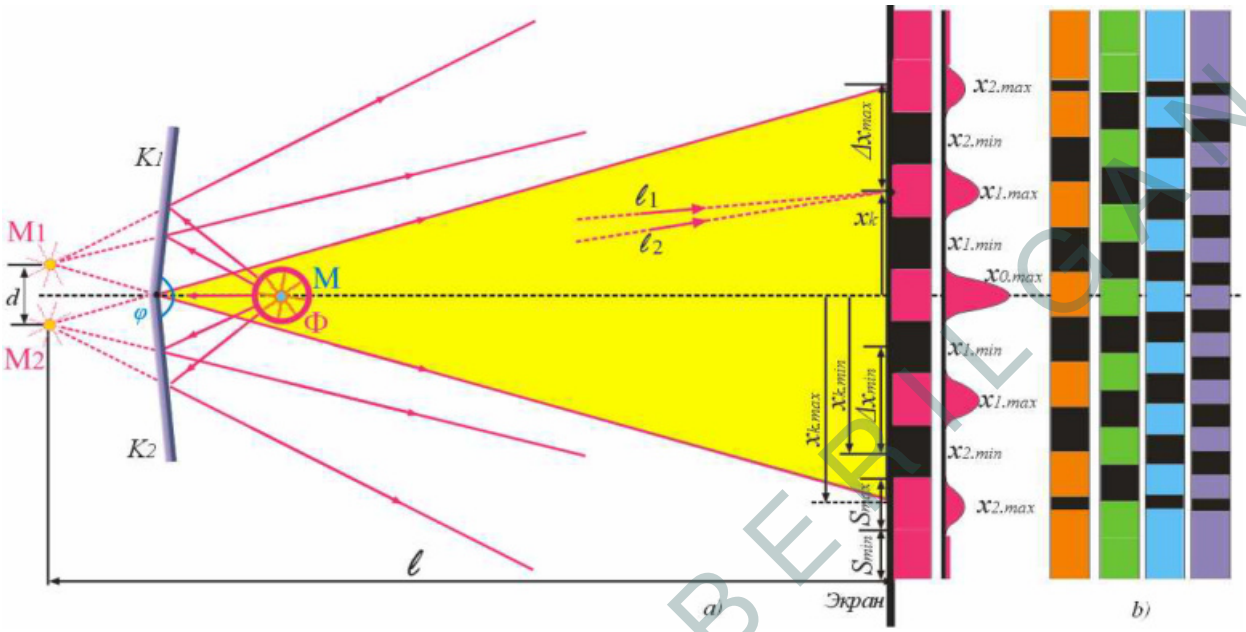
Franel ko‘zgularidagi interferensiya:

Franel ko‘zgulari deb ataladigan ko‘zgular sistemasi bir-biriga nisbatan $\varphi \approx 180^0$ dan kichikroq burchak ostida joylashgan ikkita K_1 va K_2 ko‘zgulardan iborat optik sistemadir (13.3-rasm). Yorqin nur taratuvchi M manbadan chiqqan oq yorug‘lik yo‘liga kerakli nurni, aytaylik qizil nurni o‘tkazib yuboruvchi yorug‘lik filtri Φ joylashtiriladi. Filtrdan o‘tgan monoxromatik nurlar K_1 va K_2 ko‘zgularga tushadi. Bu ko‘zgularga tushgan nurlar sochiladi, lekin sochilgan nurlarning teskari davomlari ko‘zgu orqasida M_1 va M_2 nuqtalarda kesishadi. Bu nuqtalar M manbaning K_1 va K_2 ko‘zgulardagi tasvirlaridir. Xuddi monoxromatik yorug‘lik nurlari M_1 va M_2 nuqtalardan chiqib ketayotgandek bo‘lib ko‘rinadi. Agar M_1 va M_2 nuqtalar orasidagi masofani d desak va bu masofa o‘rtasidan markaziy chiziqni o‘tkazsak hamda markaziy chiziq bo‘yicha $\ell (\ell >> d)$ masofada ekranni joy lashtirsa, xuddi ikkita nuqtaviy manbadan hosil bo‘lgan interferension manzara hosil bo‘ladi. Ikkita nuqtaviy manbadan hosil bo‘lgan interferension manzara bilan esa yuqorida tanishgan edik. Bunda ham xuddi avval biz tanishganimiz kabi ekran markazida qizil polosa, so‘ngra esa almashinuvchi qora va qizil polosalar keladi.

Agar qizil filtr o‘rniga navbatma-navbat qizg‘ish, yashil, ko‘k va binafsha filtrlar joylashtirilsa, navbatma-navbat almashinuvchi qizg‘ish va qora, yashil va qora, ko‘k va qora, binafsha va qora polosalardan iborat interferension manzaralar kuzatiladi. Faqat to‘lqin uzunligi kichrayib borayotgani bois, polosalar ham ensizlashib boradi.

SINOV UCHUN BERILGAN

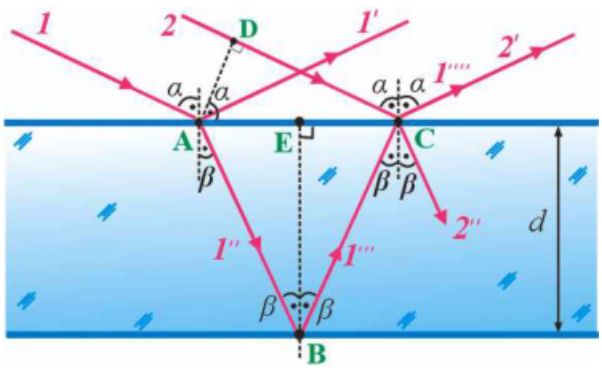
Faqat shuni ta’kidlab o‘tish kerakki, Franel ko‘zgulari yordamida hosil bo‘ladigan interferension manzara chegaralangan bo‘ladi. Boshqacha aytganda, faqat ma’lum soha ichidagina interferension manzara kuzatiladi, tashqaridagi soha esa yorug‘lik filtri rangiga bo‘yalgan bo‘ladi (13.3-rasm).



13.3-rasm

Franel ko‘zgularini biko‘zgu deb ham ataladi. Undan tashqari bilinza, biprizma, manba va uning ko‘zgdagi aksi yordamida ham bitta haqiqiy manbadan ikkita manba hosil qilish orqali interferension manbalarni kuzatish mumkin.

Yupqa plastinkalardagi interferensiya:



13.4-rasm

Suv sirtiga to‘qilgan moyda yoki sovun pufagida har xil ranglarning tovlanishini yoshlik chog‘imizdan har birimiz yaxshi bilamiz. Buning sababini birinchi bo‘lib ingliz olimi Tomas Yung aniqladi. Buning sababini tushuntirishda u ushbu genial fikrni o‘rtaga tashladi. Sovun pufagi yoki suv yuzidagi moy mikrometr tartibidagi biror d qalinlikdagi yupqa parda bo‘lib, ushbu pardaning ichki va tashqi devorlaridan qaytgan nurlar qo‘shilib interferension manzara hosil qildadi. U moy pardani d qalinlikdagi shaffof plastina deb oldi va shu plastina uchun interferensiyani o‘rgandi.

Parallel nurlar dastasi yupqa plastina sirtiga biror α burchak ostida tushayotgan bo‘lsin. Shu parallel nurlar dastasidan ixtiyoriy 1 va 2 nurlarni tanlaymiz. Plastinada singan 1″ nur plastina ichki devoridan 1‴ nur bo‘lib qaytadi va tashqariga 1⁗ nur bo‘lib chiqadi. Tashqariga chiqqan 1⁗ nur bu joyda 2 nurning

SINOV UCHUN BERILGAN

plastina sirtidan qaytgan $2'$ nurini uchratadi va u bilan qo‘shilib interferensiyalashadi (13.4-rasm).

$1''''$ va $2'$ nurlar interferensiyalashishi uchun bu nurlar yurgan geometrik yo‘llar farqi emas, balki ularning ***optik yo‘llar*** farqi maksimumlar yoki minimumlar shartiga bo‘ysunishi kerak.

Optik yo‘l uzunligi – sindirish ko‘rsatkichi n bo‘lgan muhitda yorug‘lik to‘lqini biror masofani bosib o‘tishi uchun ketgan vaqt davomida yorug‘lik vakkumda qanday yo‘lni bosib o‘tishi mumkinligini ko‘rsatuvchi kattalikdir.

Ikkala to‘lqinning mos holda geometrik yo‘llari quyidagicha bo‘ladi:

$$\begin{cases} \ell_{1.geometrik} = AB + BC = 2AB = 2\dfrac{BE}{\cos\beta} = \dfrac{2d}{\sqrt{1-\sin^2\beta}} = \dfrac{2d}{\sqrt{1-(\sin\alpha/n)^2}} = \dfrac{2nd}{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}} \\ \ell_{2.optik} = DC = 2\,AE\cdot\sin\alpha = 2BE\cdot tg\beta\cdot\sin\alpha = 2d\dfrac{\sin\beta\cdot\sin\alpha}{\sqrt{1-\sin^2\beta}} = \dfrac{2d(\sin\alpha/n)\cdot\sin\alpha}{\sqrt{1-(\sin\alpha/n)^2}} = \dfrac{2d\sin^2\alpha}{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}} \end{cases}$$

Ikkala to‘lqinning mos holda optik yo‘llari quyidagicha bo‘ladi:

$$\begin{cases} \ell_{1OPTIK} = (AB+BC)\cdot n = \dfrac{2nd}{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}} \\ \ell_{2OPTIK} = DC - \dfrac{\lambda}{2} = \dfrac{2d\sin^2\alpha}{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}} - \dfrac{\lambda}{2} \end{cases}$$

Optik yo‘llar farqi quyidagicha bo‘ladi:

$$\delta = \ell_{1OPTIK} - \ell_{2OPTIK} = \frac{2nd}{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}} - \left(\frac{2d\sin^2\alpha}{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}} - \frac{\lambda}{2}\right) = \frac{2d(n^2-\sin^2\alpha)}{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}} =$$

$$= 2d\sqrt{n^2-\sin^2\alpha} + \frac{\lambda}{2}$$

Ikkala nurning optik yo‘llar ayirmasi optik yo‘llar farqini beradi.

$$\delta = \ell_{1.optik} - \ell_{2.optik} = 2d\sqrt{n^2-\sin^2\alpha} + \frac{\lambda}{2} \qquad (13.11)$$

Agar optik yo‘llar farqi yarim to‘lqin uzunligining juft soni marta bo‘lsa, yorug‘lik nurlari C nuqtada bir xil fazada $(\Delta\varphi = 0, 2\pi, 4\pi, ...)$ qo‘shilib bir-birini kuchaytiradi. Bunda maksimumlar sharti bajarilgan bo‘lib, sirt monoxromatik nur rangiga bo‘yalgandek bo‘lib ko‘rinadi. Masalan, qizil nur bilan yoritilgan sirt xuddi qonga bo‘yalgandek bo‘ladi.

Agar optik yo‘llar farqi yarim to‘lqin uzunligining juft soni marta bo‘lsa, yorug‘lik nurlari C nuqtada qarma-qarshi fazada $(\Delta\varphi = \pi, 3\pi, 5\pi, ...)$ qo‘shilib bir-birini susaytiradi. Bunda minimumlar sharti bajarilgan bo‘lib, sirt qanday rangdagi nur bilan yoritilishidan qat’iy nazar qop-qora rangga bo‘yalgandek bo‘lib ko‘rinadi.

Maksimumlar va minimumlar sharti quyidagicha bo‘ladi:

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\begin{cases} \delta = k\lambda & yoki \quad 2d\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} + \dfrac{\lambda}{2} = k\lambda \quad - \quad \max.sharti \\ \delta = \dfrac{2k+1}{2}\lambda & yoki \quad 2d\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} + \dfrac{\lambda}{2} = \dfrac{2k+1}{2}\lambda \quad - \min.sharti \end{cases} \tag{13.12}$$

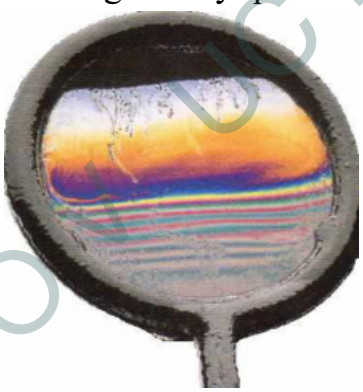
Bu yerda: $k = 0,1,2,3,4,....$ va $n -$ plastinaning absalyut sindirish ko‘rsatkichi.

Agar plastina sirti monoxromatik nurlar dastasi bilan tik holda $(\alpha = 0^0)$ yoritilsa, yuqoridagi formula quyidagi soddaroq ko‘rinishni oladi:

$$\begin{cases} \delta = k\lambda & yoki \quad 2dn + \dfrac{\lambda}{2} = k\lambda \quad - \quad \max.sharti \\ \delta = \dfrac{2k+1}{2}\lambda & yoki \quad 2dn + \dfrac{\lambda}{2} = \dfrac{2k+1}{2}\lambda \quad - \min.sharti \end{cases} \tag{13.13}$$

Agar biror yupqa qalinlikdagi plastina oq yorug‘lik bilan yoritilsa, qaysi to‘lqin uzunlikdagi nur uchun maksimumlar sharti bajarilsa, plastina sirti o‘sha nur rangiga bo‘yalgandek ko‘rinadi. Qolgan barcha to‘lqin uzunlikdagi nurlar uchun minimumlar sharti bajariladi.

Agar plastinaning qalinligi hamma joyda bir xil bo‘lsa, sirt yoki qora yoki yortilayotgan monoxromatik nur rangida ko‘rinadi. Agar plastina qalinligi o‘zgaruvchan bo‘lsa, sirtning ba’zi joylari qora ba’zi joylari esa monoxromatik nur rangida ko‘rinadi. Agar o‘zgaruvchan qalinlikdagi plastina oq yorug‘lik bilan yortilsa, plastina sirtining turli nuqtalarida turli to‘lqin uzunlikdagi nurlarning maksimumlar sharti bajariladi. Natijada, plastina sirtining turli nuqtalari turlicha rangga bo‘yalgandek bo‘lib ko‘rinadi, ya’ni sirt rang-barang jilvalanadi. Suv yuziga to‘kilgan moy qatlamida, sovun pufagida xuddi shunday holat kuzatiladi.



a)



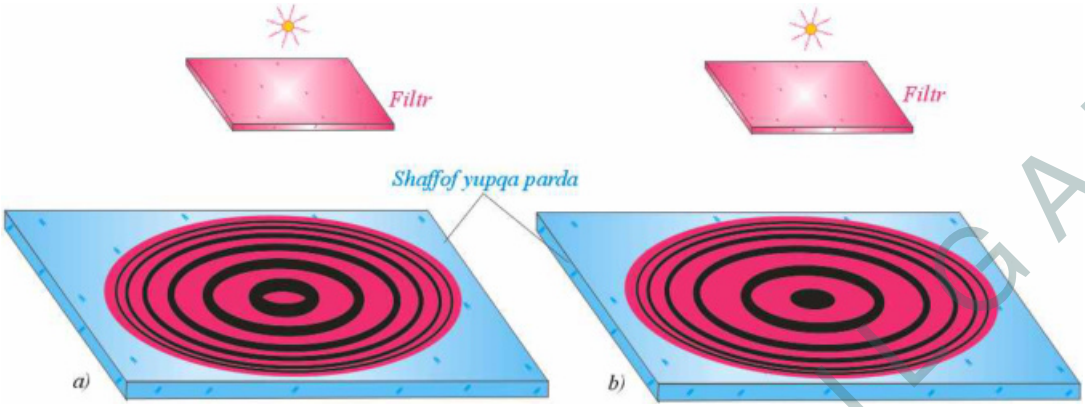
b)

13.5-rasm

13.5-rasmda sun’iy ravishda sovun pufagida hosil qilingan interferension manzara va bahorda yomg‘irdan keyin hosil bo‘lgan kamalak tasvirlangan. Sovun pufagida qatlam qalinligi turlicha bo‘lgani uchun interferension manzara rang-barang. Kamalakda esa mayda yomg‘ir tomchilariga kirishda va tomchidan chiqishda yorug‘lik nuri ikki marta sinadi. Dispersiya hodisasi tufayli oq yorug‘lik monoxromatik nurlarga ajraladi. Tomchining ichidan va tashqarisidan qaytgan nurlar qo‘shilib interferensiyalashishi natijasida kamalak hosil bo‘ladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Biz hozirgacha hamma holatda sirtni parllel nurlar dastasi bilan yoritilganda hosil bo‘ladigan interferension manzaralar bilan tanishdik. Agar monoxromatik nurlar manbai biror yupqa qalinlikdagi plastina ustiga uncha uzoq bo‘lmagan masofaga o‘rnatilsa, unda nima hodisa ro‘y beradi?



13.6-rasm

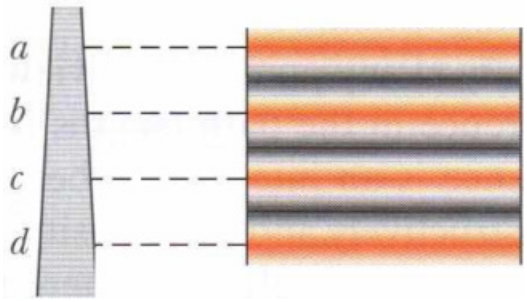
Bunday monoxromatik nurlar manbaini olish uchun cho‘g‘lanma lampani shishasi bitta to‘lqin o‘tkazadigan yorug‘lik filtri bo‘lishi kifoya. Bunday manbadan kelayotgan nurlar plastinaning turli joylariga turlicha burchakda tushadi. Masalan, manba tagidagi eng yaqin nuqtaga tik holda $(\alpha = 0^0)$ tushsa, manba tagidan uzoqlashgan sari tushish burchagi ham osha boradi. Natijada, goh minimum, goh maksimum sharti bajarilib, xuddi Nyuton xalqalari kabi almashinuvchi xalqlardan iborat interferension manzara kuzatiladi (13.6-rasm).

Kichik burchakli ponasimon pardadagi interferensiya:

Tabiiy sovun pufagining turli nuqtalarida parda qalinligi turlicha bo‘lgani bois, rang-barang tusda tovlanishi bilan tanishdik. Agar parda qalinligi betartib o‘zgarmasdan, bir tekis oshib boruvchi bo‘lsa, bunday pardada qanday hodisa ro‘y beradi?

Parda qalinligi bir tekis chiziqli oshib boruvchi bo‘lsin. Pardaning eng qalin joyi o‘lchami ham millimetrning ulushlariga teng bo‘lgani uchun bu pardani ***kichik burchakli ponasimon parda*** deyish mumkin (13.7-rasm).

Uchidagi burchagi α, moddasining absalyut nur sindirish ko‘rsatkichi n bo‘lgan kichik burchakli ponasimon parda yoqlaridan biriga monoxromatik parallel nurlar dastasi perpendikulyar holatda tushayotgan bo‘lsin. Bunda o‘zgarmas qatlamli pardadan farqli ravishda pona qirrasiga parallel bo‘lgan almashinuvchi qorong‘u va yorug‘ polosalar hosil bo‘ladi. Pona qirrasidan uzoqlashgan sari parda qatlami qalinlashib boradi. Shuning uchun, pardaning ichki va tashqi sirtidan qaytgan nurlar orasidagi optik

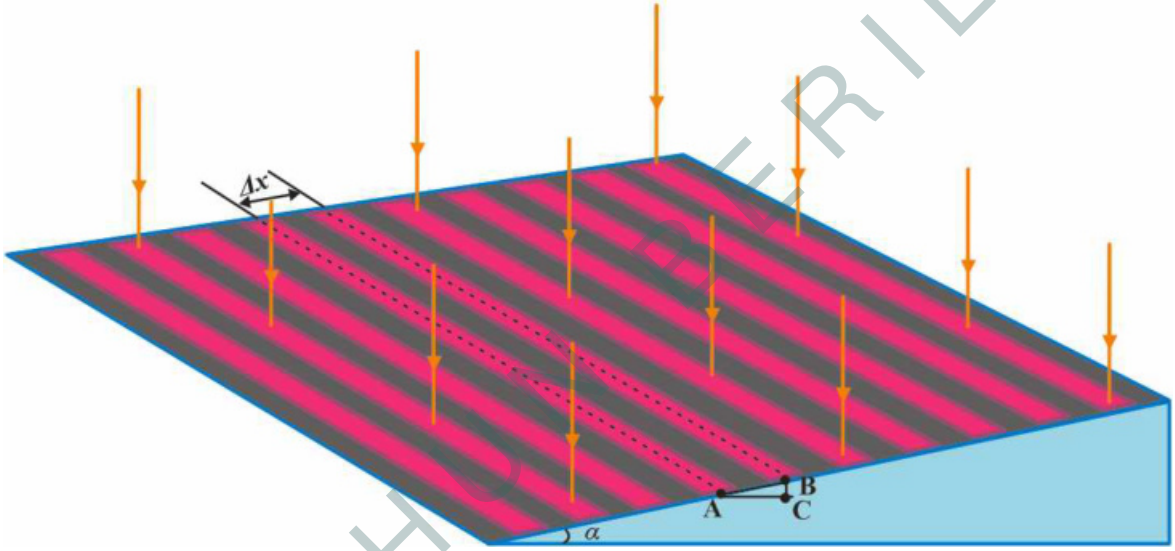


13.7-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

yo‘llar orasidagi farq ham oshib boradi. Aytaylik, ponaning ixtiyoriy *A* nuqtasida maksimal interferension manzara kuzatilayotgan bo‘lsin. U holda *A* nuqtadan biror *Δx* masofada ham shunday *B* nuqta borki, pona qalinligining ortishi tufayli yana maksimal interferension manzara hosil bo‘ladi. Bunda optik yo‘llar farqi *A* nuqtadagi yo‘llar farqiga nisbatan $\lambda_M = \frac{\lambda}{n}$ ga ortishi mumkin. Boshqa tomondan esa $\lambda_M = 2BC = 2AB \cdot tg\alpha = 2\Delta x \cdot tg\alpha \approx 2\Delta x \cdot \alpha$ bo‘ladi. Bu erda kichik burchaklarda $tg\alpha \approx \alpha$ ekanligidan foydalandik. Shunda quyidagi ifodagi ega bo‘lamiz (13.8-*rasm*).

$$2\Delta x \cdot \alpha = \frac{\lambda}{n} \qquad \textbf{(13.14)}$$



13.8-rasm

Qo‘shni maksimumlar orasidagi masofa qo‘shni minimumlar orasidagi masofaga teng va quyidagicha bo‘ladi:

$$\Delta x = \frac{\lambda}{2n\alpha} \qquad \textbf{(13.15)}$$

Maksimum polosalarning eni minimum polosalarning eniga teng va quyidagicha bo‘ladi:

$$S = \frac{\Delta x}{2} = \frac{\lambda}{4n\alpha} \qquad \textbf{(13.16)}$$

Formuladan ko‘rinib turibdiki, pona uchidagi burchak juda kichik bo‘lsa, polosalar eni ko‘zga ko‘rinadigan darajada qalinlashar ekan. Masalan, sovun pufagi $(n = 1{,}4)$ burchagi $\alpha = 1^0$ bo‘lgan pona hosil qilayotgan bo‘lsa, shu ponasimon pardani qizil nur $(\lambda = 780\,nm)$ bilan yoritilganda *S=0,021 mm* qalinlikdagi qora va qizil polosalar, binafsha $(\lambda = 390\,nm)$ nur bilan yoritilganda esa *S=0,021 mm* qalinlikdagi qora va binafsha polosalar paydo bo‘ladi. Bu o‘lchamni esa ko‘z deyarli umuman ilg‘amaydi. Interferension manzarani tomosha qilish uchun

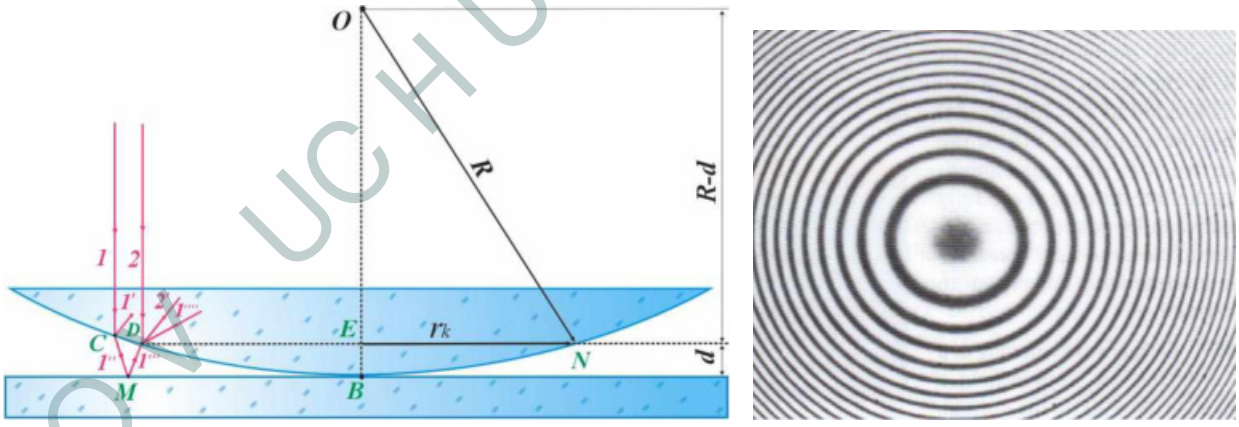
SINOV UCHUN BERILGAN

ko‘rish burchagini oshiruvchi qo‘shimcha optik asboblardan foydalanish kerak bo‘ladi. Shuning uchun $\alpha=1^0$ va undan katta qiymatlarda polosalar bir-biriga juda yaqin kelgani sababli, ularni qurollanmagan ko‘z bilan ajratishning imkoni bo‘lmay qoladi. Aksincha, α burchakning gradusning o‘ndan, yuzdan bir ulushlarida interferension manzara juda yaqqol ko‘rinadi. Natijada, qo‘shni maksimumlar orasidagi masofa Δx ni o‘lchash imkoni paydo bo‘lgani sababli $\lambda = 2n\Delta x\alpha$ formulaga asosan yortilayotgan monoxromatik to‘lqin uzunligini topish mumkin. Agar burchak nolga juda yaqinlashib ketsa $(\alpha \to 0)$, polosalar eni cheksiz kattalashib ketishi natijasida interferension manzara butunlay yo‘qoladi. Chunki, pona o‘zgarmas qalinlikdagi plastinaga aylanadi. Sirt yoki faqat qorong‘u yoki faqat yorug‘ bo‘lib ko‘rinadi.

Formuladan ko‘rinib turibdiki, polosalar eni yoritilayotgan monoxromatik to‘lqin uzunligiga to‘g‘ri proporsional ekan. Bunga rasmdan ham ko‘rib ishonch hosil qilish mumkin.

Nyuton xalqalari:

Kichik burchakli ponada eni bir xil bo‘lgan navbatma-navbat almashinuvchi polosasimon interferension manzara hosil bo‘lishini ko‘rgan edik. Yassi-qavariq linzani burchagi tinimsiz oshib boruvchi cheksiz ko‘p ponalardan iborat deb tasavvur qilinsa, markazdan uzoqlashgan sari ensizlashib boruvchi interferension manzara kuzatilish kerak.



a) *b)*

13.9-rasm

Shisha plastina ustiga qo‘yilgan egrilik radiusi etralicha katta bo‘lgan yassi-qavariq linza orasida hosil bo‘lgan havo qatlamida ham interferension manzara paydo bo‘ladi. Bu interferension manzara konsentrik xalqalar shaklida bo‘lib, ular Nyuton xalqalari deb ataladi. Linzaning egrilik radiusi qanchalik katta bo‘lsa, interferension manzara shuncha yaqqolroq ko‘rinadi. Linzani qanday rangli monoxromatik nur bilan yoritishdan qat’iy nazar interferension manzara markazi har doim qora rangda bo‘ladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Yassi shisha plastinkaga radiusi $R=1–2\ m$ bo‘lgan yassi qavariq linza qo‘yilagn bo‘lsin (13.9-a,rasm). Rasmda bu sistema kesimi tasvirlangan. Linza bilan shisha plastinka oralig‘ida havo qatlami bo‘lib, linza va plastinka tutashgan nuqta B dan boshlab bu qatlam ortib boradi. Linzaning yassi tomoniga tik ravishda parallel monoxromatik nurlar tushayotgan bo‘lsin. Shu nurlardan biri 1 nur C nuqtaga yetib borgach qisman qaytadi, qisman havo qatlamiga o‘tadi. O‘tgan $1''$ nur M nuqtadan $1'''$ nur bo‘lib qaytadi va D nuqtadan $1''''$ bo‘lib chiqadi. D nuqtaga 2-nur ham tushmoqda. $1''''$ va $2'$ nurlar o‘zaro kogerent, ular ustma-ust tushib bir-biri bilan interferensiyalashadi. Natijada kogerentlik xalqalari kuzatiladi (13.9-b,rasm). Bu tajribani birinchi marta ingliz fizigi I.Nyuton kuzatgani uchun bu manzara ***Nyuton xalqalari*** deyiladi.

Linza markazi shisha plastinaga tegib turadi. Markazdan uzoqlashgan sari linza va plastina orasidagi bo‘shliq havo qatlami qalinlashib boradi. Linza markazidan biror r_k masofada ixtiyoriy k-tartibli interferension xalqa hosil bo‘lgan bo‘lsin. Bu xalqa yassi shisha plastinadan biror d masofada bo‘ladi. Ular orasidagi munosobat

$$R^2 = r_K^2 + (R-d)^2, \ \rightarrow \ R^2 = r_K^2 + R^2 - 2Rd + d^2, \ \rightarrow \ 2Rd = r_K^2 + d^2$$

bo‘ladi.

Agar $r_k >> d$ ekanligi e’tiborga olinsa va juda kichik d^2 hadni tashlab yuborib quyidagi formulaga ega bo‘lamiz:

$$d \approx \frac{r_K^2}{2R} \qquad \textbf{(13.17)}$$

Nurlarning optik yo‘llar ayirmasini topish uchun ular uchrashadigan D nuqtaga yetib kelgunga qadar har bir nur bosib o‘tgan optik yo‘llar ayriladi, ya’ni

$$\delta = \ell_1 - \ell_2 = \left(CM + MD + \frac{\lambda}{2}\right) - 0 = 2d + \frac{\lambda}{2} = \frac{r_K^2}{R} + \frac{\lambda}{2}$$

bo‘ladi. Bu yerda $CM + MD = 2CM \approx 2d$ deb olindi.

Demak, $1''$ nur M nuqtadan o‘tganda qarama-qarshi fazaga o‘tishini e’tiborga olinganda $1'''$ va $2'$ nurlarning optik yo‘llar farqi quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\delta = 2d + \frac{\lambda}{2} = \frac{r_K^2}{R} + \frac{\lambda}{2} \qquad \textbf{(13.18)}$$

Maksimumlar sharti bajarilgan xalqa yoritilayotgan monoxromatik nur rangida, minimumlar sharti bajarilgan xalqa esa har doim qop-qora rangda ko‘rinadi.

Maksimum va minimumlar sharti quyidagicha bo‘ladi:

$$\begin{cases} \delta = \dfrac{r_k^2}{R} + \dfrac{\lambda}{2} = k\lambda & \text{max. } sharti \\ \delta = \dfrac{r_k^2}{R} + \dfrac{\lambda}{2} = \dfrac{2k+1}{2}\lambda & \text{min .} sharti \end{cases} \qquad \textbf{(13.19)}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Qorong‘u xalqalar interferension manzaraning markazidan boshlanadi. Shuning uchun, qorong‘u xalqalar hisobi *k=0* (bosh minimum)dan, yorug‘ xalqalar hisobi esa *k=1* dan boshlanadi.

Ixtiyoriy qorong‘u yoki yorug‘ polosaning radiusini aniqlash mumkin. Maksimumlar shartidan foydalanib, *k*-tartibli yorug‘ polosa radiusini aniqlaymiz.

$$\frac{r_k^2}{R}+\frac{\lambda}{2}=k\lambda\,,\ \rightarrow\ r_{k.\max}=\sqrt{\frac{2k-1}{2}\lambda R}$$

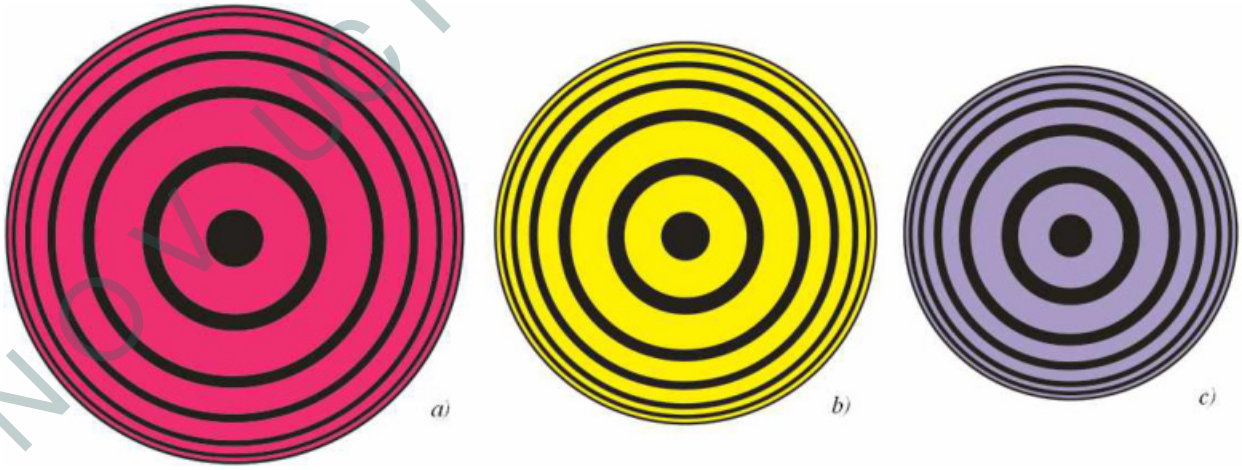
Minimumlar shartidan foydalanib, k -tartibli qorong‘u polosa radiusini aniqlaymiz.

$$\frac{r_k^2}{R}+\frac{\lambda}{2}=\frac{2k+1}{2}\lambda\,,\ \rightarrow\ \frac{r_k^2}{R}=k\lambda\,,\ \rightarrow\ r_{k.\min}=\sqrt{k\lambda R}$$

Demak, *k*-tartibli yorug‘ va qorong‘u xalqalar radiuslarini topish formulalari quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\begin{cases} r_{K.MAX}=\sqrt{\dfrac{2k-1}{2}\lambda R} & (k=1,2,3,\ldots) \\ r_{K.MIN}=\sqrt{k\lambda R} & (k=0,1,2,3,\ldots) \end{cases} \qquad \textbf{(13.20)}$$

Formuladan ko‘rinib turibdiki, $r_k\sim\sqrt{k}$ bo‘lgani bois, markazdan uzoqlashgan sari xalqalar ensizlashib va tig‘islashib boradi. Masalan, bosh va 1-tartibli minimum orasidagi masofa $\Delta r=\sqrt{\lambda R}$ ga teng bo‘lsa, 1-va 2-tartibli minimumlar orasidagi masofa $\Delta r=0{,}414\sqrt{\lambda R}$ ga teng, 2-va 3-tartibli minimumlar orasidagi masofa $\Delta r=0{,}318\sqrt{\lambda R}$ ga teng, 3-va 4-tartibli minimumlar orasidagi masofa esa $\Delta r=0{,}268\sqrt{\lambda R}$ ga teng bo‘ladi va hokozo.



13.10-rasm

Formuladan ko‘rinib turibdiki, $r_k\sim\sqrt{\lambda}$ bo‘lgani bois, to‘lqin uzunlik ortgan sari xalqalar radiusi ham kattalaib boradi. Masalan, to‘lqin uzunligi *λ=780 nm* bo‘lgan qizil va to‘lqin uzunligi *λ=390 nm* bo‘lgan binafsha nurlardan hosil bo‘lgan ixtiyoriy *k*-tartibli xalqa radiuslari $\sqrt{2}$ marta farq qiladi. Shu bois, binafsha nur bilan yortilganda boshqa nurlarga qaraganda xalqalar o‘lchami eng kichik,

SINOV UCHUN BERILGAN

xalqalar soni eng ko‘p va xalqalari eng zich bo‘lgan interferension manzara hosil bo‘ladi (13.10-rasm).

Agar tajribada monoxromatik nurdan emas, balki oq yorug‘likdan foydalanilsa interferension manzaralar rang-barang bo‘yalgan bo‘ladi.

Agar linza va plastinka orasiga shaffof muxit kiritilsa, interferension xalqalar soni ortib, maksimumlar orasidagi masofa kamayadi, xalqalar kenligi ensizlashadi.

Agar shisha plastina ustiga sferik yassi-qavariq linza o‘rniga slindrik yassi qavariq linza qo‘yilsa, interferension manzara xalqalar o‘rniga polosalardan iborat bo‘ladi. Ekran markazida yo‘g‘on qora polosa, so‘ngra esa almashinuvchi va tig‘islashib boruvchi yorug‘ va qorong‘u chiziqsimon polosalar paydo bo‘ladi.

Mavzu yuzasidan savollar

1. *O‘zaro kogerent to‘lqinlar deb nimaga aytiladi? O‘zaro kogerent to‘lqin manbalari qanday bo‘ladi?*
2. *Yorug‘lik interferensiyasi deb nimaga aytiladi? Maksimumlar va minumlar shartini yozing. Bu shartlar bajarilgan nuqtalarda nima hodisa kuzatiladi?*
3. *Ikkita o‘zaro kogerent manbadan hosil bo‘lgan interferension manzara uchun yo‘llar farqini, maksimumlar va minimumlar shartini, ixtiyoriy maksmumgacha yoi minimumgacha bo‘lgan masofani, qo‘shni maksimumlar yoki qo‘shni minimumlar orasidagi masofani, ixtiyoriy minimum yoki maksimum polosa enini hisoblaydigan formulalarni yozing.*
4. *Franel ko‘zgalarida interferension manzara hosil bo‘lish sababini tushuntirib bering.*
5. *Yupqa moy pardasida hosil bo‘ladigan interferension manzara uchun yo‘llar farqini, maksimumlar va minimumlar shartini hisoblaydigan formulalarni yozing.*
6. *Kichik burchakli ponasimon pardada qo‘shni maksimumlar yoki qo‘shni minimumlar orasidagi masofa nimaga teng? To‘lqin uzunligi-chi?*
7. *Yupqa moy pardasiga yorug‘lik tik holda tushganda hosil bo‘ladigan interferension manzara uchun yo‘llar farqini, maksimumlar va minimumlar shartini hisoblaydigan formulalarni yozing.*
8. *Nyuton xalqalari uchun yo‘llar farqini, maksimumlar va minimumlar shartini hamda ixtiyoriy tartibli maksimu va minimum polosa radiusini hisoblaydigan formulalarni yozing.*

Masala yechish:

1. *Bir xil a amplitudaga ega bo‘lgan ikkita kogerent to‘lqinlar orasidagi yo‘l farqi juft yarim to‘lqin uzunligiga teng bo‘lganda, ularning qo‘shilishidan hosil bo‘ladigan natijaviy tebranish amplitudasi qanday bo‘ladi?*

A) 0 B) $\frac{a}{2}$ *C)* a *D)* $2a$ *E)* a^2

SINOV UCHUN BERILGAN

Berilgan:	*Yechish:*
$A_1=a$ $A_2=a$ $A_n=?$	*Interferensiyani maksimumlar shartiga ko‘ra interferensiyalanuvchi to‘lqinlarning yo‘llar farqi ularning to‘lqin uzunliklarining juft yarim to‘lqin uzunligiga teng bo‘lsa natijaviy to‘lqin kuchyadi, yani* $A_n=A_1+A_2=2a$ *ga teng.*

Javob: *D)*

2. *Ikkita kogerent tovush manbai bir xil fazada tebranadi. Birinchi manbadan 3 m va ikkinchi manbadan 4 m masofada joylashgan nuqtada tovush eshitilmaydi. Tovush tezligini 340 m/s bo‘lsa, tovush chastotasi qanday (Gs)? (n=0,1,2,...)*

Berilgan:	*Yechish:*
$x_1=3m$ $x_2=4m; V=340m/s$ $n=1,2,3...$ $\nu=?$	*Interferensiyaning minimumlik shartiga ko‘ra* $\Delta x = (2n+1)\frac{\lambda}{2} = (2n+1)\frac{V}{2\nu}$ *bunda* $\Delta x = x_2 - x_1 = 1\ m$ *va* $\nu = (2n+1)\frac{V}{2\Delta x} = (2n+1)170$ *ga teng.*

Javob: $\nu = (2n+1)170$ *[Hz]*

§ 14. YORUG‘LIK DIFRAKSIYASI. FRANEL-GYUGENS PRINSIPI. DIFRAKSIYA NATIJASIDA HOSIL BO‘LGAN INTERFERENSION MANZARALARNI HISOBLASH.

Yorug‘lik difraksiyasi:

Yorug‘lik to‘lqin ekan, demak u ham mexanik to‘lqin kabi difraksiya xrssasiga ega bo‘lishi kerak. Chunki, to‘siq yoki tirqishga duch kelganda geometrik soya sohaga aylanib o‘tish hodisasi barcha to‘lqinlarga tegishlidir. Biroq, yorug‘lik difraksiyasini kuzatish oson emas. Sababi, yorug‘lik to‘lqini uzunligi bilan taqqoslasa bo‘ladigan darajada kichik to‘siq yoki tirqish hosil qilish ancha mushkul masala.

Yorug‘lik difraksiyasini birinchi bo‘lib Tomas Yung 1802-yilda o‘zining klassik tajribasi orqali kuzatishga muvaffaq bo‘lgan. U noshaffof pardani bir-biriga yaqin ikki nuqtasini igna bilan teshadi. Bu teshiklarga boshqa teshik orqali yorug‘lik nuri tushirilganda ekranda navbatlashib keluvchi yorug‘ va qorong‘u polosalar paydo bo‘ldi. Gyugens prinyipiga ko‘ra yorug‘lik nurining har bir etib borgan fronti ikkilamchi yorug‘lik manbasini hosil qiladi. Shuning uchun, ikkita tirqish ikkilamchi o‘zaro kogerent manbaga aylanadi. Bu esa oldingi mavzuda tanishgan ikkita kogerent manbadan hosil bo‘lgan interferensiyaning o‘zidir. Yung

SINOV UCHUN BERILGAN

Atoqli gollanf fizigi va matematigi, birinchi bo‘lib to‘lqin nazariyasini yaratgan olim Xristian Gyugens 1629-yilda Gollandiyada dunyoga kelgan. To‘lqin nazariyasining asoslari uning “Traktat o svete” nomli asarisa 1690-yilda bayon etilgan. Gyugens birinchi bo‘lib soatning bir me’yorda yurishini ta’minlash uchun mayatnikdan foydalangan va matematik hamda fizik mayatniklarning tebranishlari davri formulasini keltirib chiqargan. Optika sohasida juda ko‘plab ish olib borishidan tashqari matematika sohasida ham muvaffaqqiyatlarga erishgan. Uning ishlari konus kesimlari, sikloida va boshqa egri chiziqlarni tekshirishga bag‘ishlangan. Ehtimollik nazariyasiga oid dastlabki ishlaridan biri Gyugensning qalamiga mansubdir. Gyugens o‘z qo‘li bilan takomillashtirgan astronomik truba yordamida Saturnning yo‘ldoshi Titanni kash etgan. U 1695-yilda vafot etgan.



Xristian Gyugens (1629–1695)

xuddi ana shu tajriba orqali turli rangdagi yorug‘lik spektrlarining to‘lqin uzunliklarini juda anaiq o‘lchadi.

Franel-Gyugens prinsipi:

Yorug‘lik difraksiyasini tekshirish Ogyusten Frenel ishlari bilan tugallandi. Frenel difraksiyaning turli hollarini tekshiribgina qolmasdan, balki yorug‘lik nuri har qanday to‘siqni (doiraviy to‘siq, doiraviy tirqish, chiziqli to‘siq, chiziqli tirqish va h.) aylanib o‘tganda hosil bo‘ladigan interferension manzarani miqdoriy hisoblab topishga imkon beradigan nazariyani yaratdi. Bundan tashqari Frenel birinchi bo‘lib yorug‘likning bir jinsli muhitda to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqalishini isbotlib berdi.

Yorug‘lik difraksiyasi – yorug‘likning to‘siqlarni aylanib geometrik soya sohasiga o‘tish xossasidir.

Difraksiya so‘zi lotincha “difrakcio” “egilib o‘tish” so‘zidan olingan. Yorug‘lik to‘lqinlari o‘lchamlari yorug‘lik to‘lqiniga yaqin bo‘lgan to‘siqlarnigina sezilarli darajada aylanib o‘tadi.

Gyugens – Franel prinsipi: ***To‘lqin frontining xar bir etib bogan nuqtasi ikkilamchi to‘lqin manbaidir. Ikkilamchi to‘lqin manbalari kogerent manbalar va fazoning ixtiyoriy nuqtasidagi tebranish – bu nuqtagacha etib kelgan ikkilamchi kogerent tulqinlar interferensiyasining natijasidir.***

Yorug‘lik to‘lqinining fazoning istalgan nuqtasidagi amplitudasini hisoblab topish uchun yorug‘lik manbaini markaz qilib uni berk sferik sirt bilan fikran o‘rash kerak. Ana shu sferik sirt nuqtalaridan tarqalgan ikkilamchi to‘lqinlar interferensiyasi qo‘shilib fazoning ixtiyoriy nuqtasidagi natijaviy amplitudasini belgilaydi.

Franel zonalari:

Yorug‘lik to‘lqinining fazoning istalgan nuqtasidagi amplitudasini hisoblab topish uchun yorug‘lik manbaini berk sirt bilan fikran o‘rash kerak. Ana shu sirtga joylashgan ikkilamchi manbalardan chiqqan to‘lqinlar interferensiyasi fazoning

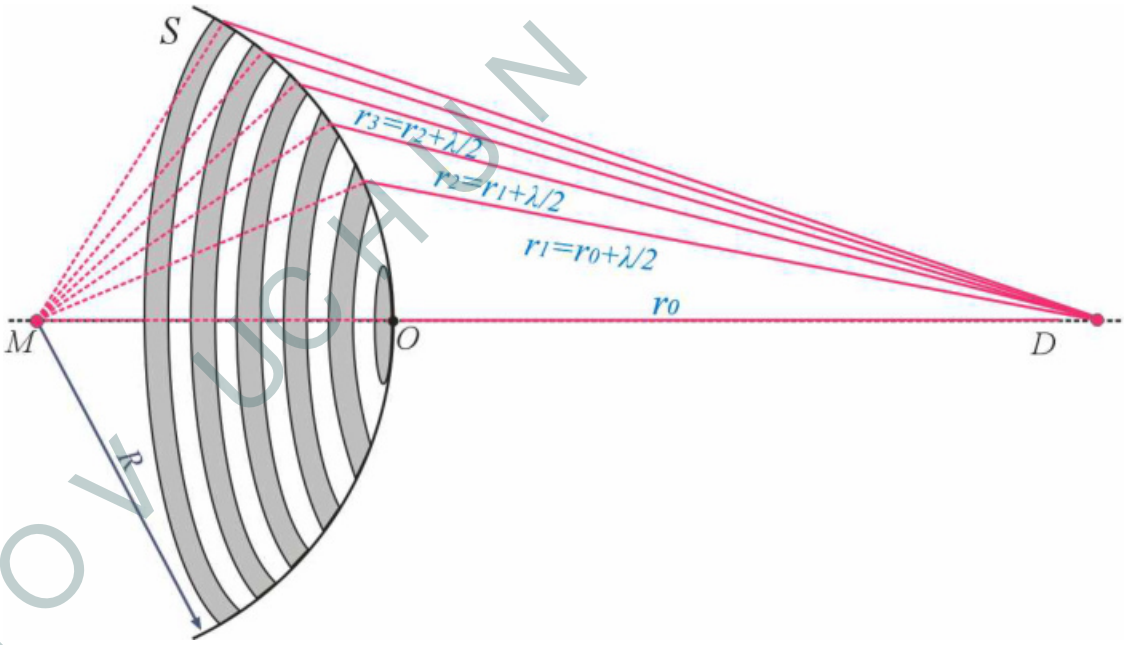
SINOV UCHUN BERILGAN

tekshirilayotgan nuqtasidagi amplitudasini beradi. M manbadan muhitda ϑ tezlik bilan tarqalgan nur t vaqtda $R=\vartheta t$ radiusli sfera chizadi. Sfera sirti S ning barcha nuqtalaridan ixtiyoriy D nuqtaga yetib kelayotgan ikkilamchi kogerent to‘lqinlarning yig‘indisini topish kerak. MD to‘g‘ri chiziqda yotuvchi O nuqta S sferaning D nuqtagacha bo‘lgan eng yaqin nuqtasidir. OD masofani r_0 deb belgilaylik. Markazlari D nuqtada joylashgan va bir-biri bilan yarim to‘lqin uzunligiga farq qiluvchi quyidagicha sferalar chizaylik (14.1-rasm). Ularning radius uzunliklari quyidagicha bo‘ladi:

$$r_1 = r_0 + \frac{\lambda}{2}, \quad r_2 = r_0 + 2\frac{\lambda}{2}, \quad r_3 = r_0 + 3\frac{\lambda}{2}, \quad r_4 = r_0 + 4\frac{\lambda}{2}, \ \ldots\ldots \qquad (14.1)$$

Bu chizilgan sferalar sirtdan maxsus sferik xalqalar (zonalar) ajratadi. Bu zonalar ***Franel zonalari*** deyiladi. Eng markaziy zona 1-zona va keyingilari 2,3,4-zonalar deyiladi. Franel zonalari teng yuzalarga ega. Shuning uchun bu yuzalarda teng miqdorda ikkilamchi kogerent manbalar bor.

1-zonadan D nuqtaga yetib kelayotgan natijaviy amplitudani A_1 bilan, shu tartibda $2,3,4$-zonalardan D nuqtaga yetib kelayotgan natijaviy amplitudalarni $A_2, A_3, A_4, \ldots$ bilan belgilaymiz.



14.1-rasm

Zonalar tartib raqami ortgan sari D nuqtagacha masofalar ham chiziqli ravishda ortib boradi, ya’ni $r_1 > r_2 > r_3 > r_4 > \ldots$. bo‘ladi.

Shuningdek, bu zonalarning D nuqtadan ko‘rinish burchaklari ham orta boshlaydi. Shuning uchun, zonalardagi barcha ikkilamchi kogerent to‘lqin manbalaridan D nuqtaga yetib kelayotgan yorug‘lik to‘lqinlarining natijaviy amplitudalari $(A_1, A_2, A_3, A_4, \ldots)$ monoton ravishda kamayib boruvchi sonlar ketma-ketligini tashkil qiladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

$$A_1 > A_2 > A_3 > A_4 > A_5 > \ldots.$$

Ikkinchi tomondan qo‘shni Franel zonalarining chetki nuqtalaridan D nuqtagacha bo‘lgan masofalar $\lambda/2$ ga farq qilib boradi. Shuning uchun, qo‘shni zonalar D nuqtada uyg‘otiladigan tebranishlarining fazalari π ga farq qiladi, ya’ni qarama-qarshi fazada tebranadi. D nuqtadagi umumiy amplituda ayrim zonalardagi amplitudalar yig‘indisiga teng. Toq zonalar amplitudalari (+) ishora bilan, juft zonalar amplitudalari (–) ishora bilan olinadi.

$$A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + A_5 - \ldots \quad \text{yoki} \qquad (14.2)$$

$$A = \frac{A_1}{2} + \left(\frac{A_1}{2} - A_2 + \frac{A_3}{2}\right) + \ldots.. + \left(\frac{A_{K-1}}{2} - A_K + \frac{A_{K+1}}{2}\right) + \ldots.. \qquad (14.2a)$$

Agar $A_K = \frac{A_{K-1} + A_{K+1}}{2}$ ekanligini hisobga olsak, tenglama quyidagicha bo‘ladi:

$$A \approx \frac{A_1}{2} \qquad (14.2b)$$

Demak, barcha Franel zonalari tufayli D nuqtada uyg‘otiladigan natijaviy tebranish xuddi 1-Franel zonasining yarmidek bo‘ladi.

14.1-rasmda M yorug‘lik manbaidan chiqqan yorug‘lik to‘lqinining D nuqtaga barcha Frenel zoanlaridan emas, balki biror qism Frenel zonalaridan kelayotgan bo‘lsa, u holda D nuqtada natijaviy intensivlik qanday ko‘rinishda bo‘ladi. Buni doiraviy disk va doiraviy teshik misolida ko‘rish mumkin.

Doiraviy teshikdan xosil bo‘ladigan difraksiya (Franel difraksiyasi):

Nuqtaviy monoxromatik yorug‘lik manbai M dan tarqalayotgan yorug‘lik nurlarining yo‘liga doira shaklida teshigi bor T to‘siq joylashtiraylik. E ekranni to‘siqqa parallel joylashtirsak, M manbadan va doiraviy teshikning markazidan o‘tuvchi to‘g‘ri chiziq ekranni D nuqtada kesadi. D nuqtani kuzatish nuqtasi sifatida tanlab, to‘siqqa etib kelgan to‘lqin frontidan Franel zonalarini ajrataylik (14.2-rasm). To‘siqdagi teshik zonalardan k tasini ochiq qoldirgan bo‘lsin. D nuqtadagi natijaviy tebranish amplitudasi k ta zonalardan kelgan tebranish amplitudalari yig‘indisiga teng.

$$A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + A_5 - \ldots. \pm A_k$$

Teshikdagi zonalar soni k toq va juft bo‘lgan hollar uchun D nuqtadagi natijaviy amplituda quyidagicha:

$$\begin{cases} A = \frac{A_1}{2} + \frac{A_K}{2}, & k = toq\ songa \\ A = \frac{A_1}{2} - \frac{A_K}{2}, & k = juft\ songa \end{cases} \qquad (14.3)$$

Agar zonalar soni kichik (k=3—5) bo‘lsa, k ning toq (14.2-b,rasm) va juft (14.2-c,rasm) qiymatlarida natijaviy amplituda quyidagicha bo‘ladi:

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\begin{cases} A = A_1, & k = toq\ songa \\ A = 0, & k = juft\ songa \end{cases} \qquad (14.3a)$$

Agar tirqishdagi zonalar soni k ancha katta bo‘lsa, u holda $A_k << A_1$ bo‘ladi va k ning juft va toq qiymatlarida natijaviy amplituda quyidagicha bo‘ladi:

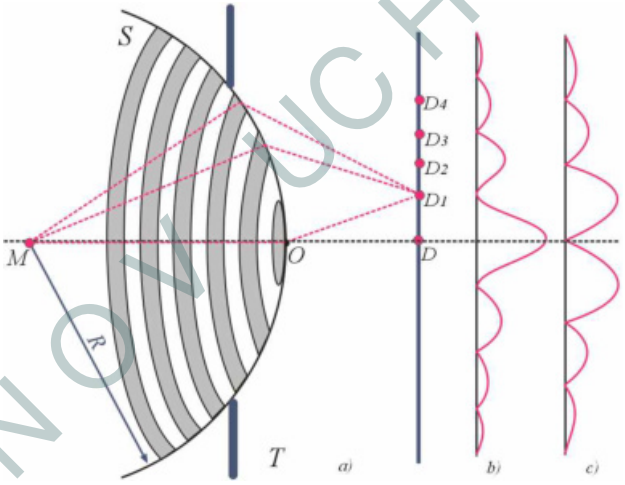
$$\begin{cases} A = \frac{A_1}{2} + \frac{A_K}{2} \approx \frac{A_1}{2}, & k = toq\ songa \\ A = \frac{A_1}{2} - \frac{A_K}{2} \approx \frac{A_1}{2}, & k = juft\ songa \end{cases} \qquad (14.4)$$

Demak, yuqoridagi formula yorug‘lik xuddi shaffofmas muhit bo‘lgandek tarqalishini ifodalaydi.

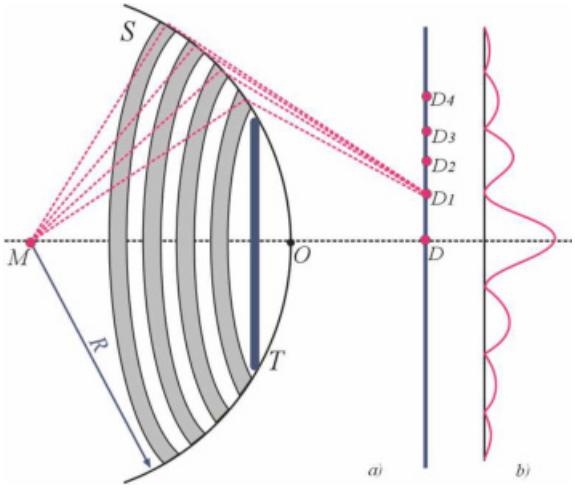
Doiraviy diskdan xosil bo‘ladigan difraksiya (Franel difraksiyasi):

Nuqtaviy monoxromatik yorug‘lik manbai M dan tarqalayotgan yorug‘lik nurlarining yo‘liga doiraviy disk shaklidagishaffofmas T to‘siqni joylashtiraylik (14.3-a,rasm). E ekranni esa to‘siqqa parallel qilib joylashtiraylik. M manba va doiraviy diskning markazidan o‘tuvchi to‘g‘ri chiziq ekranni D nuqtada kesadi. D nuqtani kuzatish nuqtasi sifatida tanlasak, to‘siq S to‘lqin frontidagi Franel zonalaridan k tasini berkitadi. Shuning uchun D nuqtadagi yorug‘lik to‘lqinining amplitudasi $k+1$ va undan katta nomerli Franel zonalaridan kelayotgan to‘lqinlar amplitudalarining yig‘indisiga teng bo‘ladi.

$$A = A_{K+1} - A_{K+2} + A_{K+3} - .... = \frac{A_{K+1}}{2} + \left(\frac{A_{K+1}}{2} - A_{K+2} + \frac{A_{K+3}}{2} \right) + ... = \frac{A_{K+1}}{2} \qquad (14.5)$$



14.2-rasm



14.3-rasm

k unchalik katta bo‘lmaganda $A_{k+1} \approx A_1$ bo‘ladi va shu sababdan D nuqtadagi yorug‘lik intensivligi xuddi ekran va manba oralig‘ida hech qanday to‘siq bo‘lmagani kabi bo‘ladi. Lekin, D nuqtadan biror masofada D_1 nuqtani kuzatish nuqtasi sifatida tanlasak, doiraviy disk $(k+1)$-zonani qisman berkitadi k-zona esa qisman ochiladi. Natijada D_1 nuqtadagi yorug‘lik intensivligi D nuqtadagiga qaraganda zaifroq bo‘ladi. D_1 nuqtadan ham uzoqroq D_2 nuqtani kuzatish nuqtasi

SINOV UCHUN BERILGAN

sifatida tanlaganimizda esa to‘siq Franel zonalarini yanada boshqacharoq berkitadi. Natijada ekranning D nuqtadan har xil uzoqlikdagi nuqtalarida yorug‘lik intensivliklari 14.3-b,rasmdagidek bo‘ladi. Difraksion manzara esa navbatlashuvchi yorug‘ va qora xalqalar ko‘rinishida bo‘lib, k ning toq qiymatlarida ham juft qiymatlarida ham D nuqta yorug‘ bo‘ladi. Ekranda D nuqtadan uzoqlashib geometrik soyadan chiqilganda difraksion manzara sezilmaydigan darajada xiralashgan bo‘ladi. Buning sababi bu soxada difraksion manzaraning ustiga kuchli yorug‘lik tushishidir.

Difraksion panjara:

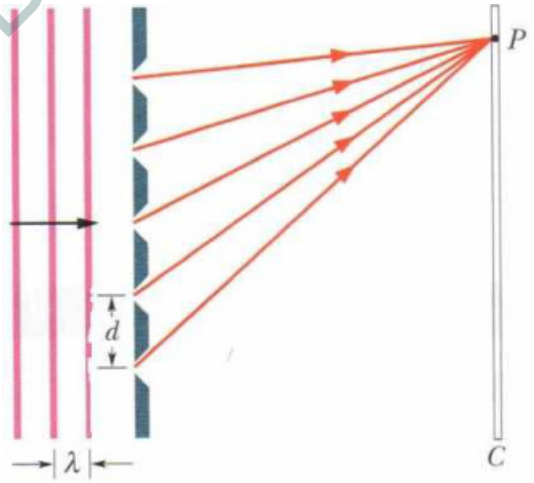
Difraksion panjara deganda bir-biridan b uzoqlikda joylashgan bir xil a kenglikdagi tirqishlar to‘plamidan iborat optik asbob tushuniladi

Qo‘shni tirqishlarning mos nuqtalari orasidagi masofa difraksion ***panjara domiysi*** yoki ***davri*** deyiladi. Agar shaffof tirqishlarning kengliklarini a bilan, shaffofmas oraliqning kengligini b bilan belgilansa, panjaraning davri quyidagicha bo‘ladi *(14.4-rasm)*:

$$d = a + b \qquad (14.6)$$

Tirqishlardagi ikkilamchi manbalar barcha yo‘nalishlarda tarqaluvchi yorug‘lik to‘lqinlarini hosil qiladi. Tirqishdan ixtiyoriy φ burchak ostida sochiluvchi nurni tekshiraylik. Qo‘shni tirqishlarning chetlaridan chiqayotgan to‘lqinlar orasidagi yo‘l ayirmasi AC kesmaning uzunligiga teng va quyidagicha (14.4-rasm):

$$AC = AB\sin\varphi = d\sin\varphi \qquad (14.7)$$



14.4-rasm

Difraksion panjara uchun maksimum va minimumlar sharti quyidagicha bo‘ladi:

$$\begin{cases} d\sin\varphi = k\lambda & -maksimum \\ d\sin\varphi = \dfrac{2k+1}{2}\lambda & -\min imum \end{cases} \qquad (14.8)$$

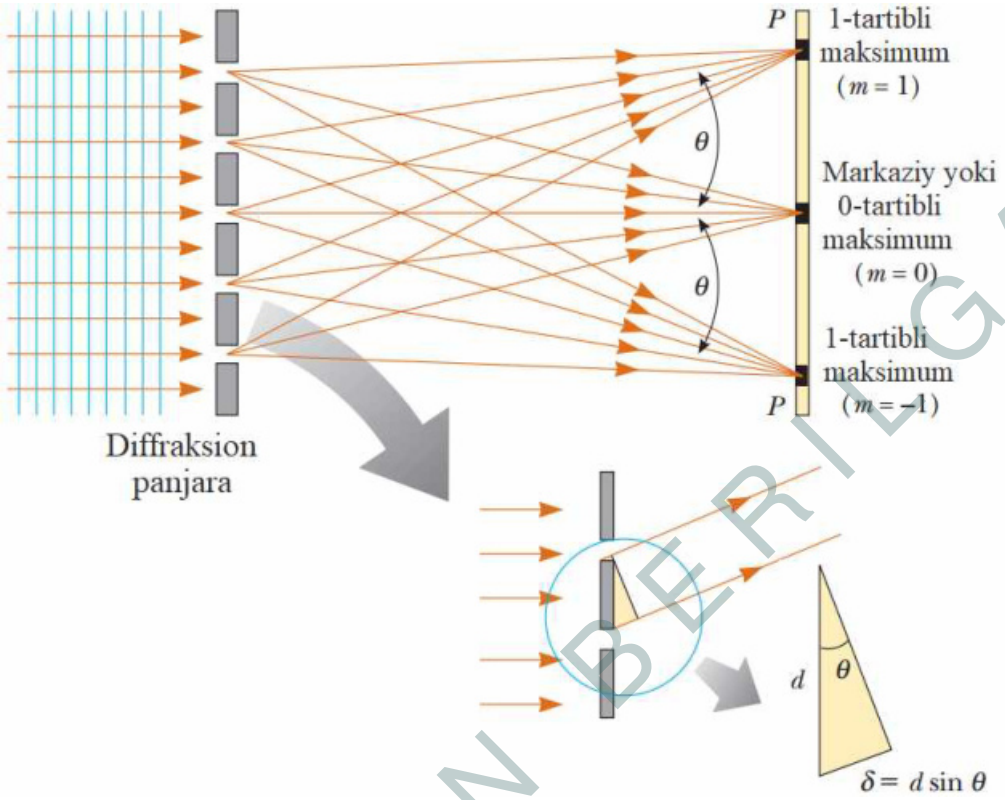
Bu yerda: $k = 0,1,2,3,4,...$ bo‘lib, $k=0$ holatda ekran markazida markaziy bosh maksimum, ya’ni 0-tartibli maksimum, undan keyin 1-tartibli minimum, so‘ngra 1-tartibli maksimum va hokoza almashib keluvchi interferension manzara kuzatiladi (14.5-rasm).

Difraksion panjara xar qanday monoxromatik nur yoki oq yorug‘lik bilan yoritilishidan qat’iy nazar ekran markazida maksimum kuzatiladi.

Panjara oq yorug‘lik bilan yoritilganda $k=0$ ga muvofiq keladigan markaziy maksimumdan boshqa maksimumlarning vaziyati to‘lqin uzunligiga bog‘liq

SINOV UCHUN BERILGAN

bo‘lgani uchun panjara oq yorug‘likni spektrlarga ajratadi. Qanchalik katta bo‘lsa, ayni to‘lqin uzunligiga muvofiq keladigan maksimum markaziy maksimumdan shunchalik uzoq turadi.



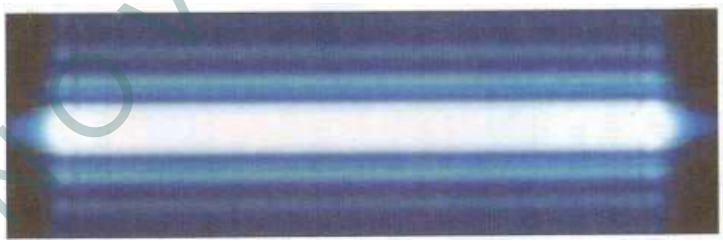
14.5-rasm

Difraksion panjarada kuzatilii mumkin bo‘lgan maksimum tartibi ushbu

$$k = \frac{d}{\lambda} \qquad (14.9)$$

ko‘rinishda bo‘ladi.

Panjaraning davri ortishi bilan interferension xalqalar soni ortadi, maksimumlar orasidagi masofa kamayadi, xalqa kengligi ensizlashadi.



a)



b)

14.5-rasm

Yuqorida rasmda difraksion panjarada olingan tasvirlar keltirilgan. 14.5-a,rasmda difraksion panjaradan o‘tgan nurlardan hosil bo‘lgan interferension manzara tasvirlangan. 14.5-b,rasmdagi kompakt disk tabiiy ravishda difraksion panjara vazifasini o‘tab, undan qaytgan nurlardan hosil bo‘lgan interferension manzara ko‘rinishi tasvirlangan.

SINOV UCHUN BERILGAN

Mavzu yuzasidan savollar

1. *Yorug‘lik difraksiyasi nima? Bu hodisa qachon kuzatiladi?*
2. *Franel-Gyugens prinsipini aytib bering.*
3. *Franel zonalari nima?*
4. *Doiraviy diskdan hosil bo‘ladigan franel difraksiyasini hisoblang.*
5. *Doiraviy tirqishdan hosil bo‘ladigan franel difraksiyasini hisoblang.*
6. *Difraksion panjara nima, Uning davri nima?*
7. *Difraksion panjara uchun yo‘llar farqini, maksimumlar va minimumlar shartini, maksimumlarning eng yuqori tartibini yozing.*

Masala yechish:

1. *Bir millimetrida 200 ta shtrixi bo‘lgan difraksion panjaraga to‘lqin uzunligi 500 nm bo‘lgan monoxromatik yorug‘lik tushmoqda. Birinchi tartibli ikki spektr orasidagi burchakni toping.*

A) 34° B) 23° C) 11° D) 6° E) 3°

Berilgan:

$x = 10^{-3}m$

$N = 200$ *ta*

$k = 4$

$\lambda = 500\ nm$

$\alpha = ?$

Yechish:

Diffraksion panjara formulasi $d\sin\alpha = k\lambda$ *dan foydalangan holda* $d = \frac{x}{N}$ *ekanligini etiborga olsa holda* $\alpha = arcsin\left(\frac{Nk\lambda}{x}\right) \approx 5{,}5^0$ *ga teng. Endi ikkala 1-maksimum orasidagi burchak* 2α *ga teng ekanligini etiborga olsak* $\beta = 2\alpha = 11^0$ *ga teng.*

Javob: *C)* 11^0

2. *Davri* $d = 10^{-3}$ *mm bo‘lgan difraksion panjarada kuzatilayotgan birinchi tartibli ikki simmetrik maksimumlar orasida burchak* $60°$ *bo‘lsa, tushayotgan yorug‘likning to‘lqin uzunligi qanday (nm) bo‘ladi?*

Berilgan:

$d = 10^{-6}\ m$

$k = 1$

$\alpha = 60^0$

$\lambda = ?$

Yechish:

Diffraksion panjara formulasi $d\sin\alpha = k\lambda$ *dan foydalangan holda* $d = \frac{x}{n}$ *ekanligini etiborga olsa holda* $\lambda = \frac{d\ \sin\alpha}{k} =$ $500\ nm$ *ga teng.*

Javob: *500 nm*

§ 15. YORUG‘LIKNING QUTBLANISHI. QISMAN VA TO‘LA QUTBLANGAN YORUG‘LIK. BRYUSTER VA MALYUS QONUNLARI.

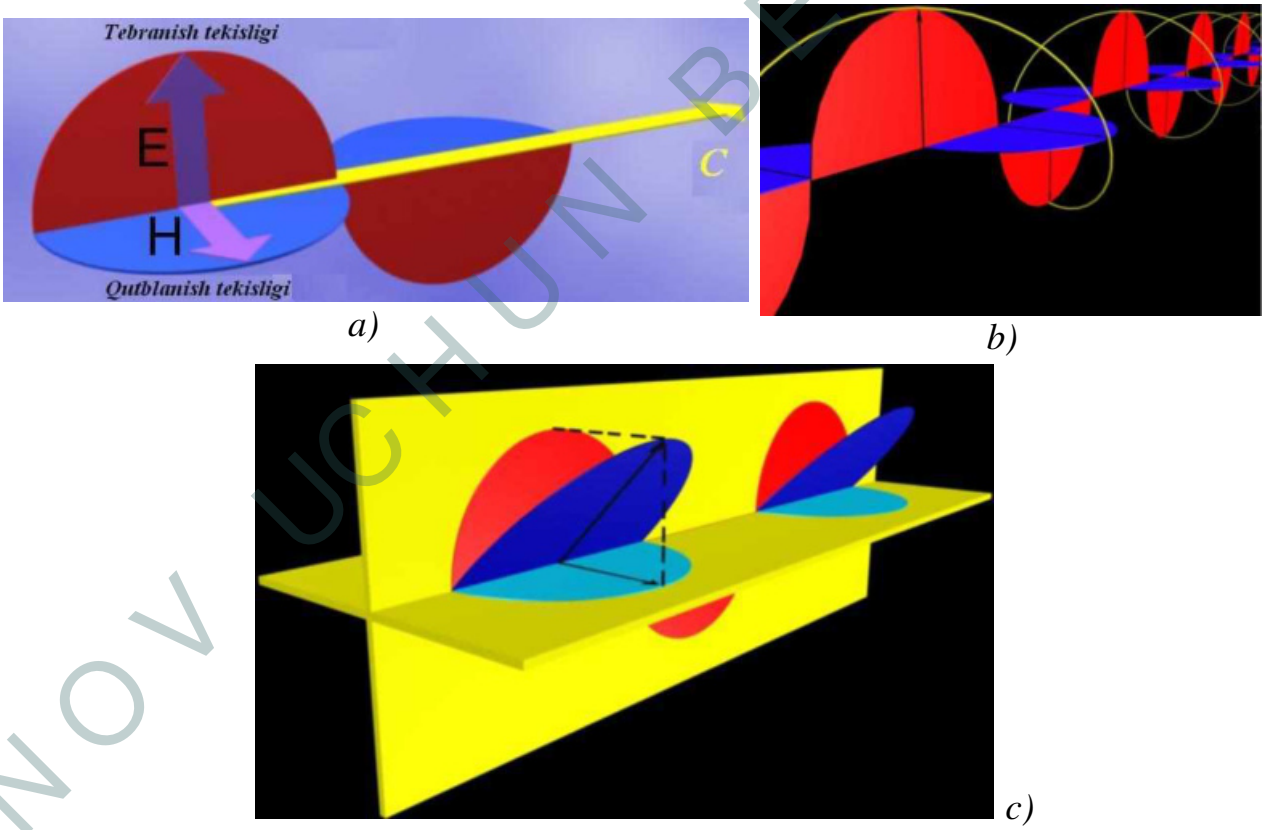
Tabiiy va qutblangan yorug‘lik:

Yorug‘lik nurlari to‘lqin uzunliklari $\lambda = 400 - 760\ nm$ intervaldagi ko‘ndalang elektromagnit tebranishlarining tarqalish yo‘nalishidir. Quyosh yoki shamdan tarqalayotgan yorug‘lik deganda shu manbaning atomlari (elementar

SINOV UCHUN BERILGAN

nurlantirgichlar)dan chiqayotgan yorug‘lik to‘lqinlarining aralashmasi tushuniladi. Yorug‘lik manbai o‘lchami qanchalik kichik bo‘lmasin, baribir unda “nurlantirgich”lar soni nihoyatda ko‘p bo‘ladi. Boshqacha aytganda, har onda milliardlab atomlar to‘lqin nurlashni tugatsa, yana milliardlab atomlar to‘lqin nurlashni boshlaydi. Bu elementar to‘lqinchalar ichidan bittasini olib qaraylik (15.1-rasm). Bu to‘lqin nur tarqalish yo‘nalishiga va o‘zaro perpendikulyar $\dot{E}$ va $\dot{B}$ vektorlarning tebranishlaridan iborat. Bunda $\dot{E}$ vektor tebranadigan tekislikni ***tebranish tekisligi*** va $\dot{B}$ vektor tebranadigan tekislikni esa ***qutblanish tekisligi*** deb ataladi.

To‘lqin biror muhitga tushganda u muhitdagi elektronlar va ionlar bilan ta’sirlashadi. Hisoblashlarning ko‘rsatishicha elektr ta’sir magnit ta’sirdan ancha katta bo‘lar ekan. Shuning uchun, tasvirni yaqqollashtirish maqsadida elektromagnit to‘lqinni faqat $\dot{E}$ vektorning tebranishlari sifatida tasvirlash odat tusiga kirgan.



a) *b)* *c)*

15.1-rasm

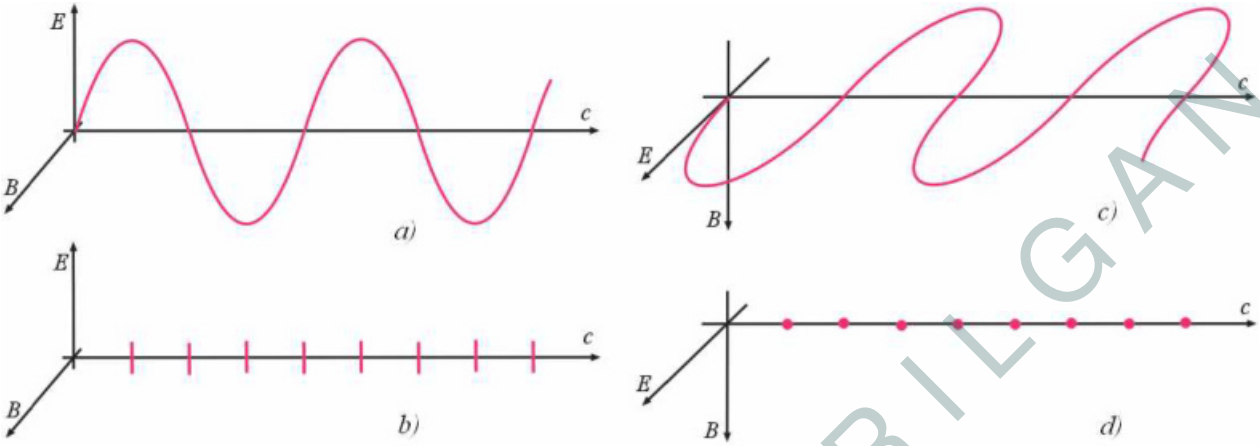
Kuchlanganlik (E) vektorlarining tebranishlari faqat bitta tekislikda sodir bo‘ladigan yorug‘lik to‘lqinlari yassi qutblangan yorug‘lik to‘lqinlari deyiladi.

Tabiiy yorug‘lik manbaining bitta atomidan bitta nurlanishda chiqgan yorug‘lik to‘lqini yassi qutblangan yorug‘likka yaqqol misol bo‘ladi.

Tebranish tekisligi chizma tekisligi bilan mos tushadigan yassi qutblangan yorug‘likni yoki $\dot{E}$ vektorning tebranishi ko‘rinishida yoki Ox o‘qiga

SINOV UCHUN BERILGAN

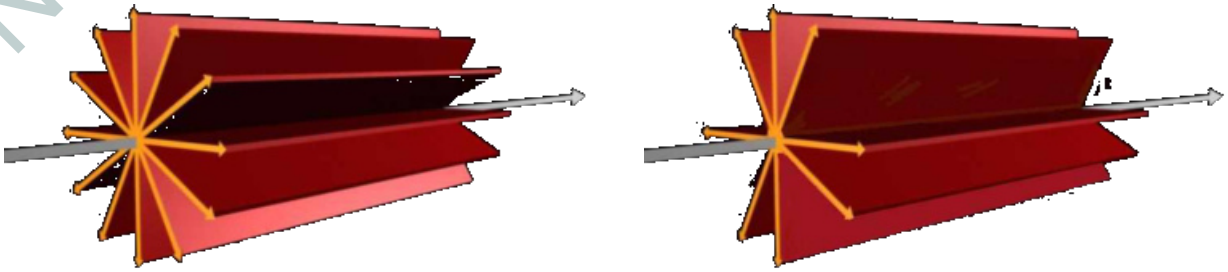
perpendikulyar o‘tkazilgan chiziqchalar ko‘rinishida tasvirlash mumkin (15.2-a, b rasm). Tebranish tekisligi chizma tekisligiga perpendikulyar bo‘lgan yassi qutblangan yorug‘likni esa yoki $\dot{E}$ vektorning tebranishi ko‘rinishida yoki Ox o‘qi yo‘nalishidagi bir qator nuqtalar bilan tasvirlash mumkin (15.2-c, d rasm).



15.2-rasm

Yuqoridagi mulohazalar tabiiy yorug‘lik manbaining bitta atomi bitta nurlanishda chiqaradigan to‘lqin tizmasi uchun o‘rinli. Nurlanish taxminan 10^{-8} s vaqt davom etadi. Bunda chiqarilgan to‘lqin tizmasining uzunligi $3m$ chamasida bo‘ladi. Shundan so‘ng atom yangi to‘lqin tizmasini nurlashga kirishadi. Lekin, keyingi tizimdagi tebranish tekisligi va nur tarqalish yo‘nalishi avvalgi tizimdagi tebranish tekisligi va nur tarqalish yo‘nalishi bilan mos tushmaydi. Tabiiy yorug‘lik manbaidagi turli atomlar nurlayotgan to‘lqinlarning $\dot{E}$ vektorlari (ya’ni tebranish tekisliklari) turli yo‘nalishga ega bo‘lib, barcha yo‘nalishlar teng ehtimollidir. Chunki, biror yo‘nalishda tebranish yaxshiroq sodir bo‘lib, qolgan yo‘nalishlarda sustroq bo‘ladi deb ayta olmaymiz. Boshqacha aytganda, birorta yo‘nalishning boshqa yo‘nalishdan ortiq, avzallik joyi yo‘q, birorta bir yo‘nalish imtiyozga ega emas. Yorug‘lik manbaidan kuzatuvchiga tarqalayotgan tabiiy yorug‘lik $\dot{E}$ vektorlari 15.3-a rasmdagidek bo‘ladi. Bunday yorug‘likni qutblanmagan yorug‘lik deyiladi.

Tabiiy yorug‘lik – barcha yo‘nalishlarda yassi qutblangan yorug‘liklarning aralashmasidir.



a) *b)*

15.3-rasm

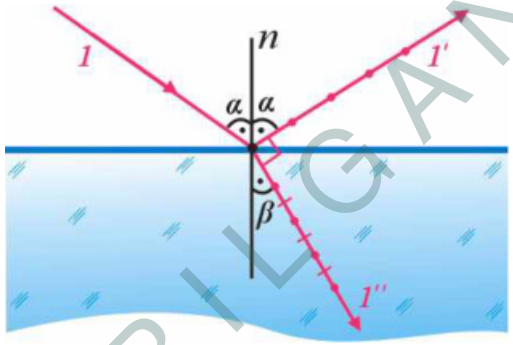
SINOV UCHUN BERILGAN

Agar yorug‘lik tarkibida biror yo‘nalishdagi tebranishlar boshqa yo‘nalishdagi tebranishlarga qaraganda ko‘proq bo‘lsa, bunday yorug‘lik qisman qutblangan yorug‘lik deyiladi (15.3-b, rasm).

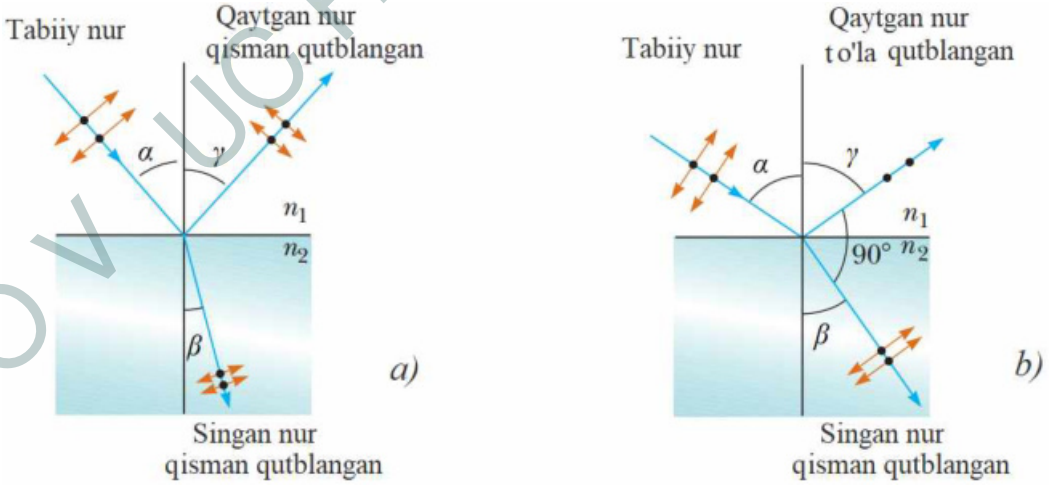
Qisman qutblangan yorug‘lik – tabiiy va yassi qutblangan yorug‘liklarning aralashmasidir.

Yorug‘likning qaytishda va sinishda qutblanishi:

Tabiiy yorug‘lik nuri vakuumdan dielektrik, shaffof muhitga tushayotgan bo‘lsin. Bu nur qisman qaytadi (1′) va qisman sinadi (1″). Tajribalar 1′ va 1″ nurlar qisman qutblangan ekanligini ko‘rsatadi. Lekin, 1′ va 1″ nurlar o‘zaro perpendikulyar bo‘lganda qaytgan nur 1′ to‘la qutblangan bo‘lib, uning tebranishlari tushish tekisligiga perpendikulyar bo‘lgan tekislikda sodir bo‘ladi (bu tebranishlar nuqtalar bilan tasvirlangan). Singan nur 1″ esa qisman qutblangan bo‘ladi (bu tebranishlar nuqtalar va kesmachalar bilan tasvirlangan). Tushish burchagi $\alpha=0^0$ yoki $\alpha=90^0$ bo‘lganda qaytgan nur umuman qutblanmaydi. Tushish burchagi $0^0 < \alpha < 90^0$ oraliqda bo‘lganda qaytgan nur qisman qutblangan bo‘ladi. Tushish burchagi $\alpha=90^0$ bo‘lganda esa qaytgan nur to‘la qutblangan, singan nur esa qisman qutblangan bo‘ladi (15.5-rasm).



15.4-rasm



15.5-rasm

Yorug‘lik shaffof sirtga shunday burchak ostida tushsinki, natijada singan nur va qaytgan nurlar o‘zaro perpendikulyar bo‘lib qolsin. Bunday tushish burchagiga ***Bryuster burchagi*** deyiladi. Bryuster burchagini aniqlaylik. Singan va qaytgan nurlar o‘zaro perpendikulyarligidan $\alpha+\beta=\frac{\pi}{2}$ deyish mumkin. Bundan $\beta=\frac{\pi}{2}-\alpha$ bo‘ladi (15.4-rasm). Yorug‘likning sinish qonunidan

SINOV UCHUN BERILGAN

$$n = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{\sin\alpha}{\sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)} = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = tg\alpha$$

hosil bo‘ladi. Bundan tushish burchagi

$$\alpha = \alpha_{Bryus} = arctg\, n$$

kelib chiqadi.

Bryuster burchagi quyidagicha bo‘ladi:

$$\alpha_{Bryus} = arctg\, n \qquad (15.1)$$

Masalan, $n=1,53$ bo‘lgan shisha uchun Bryuster burchagi 56^0 ga yaqin. Boshqacha aytganda, tabiiy yorug‘lik nuri shisha sirtiga 56^0 burchak ostida tushsa, tushish tekisligiga perpendikulyar yo‘nalishda qaytgan nur to‘la qutblanadi, singan nur esa qisman qutblanadi. Buning sababini quyidagicha izohlaymiz:

Tushayotgan yorug‘lik to‘lqinining elektr maydoni ta’sirida dielektrik tarkibidagi elektronlar tebranma harakatga keladi. Tebranuvchi elektronlar o‘z navbatida ikkilamchi kogerent to‘lqinlarni nurlantiradi. Ikkilamchi to‘lqinlar birlamchi to‘lqinlar bilan o‘zaro kogerentdir. Bu to‘lqinlarning o‘zaro interferensiyalashishi natijasida qaytgan va singan nurlar yo‘nalishidan tashqari barcha yo‘nalishlarda tebranishlar so‘nadi.

Singan nurning qisman qutblanishini quyidagicha tushuntiriladi:

Tabiiy nurda barcha yo‘nalishdagi tebranishlar teng ehtimolli. Tushayotgan tabiiy nurning energiyasi qaytgan va singan nurlar orasida taqsimlanganligi uchun, energiyaning saqlanish qonuniga asosan, qaytgan nurda biror yo‘nalishdagi tebranishlar ko‘proq bo‘lsa, singan nurda shu yo‘nalishdagi tebranishlar kamroq bo‘lishi kerak. Shuning uchun, qaytgan nur to‘liq qutblanganda singan nur qisman qutblanadi.

Turmalin kristali bilan qilingan tajribalar, Malyus qonuni:

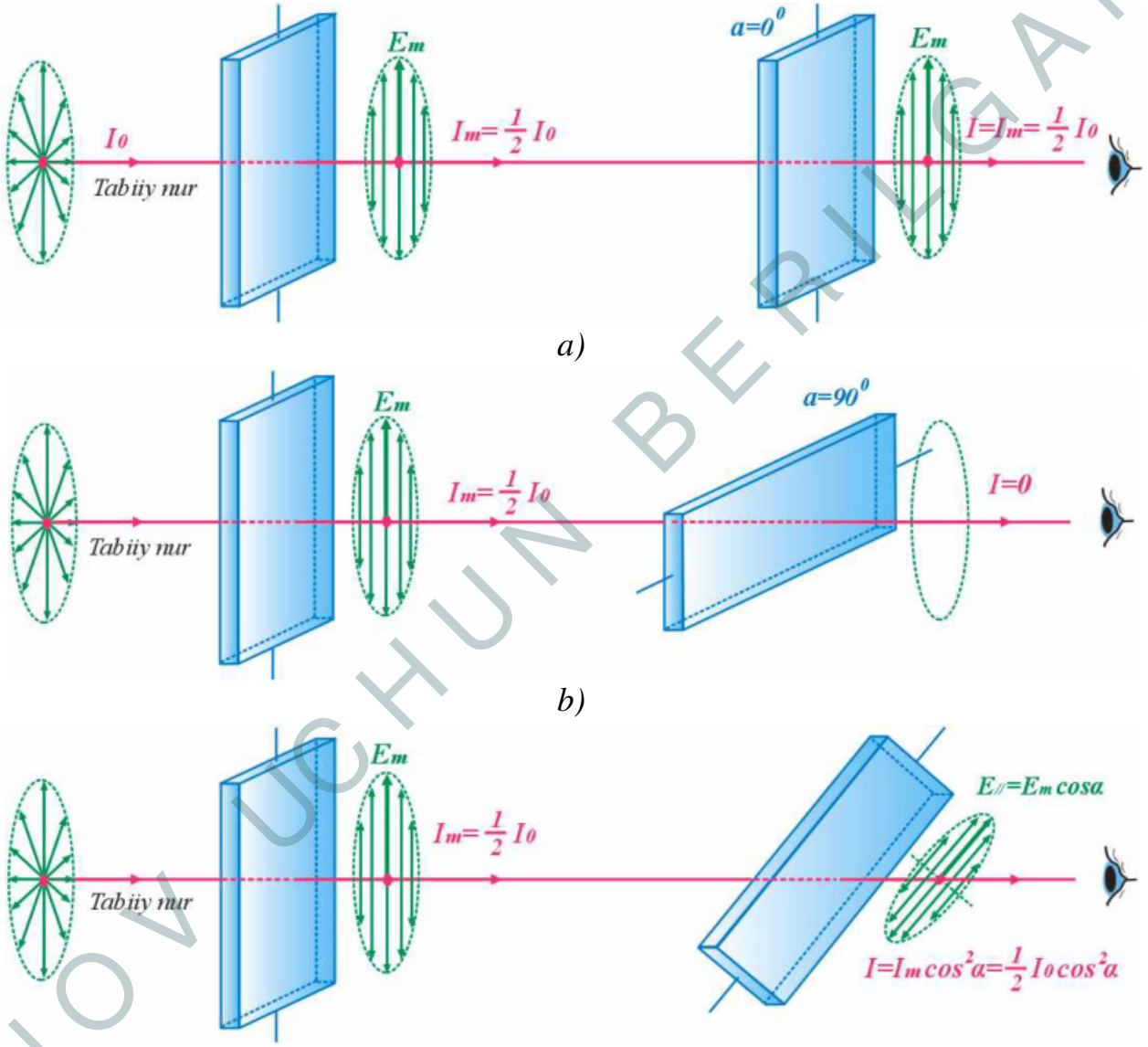
Tabiiy yorug‘likdan qutblangan yorug‘lik olish uchun foydalaniladigan qurilma ***polyarizatorlar*** deyiladi. Polyarizatorlar yordamida olinadigan qutblangan yorug‘lik to‘lqinining $\vec{E}$ vektori aniq bir tekislikda tebranadigan bo‘ladi. Polyarizatorlar vazifasini turmalin kristali, yupqa sellyuloid plyonkasi, ispan shpati $(CaCO_3)$ dan tayyorlangan prizmalar bajarishi mumkin.

Polyarizatorlardan faqat qutblangan yorug‘lik olish maqsadida emas, balki nurning qutblangan yoki qutblanmaganligini aniqlash, qutblangan nurning tebranish tekisligini aniqlash uchun ham foydalaniladi. Shunday maqsadda ishlatiladigan polyarizatorlarga analizator deyiladi.

Polyarizator vazifasini o‘tayotgan turmalin plastinkaga perpendikulyar ravishda tabiiy nur tushayotgan bo‘lsin. Polyarizatordan o‘tgan nur yassi qutblangan, uning tebranishlari polyarizatorning optik o‘qiga parallel yo‘nalishda sodir bo‘ladi. Bu yassi qutblangan nur yo‘liga ikkinchi turmalin plastinka

SINOV UCHUN BERILGAN

joylashtiraylik. U analizator (A) vazifasini bajaradi. Tajribalarning ko‘rsatishicha (P) va (A) larning optik o‘qlari parallel bo‘lsa (15.6-a,rasm), (P) dan o‘tgan yorug‘likni (A) to‘liq o‘tkazadi, ya’ni $I=I_m$ bo‘ladi. Ikkalal plastinka (P) va (A) o‘zaro perpendikulyar bo‘lsa, (A) dan yorug‘lik tamoman o‘tmaydi (15.6-b,rasm), ya’ni $I=0$ bo‘ladi. Oraliq vaziyatlarda esa, ya’ni $0<\alpha<\frac{\pi}{2}$ bo‘lganda, (A) dan o‘tayotgan yorug‘lik $0<I<I_m$ intervalda o‘zgaradi (15.6-c,rasm).



15.6-rasm

Oxirgi holni batafsil qaraylik. (P) dan o‘tgan yorug‘lik to‘lqini $\dot{E}$ vektorining amplituda qiymati E_m bo‘ladi. $\dot{E}_m$ vektorini ikki tashkil etuvchiga shunday ajrataylikki, birinchi tashkil etuvchi $E_{//}$ (A) ning optik o‘qiga parallel, ikkinchi tashkil etuvchi $E_{\perp}$ esa unga perpendikulyar bo‘lsin. Analizator (A) o‘zi orqali $E_{//}=E_m\cos\alpha$ bo‘lgan to‘lqinni o‘tkazib, $E_{\perp}=E_m\sin\alpha$ to‘lqinni esa butunlay yutadi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Yorug‘lik intensivligi $\vec{E}$ ning amplituda kvadratiga proporsional, ya’ni $I \sim E_m^2$ bo‘lgani uchun (A) dan o‘tgan yorug‘lik to‘lqini intensivligi quyidagicha:

$$I = I_m \cos^2 \alpha \qquad (15.2)$$

Bu ifodaga Malyus qonuni deyiladi.

Malyus qonuni: ***Analizatordan o‘tgan yorug‘lik intensivligi analizator va polyarizatorlarning optik o‘qlari orasidagi burchak kosinusining kvadratiga proporsionaldir.***

Agar polyarizatorga tushayotgan yorug‘lik intensivligi I_0 bo‘lsa, polyarizator va analizatordan o‘tgan yorug‘lik intensivliklari quyidagicha:

$$I_P = \frac{1}{2} I_0, \qquad I_A = I_P \cos^2 \alpha = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \alpha \qquad (15.3)$$

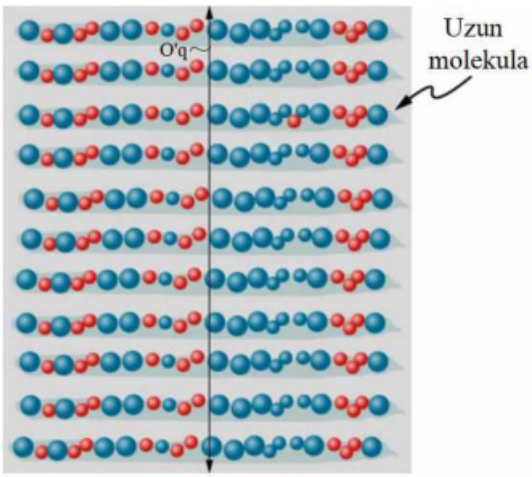
Agar polyarizatorga tushayotgan yorug‘lik intensivligi I_0 bo‘lsa, polyarizator va analizatorda yutilgan yorug‘lik nurlari quyidagicha:

$$\Delta I_P = \frac{1}{2} I_0, \qquad \Delta I_A = I_P \sin^2 \alpha = \frac{1}{2} I_0 \sin^2 \alpha \qquad (15.4)$$

Shunday qilib, polyarizatordan o‘tgan tabiiy nur intensivligi burchakka brg‘liq bo‘lmagan holda ikki marta kamaysa, analizatordan o‘tganda esa burchakka bog‘liq holda yana kamayar ekan.

Poyarizatorlarning molekulyar tuzilishi:

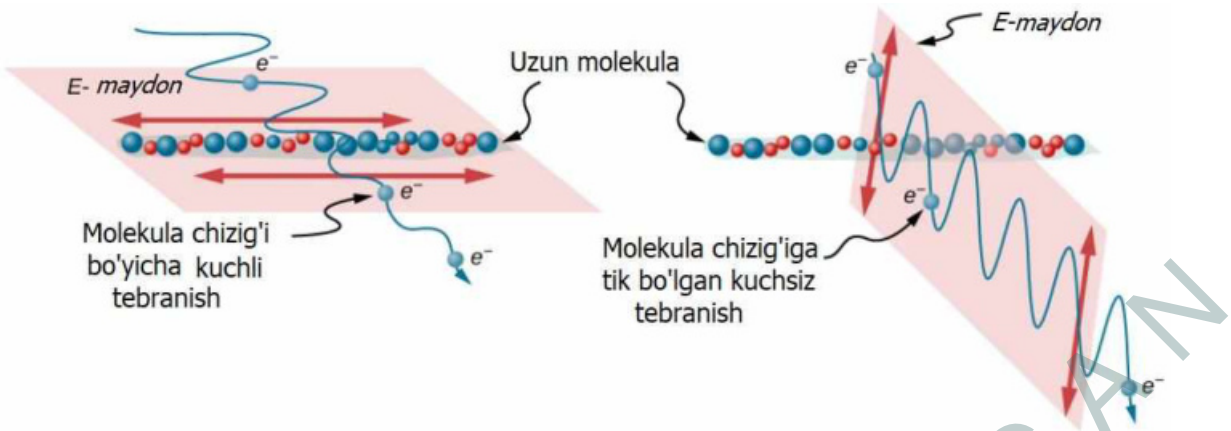
Qutblash filtrlari (polyarizatorlar) o‘zini xuddi panjaralar kabi tutadigan o‘qga ega bo‘lib, elektromagnit to‘lqinlarning (asosan yorug‘likning) shu o‘qga parallel bo‘lgan tashkil etuvchisi polyarizatorlardan o‘ta oladi. Buni sababi polyarizatorlarning molekulyar tuzulishi bilan bog‘liqdir. Polyarizatorlar uzun molekulalardan iborat bo‘lib, bu uzun molekulalar polyarizator o‘qiga perpendikulyar holda joylashadi (15.7-rasm). Elektromagnit to‘lqinlarning polyarizator o‘qiga parallel tashkil etuvchisining o‘tishi molekula yo‘nalishidagi tebranishlarni yutishi deganidir.



15.7-rasm

15.8-rasmda polyarizator o‘qining paydo bo‘lishini tushuntirib beradi. Elektromagnit to‘lqin moddaga kelib tushganda moddadagi elektronlarni tebratadi va bu tebranishlar ikkilamchi elektromagnit to‘lqin tebranishlari paydo bo‘ladi. Bu tebranishlarning uzun molekulalarga parallel tashkil etuvchilari sust tebranadi (15.8-a,rasm). Bunga sabab elektronlarning bu yo‘nalishdagi tebranishlariga

SINOV UCHUN BERILGAN



15.8-rasm

molekulalarning uzun ekani xalaqit beradi. Uzun molekulalar chizig‘iga perpendikulyar yo‘nalishdagi esa elektronlarning tebranishlari yaxshi ke‘chadi (15.8-b,rasm). Chunki bu yo‘nalishda xalaqit beruvchi uzun molekulalar yo‘qdir. Mana shu tufayli polyarizatorlarda molekulalar chizig‘iga perpendikulyar ravishda o‘q paydo bo‘ladi.

Mavzu yuzasidan savollar

1. *Tebranish va qutblanish tekisliklarining nima ekanligini aytib bering.*
2. *To‘la va qisman qutblangan yorug‘liklarga ta’rif bering.*
3. *Yorug‘lik ikki muhit chegarasida sinishda va qaytishda qutblangan bo‘ladimi?*
4. *Bryuster burchagi nima? Qaytgan va singan nurlar o‘zaro perpendikulyar bo‘lganda nima hodisa ro‘y beradi? Bunda ularning tebranish tekisligi qanday bo‘ladi?*
5. *Malyus qonunini ta’riflang. Malyus qonunining matematif ifodasini yozib bering.*
6. *Polyarizatordan va anlizatordan o‘tgan yorug‘lik intensivliklari necha marta kamayadi?*
7. *Elektr yoy alangasi suv ichida yondirilsa, u ko‘zga zarar qilmaydi. Nima uchun?*
8. *Quyosh nuri bilan yoritiladigan, derazasi berk bo‘lgan xonada quyoshdan qorayish mumkinmi?*

Masala yechish:

1. *Havodan sindirish ko‘rsatkichi* $n = \sqrt{3}$ *bo‘lgan muhitga nur tushganda, qaytgan nur bilan singan nur orasidagi burchak 90° ga teng bo‘ldi. Nurning tushish burchagi qanday?*

A) 0° B) 30° C) 45° D) 60°

Berilgan:	*Yechilishi:*
$n_1 = 1$ $n_2 = \sqrt{3}$ $\gamma + \varphi = 90^0$	*Yorug‘likning qaytish qonunidan tushish burchagi qaytish burchagiga teng* ($\alpha_0 = \alpha$) *ekanligini etiborga olsak* $\alpha_0 + \beta + \gamma + \varphi = 180^0$ *bundan berilgan shartga ko‘ra* $\alpha_0 + \beta = 90^0$
$\alpha = ?$	*Yorug‘likning sinish qonunidan*

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\frac{sin\alpha}{sin\beta}=\frac{sin\alpha}{sin(90-\alpha')}=\frac{sin\alpha}{cos\alpha'}=tg\alpha=\frac{n_2}{n_1}$$

bu ifodadan tushish burchagini aniqlaymiz. $\alpha = arctg(\frac{n_2}{n_1})=60^0$

Javob: *D) 60°.*

2. *Yorug‘lik nuri suyuqlikdan vakuumga o‘tmogda. Tushish burchagi 30°. qaytgan va singan nurlar bir-biriga tik. Bu suyuqlikning sindirish ko‘rsatkichi qanday?*

Berilgan:

$n_2=1$

$\varphi + \Upsilon = 90^0$

$\alpha=30^0$

$n_1=?$

Yechilishi:

$\Upsilon + \varphi = 90^0$ *bunda* Υ *qaytgan nurning ikki muhit chegarasi bilan hosil qilgan burchagi,* φ*-singan nurni ikki muhit chegarasi bilan hosil qilgan burchagi bo‘lganligi uchun* $\alpha + \beta = 90^0$ *ifodaga ega bo‘lamiz. Sinish qonunidagi sinish burchagini hosil bo‘lgan ifoda orqali ifodalasak*

$$\frac{sin\alpha}{sin\beta}=\frac{sin\alpha}{sin(90-\alpha')}=\frac{sin\alpha}{cos\alpha'}=tg\alpha=\frac{n_2}{n_1}$$

bu ifodadan birinchi muhitning nur sindirish ko‘rsatkichi n_1 *ni aniqlaymiz.*

$$n_1=\frac{n_2}{tg\alpha}=\frac{3}{\sqrt{3}}=\sqrt{3}$$

Javob: *1,73*

III BOBGA DOIR LABORATORIYA ISHLARI

Laboratoriya ishi: № 4.

Difraksion panjara yordamida yorug'lik to'lqin uzunligini aniqlash.

Ishning maqsadi: Yorug'lik spektrining qizil rangli nurga to'gri keluvchi to'lqin uzunligini o'lchash. Tajribada difraksion manzarada lazer nuring og'ish burchagini aniqlash.

Kerakli asbob va jihozlar: Shisha prizma, to'g'nag'ich ignalari, karton qog'oz 1 varaq karton qog'oz o'lchov chizg'ichi.

NAZARIY QISM

Difraksion panjara, lazer nur manbasi, chizg'ich, o'lchamli ekran.

Yo'l farqi $\Delta d = d_2 - d_\lambda = 2k\frac{\lambda}{2}$ ga teng bo'lganda to'lqinlarni bir-birini kuchaytirishi va yo'l farqi

$\Delta d = d_2 - d_1 = \frac{(2k+1)}{2}$ to'lqinlar bir-birini susaytirishi kuzatiladi. Yo'l farqi difraksion panjara davri bilan quyidagicha bog'lanadi.

$$\Delta d = d.\sin\alpha$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Shunga ko’ra difraksion maksimumlik sharti

$$d\sin\alpha = k\lambda, \quad k = 0; \pm 1; \pm 2; \pm 3 \ldots\ldots$$

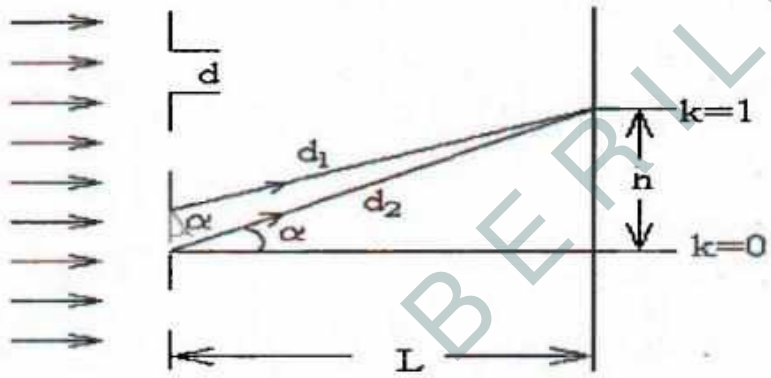
Difraksion panjaraning parametrlari orqali $\sin\alpha = \frac{h}{L}$ bo’ladi va to’lqin uzunligi

$$d\frac{h}{L} = k\text{-}\lambda \cdot \lambda = d\frac{h}{kL}$$

ga teng.

Mazkur ishda difraksion panjara davri d= 0,005 mm

Ishni bajarish tartibi.



1. Qizil rangli lazer qurilmasini difraksion panjara ro’parasiga o’rnating.
2. Ekran va panjaraning biror vaziyatida lazerni yoqib interferension maksimumlarini hosil qiling.
3. Panjaradan ekrangacha masofani hamda markaziy maksimumdan birinchi maksimumgacha bo’lgan masofani o’lchab natijani o’lchab oling.
4. Ekran bilan panjara orasidagi masofaning turli qiymatida tajribani takrorlang.
5. O’lchash natijalarini birinchi ikkinchi maksimum uchun olib ushbu jadvalga yozing. *K=lk=2*

1-jadbal

№	*h(m)*	*him*	*L(m)*	$\lambda_1 \cdot 10^{-7}m$	$\lambda_1 \cdot 10^{-7}m$	$\Delta\lambda_1 \cdot 10^{-7}m$	$\Delta\lambda_1 \cdot 10^{-7}m$	$\Delta\lambda 10^{-7}m$	$\varepsilon = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot 100\%$
1									
2									
3									

Nazorat uchun savollar

1. Absalyut nur sindirish ko‘rsatkichi deb nimaga aytiladi?
2. Nisbiy nur sindirish ko‘rsatkichi deb nimaga aytiladi?
3. Yorug‘likning sinish qonunini aytib bering.

SINOV UCHUN BERILGAN

4. To‘la ichki qaytish hodisasini aytib bering.
5. To‘la ichki qaytishning chegaraviy qiymati qanday aniqlanadi?

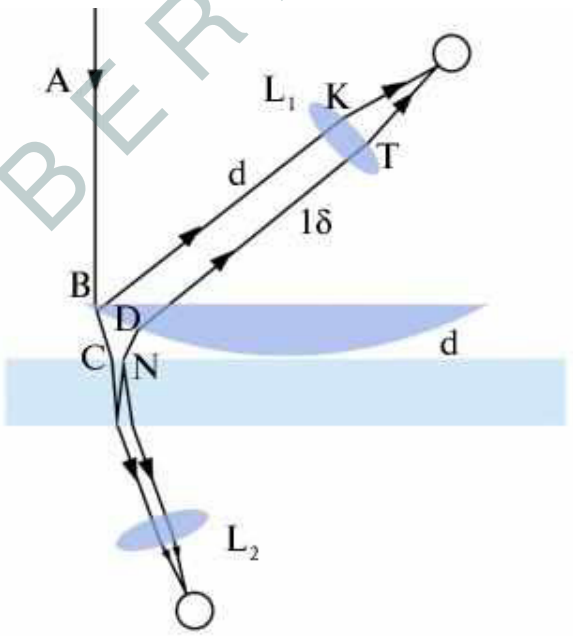
Laboratoriya ishi: № 5.
Linzaning egrilik radiusini Nyuton xalqalari yordamida aniqlash.

Ishning maqsadi: yorug‘lik manbai, qisqa fokusli linza, yassi qavariq linza, yassi parallel plastinka, yorug‘lik filtri, fokuslovchi linza, ekran, shtangensirkul.

Kerakli asbob va jihozlar: ishning birinchi qismida yupqa qatlamlarda kuzatiladigan interferension manzarani kuzatish, ma’lum to‘lqin uzunligida yassi qavariq linzaning egrilik radiusini aniqlash.

NAZARIY QISM

Yassi qavariq linzani yassi parallel plastinkaning yuqori qismiga joylashtirganimizda, ularning oralig‘ida havo qatlami hosil bo‘ladi. n_l - linzaning sindirish ko‘rsatkichi, n_h - havoning sindirish ko‘rsatkichi, n_{sh} - shisha plastinkaning sindirish ko‘rsatkichi. Agarda yassi linzaga parallel to‘lqinlar dastasi tushsa, qisman qaytadi, qisman undan sinib havo qatlamida o‘tib, shisha plastinkadan qisman qaytadi va qisman undan sinib o‘tadi. 1 - rasmda shartli ravishda to‘lqinlarning yo‘nalishi ko‘rsatilgan.



Chizmada birinchi to‘lqin shisha qatlamida *BC* yo‘lni o‘tganda. Ikkinchi to‘lqin *ND+DC* yo‘lni o‘tadi.

Natijada fazalar farqi vujudga keladi. Yassi qavariq linzaning egrilik radiusi katta bo‘lganligi tufayli juda kichik masofada bir xil qalinlikdagi havo qatlami deb hisoblash mumkin. Natijada yupqa qatlamda hosil bo‘ladigan interferension manzara kuzatiladi. U vaqtda yorug‘lik to‘lqinlari shisha plastinkadan havoga o‘tganligi tufayli elektr maydon kuchlanganligi vektorining fazasi o‘zgarmaydi.

$$R = \frac{(r_{m+1} - r_m) \times (r_{m+1} + r_m)}{\lambda}$$

Ishni bajarish tartibi.

1. Yorug‘lik manbai elektr tarmog‘iga ulanib, kondensorlar, Nyuton qurilmasi, filtr bitta o‘qqa joylashtiriladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

2. Ekranda rangli konsentrik halqalar hosil bo‘lgani qadar K_2 - kondensorni optik taglik bo‘yicha chapga yoki o‘ngga suriladi. Aniq kuzatilmasa K_1 – kondensorni ham optik taglik bo‘yicha so‘rish kerak.

3.Ekranda konsentrik halqalar hosil bo‘lgandan so‘ng, to‘lqin uzunligi ma’lum filtr quyiladi va ekranda sodir bo‘lgan rangli aylanalarning diametrlarini shtangenserkul yordamida o‘lchab olinadi. Ko‘p qo‘shni aylanalarning diametrlari o‘lchansa yaxshi bo‘ladi.

4. Olingan natijalar asosida va ifodadan foydalanib yassi qavariq linzaning egrilik radiusi aniqlanadi. Uning o‘rtacha qiymati va o‘rtacha kvadratik xatoliklari topilsin.

5. Bir nechta filtrlarni qo‘yib, hammasi uchun ko‘ringan konsentrik aylanalarning diametrlari shtangenserkul yordamida o‘lchanadi.

1-jadval

№	r_m, cm	r_{m+1}, cm	R, cm	$\bar{R}$, cm	ΔR, cm	$\Delta\bar{R}$, cm	ε, %
1							
2							
3							

Nazorat uchun savollar

1. Nyuton xalqalari deb nimaga aytiladi?
2. Nyuton xalqalari qaysi hodisa tufayli sodir bo‘ladi?
3. Linzaga tushayotgan monoxromatik to‘lqin uzunligi ortganda xalqa radiuslari qanday o‘zgaradi? Kamayganda-chi?
4. Linzaning egrilik radiusi ortganda xalqa radiuslari qanday o‘zgaradi? Kamayganda-chi?

Laboratoriya ishi: № 6.
Yorug‘likning qutblanishini o‘rganish.

Ishning maqsadi: yorug‘lik manbai, qutblantirgich, analizator, fotoelement, mikroampermetr.

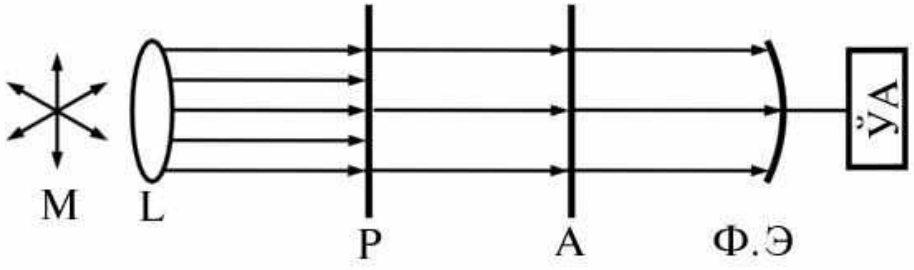
Kerakli asbob va jihozlar: yorug‘lik to‘lqinining qutblanishi, qutblanish darajsi, yorug‘lik energiyasini elektr energiyaga aylntirish va kuchsiz elektr toklarini qayd qilish ususli bilan tanishish.

NAZARIY QISM

Ko‘pchilik yorug‘lik manbaalari o‘zlaridan qutblanmagan to‘lqin tarqatadi. Ularda elektr maydon kuchlanganlik vektorlarining yo‘nalishi ixtiyoriy, yoki betartib yo‘nalgan bo‘ladi. Qutblanmagan yorug‘lik to‘lqinlaridan qutblangan

SINOV UCHUN BERILGAN

to‘lqin hosil qilish usulllar: ikki muhit chegarasidan qaytganda, o‘tganda va singanda.



1 -rasm

Laboratoriya ishida 1-rasmda keltirilgan chizma asosida yig‘ilgan qurilmadan foydalanamiz. Linza fokusida joylashgan *M* manbadan tarqaluvchi to‘lqinlar qutblantirgich *R* va *A* analizatordan o‘tib *FE* fotoelementga tushadi. Fotoelement yorug‘lik energiyasini elektr signaliga aylantiradi va uni o‘lchash asbobi A (izmeritelnыy pribor) yordamida qayd qilinadi. Qutblantirgichga tushayotgan to‘lqin intensivligi

$$I_0 = E_0^2 \times < \cos^2 \omega t >$$

Qutblantirgichdan o‘tgan to‘lqin intensivligi

$$I = \left(\frac{1}{2}\right) \times I_0 = E_0^2 \times < \cos^2 \omega t > \qquad (1)$$

$< \cos^2 \omega t >$ vaqt bo‘yicha o‘rtacha qiymati 1/2 ga teng. Shunday qilib, qutblantirgichdan tushayotgan to‘lqin intensivligining yarmi o‘tadi. Agarda analizatorning optik o‘qi va qutblantirgichning optik o‘qi bir-biriga parallel bo‘lsa qutblantirgichdan o‘tgan to‘lqinlarning barchasi analizatordan o‘tadi, ya’ni $I_2 = I_1$ bo‘ladi. Agarda qutblantirgich va analizator o‘qlari bir-biriga nisbatan burchak hosil qilsa, u vaqtda bu sistemalardan o‘tgan to‘lqin intensivligi

$$I_2 = I_1 \times \cos^2 \alpha \qquad (2)$$

ifoda bilan aniqlanadi.

(1) ifodani e’tiborga olsak, u holda analizatordan o‘tgan to‘lqin intensivligini umumiy holda

$$I = \left(\frac{1}{2}\right) \times I_0 \times \cos^2 \alpha \qquad (3)$$

ifoda bilan aniqlash mumkin.

(3) ifodani ***Malyus qonuni*** deyiladi.

Laboratoriya ishining asosiy maqsadi tabiiy yorug‘likning qutblanish darajasi R ni aniqlash va Malyus qonunini tekshirish dan iborat.

Ishni bajarish tartibi.

1. Yorug‘lik manbai elektr tarmog‘iga ulanib 2-3 minut qizdiriladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

2. Qutlantirgich va analizatorni bitta o‘q bo‘yicha yorug‘lik to‘lqin yo‘liga joylashtiriladi.

3. Kremniyli fotoelementni shunday joylashtirish kerakki, unga ulangan mikroampermetr eng katta ko‘rsatgichga erishsin.

4. Analizatorni qutblantirichga nisbatan aylantirib mikro ampermetr ko‘rsatkichidan tokning minimal va maksimal qiymatlarini 4-5 marta qayd qilish kerak.

5. Analizatorni qutblantirgichga nisbatan 5^0 – 10^0 burib mikro ampermetrning ko‘rsatkichi yozib olinadi.

6. Analizatorni 360^0 qadar 5-10 qadam bilan aylantirib, fototoklar kattaligi yozib olinadi.

7. Beshinchi va oltinchi punktdagi ishlar 4-5 marta takrorlanadi.

8. Ikkinchi ifoda yordamida qutblanish darajasining o‘rta qiymati va xatoliklari topiladi.

9. Olingan natijalarning o‘rtacha qiymatlari va jadvaldan foydalanib Malyus qonuni tekshiriladi va grafigi chiziladi.

1-jadval

№	φ	I, W/m^2	$\bar{I}$, W/m^2	ΔI, W/m^2	$\Delta\bar{I}$, W/m^2	ε, %
1						
2						
3						

Nazorat uchun savollar

1. Qutblanish deb nimaga aytiladi?
2. Qutblanish hodisasida enrgiyaning saqlanishi bajariladimi?
3. Malyus qonunini aytib bering.
4. Polyarizator va analizator orasidagi burchak 450, 600 va 900 bo‘lgan hollarda analizatordan o‘tgan nur intensivligi polyarizatorga tushayotgan tabiiy nur intensivligidan necha marta kamayadi?
5. Yorug‘lik shaffof muhit chegarasiga tushganda qaytgan va singan nurlar haqida nima deyish mumkin (qutblanmagan, qisman qutblangan, to‘la qutblangan)?
6. Bryuster qonuni qachon bajariladi?

III BOBGA DOIR TESTLAR

1. Muhit sindirish ko‘rsatkichinmg tushayotgan yorug‘lik chastotasiga bog‘liqligi ... deb ataladi.

A) interferensiya B) dispersiya C) qutblanish D) fotoeffekt E) difraksiya

2. Yorug‘lik dispersiyasiga berilgan quyidagi ta’riflaming qaysilari mutlaq noto‘g‘ri:

SINOV UCHUN BERILGAN

l) muhitning sindirish ko‘rsatkichi tushuvchi yorug‘lik to‘lqinlari uzunliklariga bog‘liq bo‘lishi …
2) muhitning sindirish ko‘rsatkichi yorug‘likning muhitda tarqalish tezlijgiga bog‘liq bo‘lishi ...;
3) muhit sindirish ko‘rsatkichining yorug‘likning rangiga bog‘liq bo‘lishi ...;
4) muhit sinairish ko‘rsatkichinmg yorug‘lik chastotasiga bog‘liq bo‘lishi ...;
5) muhitning sindi rish ko‘rsatkichi tushuvchi yorug‘likning to‘lqin uzunligi yoki chastotasiga bog liq bo‘lishi ...
yorug‘lik dispersiyasi deb ataladi?
A) 1, 5 B) 1, 5, 2 C) 3, 4 D) 2, 3 E) TJY

3. Qizil, yashil, binafsha nurlardan qaysi biri bir jinsli tiniq muhitda eng katta tezlik bilan tarqaladi?
A) hamma nurlarning tezliklari bir xil B) yashil C) qizil
D) binafsha E) qizil va binafsha

4. Shaffof muhitda tarqalayotgan ko‘zga ko‘rinuvchi yorug‘lik to‘lqinlaridan qaysi birining tezligi eng katta bo ladi?
A) binafsha B) qizil C) ko‘k D) yashil E) sariq

5. Spektrning ko‘zga ko‘rinadigan qismidagi qaysi nurning chastotasi eng katta?
A) qizil B) yashil C) binafsha D) sariq E) ko‘k

6. Yorug‘likning rangi uning qaysi parametriga bog‘liq?
A) to‘lqin uzunligi va amplitudasi B) tezlik C) chastota D) amplitude E) TJY

7. Oq qog‘ozga qizil harflar bilan matn yozilgan. Agar zangori shisha orqali qaralsa, harflar qanday rangli tuyuladi?
A) qizil B) yashil C) ko‘k D) qora E) pushti

8. Qizil buyum zangori nur bilan yoritilsa, u qaysi rangda ko‘rinadi?
A) yashil B) qora C) binafsha D) sariq E) ko‘k

9. Sindirish ko‘rsatkichi 1,5 ga teng bo‘lgan muhitdagi elektromagnit to‘lqinlarning tezligini aniqlang (m/s).
A) $2\cdot10^8$ B) $1{,}5\cdot10^7$ C) $1{,}5\cdot10^8$ D) $5\cdot10^7$ E) $6{,}7\cdot10^7$

10. Monoxromatik yorug‘lik bir muhitdan ikkinchi muhitga o‘tganda, to‘lqin uzunligi 2 marta kamaygan bo‘lsa, uning tarqalish tezligi qanday o‘zgargan?
A) 2 marta kamaygan. B) $\sqrt{2}$ marta kamaygan. C) $\sqrt{2}$ marta oshgan.
D) 2 marta oshgan. E) o‘zgarmagan.

SINOV UCHUN BERILGAN

11. Agar bir jinsli muhitda tarqalayotgan elektromagnit to‘lqin chastotasi 10^{15}Hz, to‘lqin uzunligi 225nm bo‘lsa, muhitning sindirish ko rsatkichi qanday?

A) 1,33 B) 1,5 C) 1,7 D) 2 E) 2,5

12. Suvning sindirish ko‘rsatkichi $n_1=1,33$, skipidarniki $n_2=1,49$. Shu moddalardan yorug‘lik nuri bir xil vaqtda o‘tadigan masofalar nisbati qanday?

A) 1,22 B) 1,21 C) 1,20 D) 1,12 E) TJY

13. Ko‘rinuvchi yorug‘lik to‘lqinining chastotasi $4\cdot10^{14}$– $7,5\cdot10^{14}$ *Hz* oraliqda yotadi. Shu to‘lqinlarning uzunligi qanday oraliqda yotadi (nm).

A) 400-700 B) 450-700 C) 500-700 D) 400-750 E) 400-800

14. Monoxromatik yorug‘lik uch muhitdan ketma-ket o‘tganda uning shu muhitlardagi to‘lqin uzunligi $\lambda_1=550nm$, $\lambda_2=550,1\ nm$ va $\lambda_3=549,5\ nm$ bo‘ldi. Bu muhitlarning sindirish ko‘rsatkichlari uchun quyidagi munosabatlardan qaysi biri o‘rinli?

A) $n_1 > n_2 > n_3$ *B)* $n_3 > n_1 > n_2$ C) $n_1 < n_2 < n_3$

D) $n_1 = n_2 = n_3$ E) $n_2 > n_3 > n_1$

15. Yorug‘lik birinchi muhitdan ikkinchi muhitga α_1 burchak ostida tushadi. Sinish burchagi α_2. Birinchi muhitda yorug‘likning to‘lqin uzunligi λ_1 bo‘lsa, ikkinchi muhitdagi to‘lqin uzunligi λ_2 qanday bo‘ladi?

A) $\lambda_2 = \lambda_1 sin\frac{\alpha_1}{\alpha_2}$ B) $\lambda_2 = \lambda_1 tg\frac{\alpha_1}{\alpha_2}$. C) $\lambda_2 = \lambda_1\frac{\sin\alpha_2}{sin\alpha_1}$.

D) $\lambda_2 = \lambda_1\frac{\sin\alpha_1}{sin\alpha_2}$ E) $\lambda_2 = \lambda_1\frac{\mathrm{tg}\alpha_2}{tg\alpha_1}$

16. To‘lqinlar interferensiyasi deb qanday hodisaga aytiladi?

A) o‘lchamlari to‘lqin uzunligi tartibida bo‘lgan to‘siq yoki tirqishga tushgan to‘lqinlarning to‘silgan sohaga og‘ib tarqalish hodisasi.

B) to‘lqinlarning fazoning muayyan nuqtalarida natijaviy tebranishlar amplitudalarining vaqt o‘tishi bilan o‘zgarmaydioan taqsimlanishini yuzaga keltirib qo‘shilish hodisasi.

C) to‘siqqa uchragan to‘lqinlarning to‘siqdan biror burchak ostida orqaga qaytib tarqalish hodisasi

D) ikki to‘lqinning qo‘shilishi natijasida natijaviy tebranishlar amplitudasining keskin ortib yoki kamayib ketish hodisasi.

E) TJY.

17. To‘lqinlar interferensiyasi qachon kuzatiladi?

A) chastotalari va fazalar farqi har xil bo‘lgan to‘lqinlar qo‘shilganda.

SINOV UCHUN BERILGAN

B) chastotalari bir xil va fazalar farqi o‘zgaruvchan bo‘lgan to‘lqinlar qo‘shilganda.

C) chastotalari har xil va fazalar farqi o‘zgarmas bo‘lgan to‘lqinlar qo‘shilganda.

D) chastotalari va fazalar farqi o‘zgarmas bo‘lgan to‘lqinlar qo‘ shilganda.

E) chastotalari bir xil va fazalar farqi o‘zgarmas bo‘lgan to‘lqinlar qo‘shilganda

18. Interferensiyalanuvchi ikki to‘lqinning yo‘llar farqi $\frac{\lambda}{8}$ bo‘lganda to‘lqinlarning fazalar farqi qanday bo‘ladi?

A) $\frac{\pi}{2}$ B) $\frac{\pi}{3}$ C) $\frac{\pi}{4}$ D) $\frac{\pi}{6}$ E) π

19. Qanday to‘lqinlar kogerent to‘lqinlar deyiladi?

A) bir xil chastotali B) bir xil amplitudali

C) tebranishlari garmonik bo‘lgan

D) to‘lqin uzunliklari bir xil va fazalar farqi o‘zgarmas

E) to‘lqin uzunliklari bir xil

20. Bir xil A amplitudaga ega bo‘lgan ikkita kogerent to‘lqinlar orasidagi yo‘l farqi toq yarim to‘lqin uzunligiga teng bo‘lganda, ularning qo‘shilishidan hosil bo‘ladigan natijaviy tebranish amplitudasi qanday bo‘ladi?

A) 0 B) $\frac{a}{2}$ C) a D) $2a$ E) a^2

21. Quyidagi iavoblarning qaysi birida faqat fizik hodisalar sanab o‘tilgan?

A) yorug‘lik interferensiyasi, elektromagnit to‘lqinlar dispersiyasi, qutblanish.

B) nurlanish oqimining zichligi, difraksiyasi, qutblanish.

C) difraksiya, difraksion panjarat

D) yig‘uvchi linza, qutblanish, diffraksiya

E) elektromagnit maydon, to‘lqin yorug‘likning qaytishi

22. Turmalin yoki boshqa qutblovchi kristallardan tabiiy nur o‘tganda, uning intensivlik bo‘yicha qanday maksimal qismi qutblangan nur bo‘lib o‘tadi?

A) 0,75 B) 0,25 C) 0,5 D) 0,125 E) 0

23. Yorug‘lik to‘lqinining bo‘ylama yoki ko‘ndalang ekanligini qaysi hodisa yordamida aniqlash mumkin?

A) dispersiya B) qutblanish C) interferensiya

D) difraksiya E) TJY

24. Quyida sanalgan to‘lqinlardan qaysilari ko‘ndalang to‘lqinlar turiga kiradi:

1) suv sirtidagi to‘lqinlar; 2) gazdagi tovush to‘lqinlari;

3) yorug‘lik to‘lqinlari; 4) radioto‘lqinlar;

5) suyuqlikdagi ultratovush to‘lqinlari

SINOV UCHUN BERILGAN

A) 2, 4, 5 B) 1, 2, 3 C) 4, 5 D) 2, 3, 4 E) 1, 3, 4

25. Yorug‘lik to‘lqinlari tovush to‘lqinlaridan nima bilan farq qiladi? To‘g‘ri javoblarni toping:

1) tovush to‘lqinlari uzunroq
2) yorug‘lik to‘lqinlari bo‘ylama, tovush to‘lqinlari ko‘ndalang
3) yorug‘lik ham, tovush ham bo‘ylama to‘lqindir
4) yorug‘lik ko‘ndalang, tovush bo‘ylama to‘lqindir
5) yorug‘lik interferensiyalanadi, tovush iterferensiyalanmaydi.

A) 1 va 4 B) 4 va 5 C) faqat 1 D) faqat 4 E) 2 va 5

26. Difraksiya deb qanday hodisaga aytiladi?

A) o‘lchamlari to‘lqin uzunligi tartibida bo‘lgan to‘siq yoki tirqishga tushgan to‘lqinlarning to‘silgan sohaga og‘ib tarqalish hodisasi.

B) to‘lqinlarning fazoning muayyan nuqtalarida natijaviy tebranishlar amplitudalarining vaqt o‘tishi bilan o‘zgarmaydigan taqsimlanishini yuzaga keltirib qo‘shilish hodisasi.

C) to‘siqqa uchragan to‘lqinlarning to‘siqdan biror burchak ostida orqaga qaytib tarqalish hodisasi.

D) ikki to‘lqinning qo‘shilishi natijasida natija viy tebranishlar amplitudasining keskin ortib yoki kamayib ketish hodisasi.

E) TJY

27. Yorug‘lik to‘lqinlarining tarqalishda to‘g‘ri chiziqdan ogishi va to‘siqni aylanib, soya sohasiga o‘tishi ... deb ataladi.

A) interferensiya B) yorug‘likning qutblanishi
C) fotoeffekt D) dispersiya E) difraksiya

28. Yorug‘lik qanday sharoitda to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqalishdan chetlashadi?

A) bir iinsli bo‘lmagan muhitda

B) o‘lchamlari yorug lik to‘lqin uzunligi bilan solishtirarli to‘siqlarga uchraganda

C) o‘lchamlari yorug‘lik to‘lqin uzunligi bilan solishtirarli tirqish yoki teshiklardan o‘tganda

D) kuchli gravitasion maydonda

E) A-D javoblarning hammasi to‘g‘ri

29. Quyida keltirilgan nurlarning qaysilari diffraksiyalanish xossasiga ega: 1) ko‘zga ko‘rinadigan yorug‘lik; 2) radioto‘lqinlar; 3) rentgen nurlari; 4) infraqizil nurlar?

A) 1,2 V) 1, 2, 3 C) 1, 2, 3, 4 D) 3, 4 E) 1, 3, 4

SINOV USHUN BERILGAN

30. Uzunligi *800 nm* bo‘lgan ikki kogerent infraqizil yorug‘lik to‘lqini fazoning bir nuqtasiga 2 mkm optik yo‘l farqi bilan kelib tushmoqda. Nurlar kelib tushayotgan nuqtada interferensiya hodisasi bo‘ladimi yoki difraksiyami? Shu hodisa tufayli to‘lqin bu nuqtada kuchayadimi yoki susayadimi?

A) interferensiya, susayadi B) difraksiya, susayadi
C) interferensiya, kuchayadi D) difraksiya, susayadi E) TJY

31. To‘lqin uzunligi *500 nm* bo‘lgan monoxromatik yorug‘lik to‘lqini davri 2 *mkm* bo‘lgan difraksion panjaraga tik tusnmoqda. Ikkinchi tartibli difraksion maksimum qanday burchak ostida ko‘rinadi?

A) 90° B) 60° C) 45° D) 30° E) 20°

32. Doimiysi d bo‘lgan difraksion panjaraga to‘lqin uzunligi λ bo‘lgan monoxromatik parallel nurlar dastasi tik tushmoqda. Birinchi bosh maksimum burchagi φ uchun qaysi shart bajarilishi kerak?

A) $sin\varphi = \frac{\lambda}{d}$ B) $sin\varphi = \frac{d}{\lambda}$ C) $\cos\varphi = \frac{\lambda}{d}$ D) $\cos\varphi = \frac{d}{\lambda}$ E) $\cos\varphi = \lambda d$

33. Quyidagi ifodalardan qaysi biri difraksion maksimum shartidir? d - panjara doimiysi. Yorug‘lik panjaraga tik tushmoqda.

A) $d\ sin\alpha = k\lambda$ B) $dcos\alpha = \frac{(2k-1)\lambda}{2}$ C) $dcos\alpha = k\lambda$

D) $dsin\alpha = \frac{(2k+1)\lambda}{2}$ E) TJY

III BOBGA DOIR TOPSHIRIQLAR

1. Binafsha yorug‘lik uchun suvning sindirish ko‘rsatkichi *1,343*. Bu yorug‘lik to‘lqinining suvda tarqalish tezligini toping (*km/s*).

2. Shaffof muhitdagi yorug‘lik chastotasi $4\cdot10^{14}Hz$, to‘lqin uzunligi 500 nm bo‘lsa, muhitning sindirish ko‘rsatkichi qanday?

3. Elektromagnit tebranishlar chastotasi 10^{15} *Hz* bo‘lsa, sindirish Ko‘rsatkichi 1,5 ga teng bo‘lgan muhitda elektromagnit to‘lqin uzunligi necha metr ga teng bo‘ladi? Yorug‘likning bo‘shliqdagi tezligi $3\cdot10^8$m/s.

4. Yorug‘lik to‘lqinining havodagi uzunligi *0,6 μm*. Uning suvdagi to‘lqin uzunligi necha μm bo‘ladi? Suvning sindirish ko‘rsatkichi n=4/3.

5. Tebranishlar chastotasi *3 Hz* bo‘lgan to‘lqin *2,4 m/s* tezlik bilan tarqalmoqda. Bir-biridan 20 cm masofada joylashgan nuqtalardagi tebranishlarning fazalar farqi ko‘pi bilan qanday?

SINOV UCHUN BERILGAN

6. Koordinatalar boshida joylashgan tovush manbaidan to‘lqin uzunligi *2 m* bo‘lgan tebranishlar tarqalmoqda. Koordinatalari $x_1 = 2\ m$ va x_2=*6 m* bo‘lgan nuqtalarning tebranishlari orasidagi fazalar farqi qanday?

7. Chastotasi *680 Hz* bo‘lgan tovush to‘lqini-ning ikki nuqtasidan manbagacha bo‘lgan masofalar farqi *25 cm* bo‘lsa, bu nuqtalar tebranishlarining fazalar farqi qanday? Tovusnning havodagi tezligi *340 m/s*.

8. To‘lqin uzunliklari λ ga teng bo‘lgan ikkita interferensiyalanuvchi kogerent yorug‘lik to‘lqinlarining fazalar farqi $\frac{\pi}{4}$ ga teng. Optik yo‘llar farqi qanday?

9. Fazoning biror-bir nuqtasiga to‘lqin uzunligi *600 nm*, optik yo‘llar farai 1,2 mkm bo‘lgan kogerent nurlar kelib tushmoqda. Bu nuqtada qanday hodisa kuzatiladi?

10. *1 mm* da 1000 ta shtrixi bor difraksion panjaraning doimiysini (mkm) aniqlang.

11. Difraksion panjarada ikkita qo‘shni tirqishlarning chetlaridan chiqayotgan to‘lqinlar orasidagi yo‘l farqi *2,5 μkm* va difraksiya burchagi 30° bo‘lsa, shu panjaraning doimiysi necha mkm ga teng?

12. Davri *0,001 mm* bo‘lgan difraksion panjara yordamida hosil qilingan birinchi tartibli spektrda yashil ($\lambda = 0{,}5\ mkm$) chiziq qanaday burchak ostida ko‘rinadi?

13. Difraksiya panjarasiga tik tushayotgan oq yorug‘lik difraksiyalanganida 3-tartibli spektrdagi λ=*780 nm* to‘lqin uzunlikli chiziq bilan 4-tartibli spektrdagi qanday to‘lqin uzunlikli (nm) chiziq ustma-ust tushadi?

14. To‘lqin uzunligi *600 nm* bo‘lgan monoxromatik yorug‘lik to‘lqini davri *3,6 μm* bo‘lgan difraksion panjaraga tik tushmoqda. *30°* burchak ostida ko‘ringan difraksion maksimumning tartibini aniqlang.

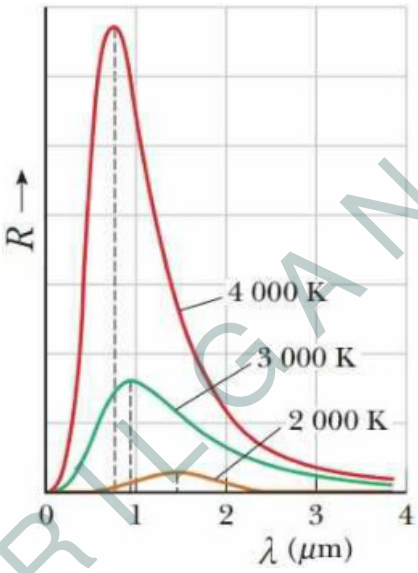
15. Analizator o‘ziga tushayotgan qutblangan yorug‘lik intensivligini ikki marta susaytiradi. Polyarizator va analizator bosh o‘qlari orasidagi burchak qanday?

16. Tabiiy yorug‘lik nuri ketma-ket ravishda bosh tekisliklari orasidagi burchak *60°* bo‘lgan polyarizator va anlizatordan o‘tadi. Analizatordan boshlang‘ich yorug‘lik oqimining qanday qismi chiqadi?

17. Polyarizator va anlizatorning bosh tekisliklari orasidagi burchak *45°*. Bu burchakni *60°* gacha orttirilganda analizatordan chiqayotgan yorug‘likning intensivligi necha marta kamayadi?

SINOV UCHUN BERILGAN

IV BOB. KVANT FIZIKASI ASOSLARI



Yorug‘likning kvant tabiati *XIX* asr oxiri *XX* asr boshlarida fanga ma’lum bo‘ldi. O‘sha paytgacha yorug‘likning to‘lqin tabiati Yevropalik tadqiqotchi olimlar tomomnidan juda yaxshi o‘rganildi hamda ko‘plab tabiatdagi optik hodisalar sabablari to‘lqin nazariyasi asosida tushuntirib berildi. Lekin, keyinchalik ba’zi o‘tkazilgan tajriba natijalarini bu to‘lqin nazariya asosida tushuntirish samarasiz bo‘ldi. Masalan, absalyut qora jismning nurlanishi, nurlanishdagi energiya taqsimoti, fotoeffekt, Komton effekti va boshqa hodisa sabablarini to‘lqin nazariya tushuntirib bera olmadi. Shunda Maks Plank tomonidan yorug‘lik energiyasi porsiya-porsiya, ya’ni kvantlar ko‘rinishida nurlanishi va bu nurlanish chastotaga to‘g‘ri proporsional ekanini ta’kidladi. Albert Eynshteyn esa yorug‘lik nafaqat kvantlar tarzida nurlanadi, balki kvantlar tarzida tarqaladi va kvantlar tarzida yutiladi degan g‘oyani o‘rtaga tashladi. Demak, Plank va Eynshteyn fikriga ko‘ra yorug‘lik dastasidagi energiya uzluksiz bo‘lmasdan, balki bu energiya foton deb ataluvchi zarralardagina mujassam ekan.

§ 16. NURLANISHNING TURLARI. NURLANISH QONUNLARI

Nurlanishning turlari:

Yorug‘lik–to‘lqin uzunligi taxminan $\lambda=400–770\ nm$ bo‘lgan elektromagnit to‘lqindir. Elektromagnit to‘lqinlar esa zaryadli zarrachalarning tezlanuvchan harakati vaqtida uchib chiqadi. Zaryadli zarracha esa moddani tashkil qilgan atomlar tarkibidagi eletronlardir. Royalning torida tovush bo‘lmagani kabi, atomlarning ichida ham yorug‘lik bo‘lmaydi. Royal toriga zarb berilganda undan ovoz chiqqani kabi, atomlar ham uyg‘otilganda ulardan yorug‘lik chiqadi.

Atomni uyg‘otish uchun unga biror miqdor energiya berish kerak. Uyg‘ongan atom olgan energiyasini darhol elektromagnit to‘lqin tarzida nurlab yuboradi. Atom har doim nur chiqarishi uchun unga tashqaridan har doim energiya kelib turishi kerak. Atomni uyg‘otish uchun kerak bo‘lgan energiyaning olinish manbasiga qarab nurlanishning quyidagi turlarga bo‘linadi:

Issiqlikdan nurlanish: Bu nurlanishning eng oddiy va eng ko‘p tarqalgan turidir. Bunda atomlarni uyg‘otish uchun kerak bo‘lgan energiya atom va molekulalarning hamda erkin elektronlarning issiqlik harakatidan olinadi. Ya’ni, atom, molekula va erkin elektronlar o‘zaro noelastik to‘qnashganda kinetik energiyaning biror qismi atomni uyg‘otishga sarf bo‘ladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Quyoshning nurlanishi, cho‘g‘lanma lampaning nurlanishi, pechning issitishi va boshqalar issiqlik nurlanishiga misol bo‘ladi.

Elektrolyuminessensiya: Bu nurlanishda atomlarni uyg‘otish uchun kerak bo‘lgan energiya tez uchar elektronlarning harakatidan olinadi. Tez uchayotgan elektronlar atomlar bilan noelastik to‘qnashganda kinetik energiyaning biror qismi atomni uyg‘otishga sarf bo‘ladi. Uyg‘ongan atomlar nur chiqara boshlaydi.

Gazdagi razryad, shimol yog‘dusi bunga misol bo‘la oladi. Elektrolyuminessensiyadan reklama yozuvlari hosil qilinadigan trubkalarda foydalaniladi.

Katodolyuminessensiya: Qattiq jismlarning elektronlar bilan bombardimon qilinganda yorug‘lanishi katodolyuminessensiyadir. Televizorning elektron-nur trubkasining ekrani katodolyuminessensiya tufayli yorug‘lanadi.

Xemilyuminessensiya: Energiya ajralib chiqishi bilan ba’zi ximiyaviy reaksiyalarda ajralib chiqqan energiyaning biror qismi yorug‘lik energiyasiga aylanadi. Ya’ni, atomni uyg‘otish uchun kerak bo‘lgan energiya ximiyaviy yo‘l bilan hosil qilinyapti. Bu hodisa xemilyuminessensiya deyiladi.

Tunda yaltiraydigan tilla qo‘ng‘iz, dengiz tubida yashaydigan ba’zi baliqlar xemilyuminessensiya tufayli yorug‘lik chiqaradi. Ularni ushlab olgan bilan qo‘l kuymaydi. Chirib borayotgan yog‘och ham ba’zan qorong‘uda nur chiqaradi.

Fotolyuminessensiya: Jismning yorug‘lik ta’sirida nur chiqarish hodisasi fotolyuminessensiya deyiladi. Yorug‘lik modda atomlarini uyg‘otadi. Natijada moddaning o‘zi nur chiqara boshlaydi. Archa o‘yinchoqlari yorug‘lanuvchi bo‘yoqlar bilan qoplanadi. Ularga nur yog‘dirilgandan keyin nurlanadi. Fotolyuminessensiya vaqtida chiqadigan yorug‘lik to‘lqin uzunligi uyg‘otuvchi yorug‘lik to‘lqin uzunligidan katta bo‘ladi. Masalan, ichiga flyuoressein (organik bo‘yoq) solingan idishga binafsha yorug‘lik dastasi tushirilsa, bu suyuqlik yashil-sariq tusda yorug‘lanadi.

Absalyut qora jism:

Nurlanish spektrlarining turli qismlari turlicha xususiyatlarga ega bo‘lib, modda bilan ta’sirlashganda o‘zini turlicha namoyon qiladi. Masalan, yorug‘lik nuri ionosferadan bemalol o‘tib ketadi, lekin radioto‘lqin uchun bu qatlam ko‘zgu vazifasini o‘taydi. Natijada tarqatilgan radioto‘lqinlar ionosferadan qaytib, ko‘rinmaydigan joyga uzatish imkonini beradi. Ozon qatlami boshqa nurlarni o‘tkazib yuboradi, lekin ultrabinafsha nurlar uchun ko‘zgu vazifasini o‘taydi. Ba’zi to‘lqin uzunlikli nurlarda ximiyaviy reaksiya, fotosintez hosil qilish xususiyatiga bo‘lsa, ba’zi nurlar fotoeffektni yuzaga keltiradi.

Nurlanish oqimi (Φ) biror yassi parallel plastinka shaklidagi jism sirtiga tushayotgan bo‘lsin. Bu oqim qisman qaytadi (Φ_{qayt}), qisman yutiladi (Φ_{yut}), qolgan qismi esa jismdan o‘tadi $(\Phi_{o'tg})$ (16.1-rasm).

SINOV UCHUN BERILGAN

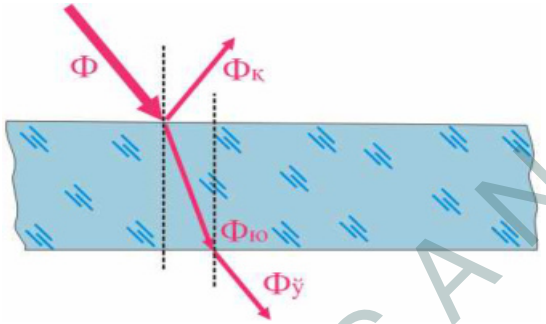
$$\Phi_{qayt} + \Phi_{yut} + \Phi_{o'tg} = \Phi \qquad (16.1)$$

Bu tenglikning ikkala tomonini F ga bo‘lamiz.

$\rho = \frac{\Phi_{qayt}}{\Phi}$ – jismning nur qaytarish qobiliyati;

$a = \frac{\Phi_{yut}}{\Phi}$ – jismning nur yutish qobiliyati;

$d = \frac{\Phi_{o'tg}}{\Phi}$ – jismning nur o‘tkazish qobiliyati.



16.1-rasm

$$\rho + a + d = 1 \qquad (16.2)$$

Shaffof bo‘lmagan jismlar uchun $d=0$ bo‘ladi. U holda yuqoridagi ifoda quyidagi ko‘rinishni oladi.

$$\rho + a = 1 \qquad (16.3)$$

Bu ifoda har qanday to‘lqin uzunlikdagi nur $(0 < \lambda < \infty)$ uchun ham o‘rinlidir. Tajribaning ko‘rsatishicha, ρ va a ning qiymatlari jismning temperaturasiga va jismga tushayotgan nurning to‘lqin uzunligiga bog‘liq ekan. Shuning uchun, T temperaturali jismning λ to‘lqin uzunlikli nurni qaytarish qobiliyatini $\rho_{\lambda,T}$ bilan, shu nurni yutish qobiliyatini esa $a_{\lambda,T}$ bilan belgilasak, yuqoridagi formula quyidagi ko‘rinishga o‘tadi:

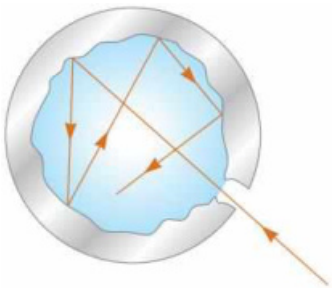
$$\rho_{\lambda,T} + a_{\lambda,T} = 1 \qquad (16.4)$$

Umuman $\rho_{\lambda,T}$ va $a_{\lambda,T}$ koeffitsiyentlar 0 dan 1 gacha oraliqda o‘zgarishi mumkin. Ikki chegaraviy holni ko‘ramiz.

1) $\rho_{\lambda,T} = 1$ va $a_{\lambda,T} = 0$. Bunda jismga tushayotgan nur to‘la qaytadi. Bunday jism ***absalyut oq jism*** deyiladi.

2) $\rho_{\lambda,T} = 0$ va $a_{\lambda,T} = 1$. Bunda jismga tushayotgan nur to‘la yutiladi. Bunday jism ***absalyut qora jism*** deyiladi.

Tabiatda absalyut oq jism ham, absalyut qora jism ham yo‘q. Har qanday jism unga tushayotgan nurning qandaydir qismini yutsa, qolgan qismini qaytaradi. Qaysi jism tushayotgan nurning ko‘prog‘ini yutsa, o‘sha jism qoraroq hisoblanadi. Tabiatda eng qora jism – qora kuya uchun $\lambda=400–770$ *nm* to‘lqin uzunlikli nurlar uchun $a_{\lambda,T} = 0,99$ bo‘ladi.



16.2-rasm

Absalyut qora jismni tushuntirish uchun o‘zining xususiyatlari bilan absalyut qora jismdan kam farq qiladigan ***model***dan foydalaniladi. Bunday jism juda kichik teshikka ega berk g‘ovakdan iborat. Ixtiyoriy to‘lqin uzunlikdagi nur teshikka kirib

SINOV UCHUN BERILGAN

qolgach, uning ichki devorlaridan ko‘p marta qaytgandan keyingina chiqib keta oladi. Devorning ichki sirtidan har safar qaytishda energiyaning biror qismi yutiladi. Natijada, nur energiyasining juda kichik qismigina teshikdan chiqib keta oladi. Shuning uchun ham bunday modelning nur yutish qobiliyati *1* ga juda yaqin, ya’ni $a_{\lambda,T} \approx 1$ bo‘ladi (16.2-rasm).

Jismning nur qaytarish va nur yutish qobiliyatlaridan tashqari yana bir xarakteristika mavjudki, u T temperaturadagi jismning birlik sirtidan birlik vaqtda nurlanayotgan elektromagnit to‘lqinlarining energiyasini ifodalaydi. Bu kattalikni T temperaturadagi jismning ***nur chiqarish qobiliyati*** deb ataladi va r_T bilan belgilanadi.

$$r_T = \frac{W}{S\,t} \quad \left[\frac{Vt}{m^2}\right] \tag{16.5}$$

ρ va a lar o‘lchamsiz kattaliklar, r_T esa Vt/m^2 larda o‘lchanadi. r_T jismning to‘la nur chiqarish, ya’ni $0<\lambda<\infty$ intervaldagi nurlarni chiqarish qobiliyatidir. Bundan tashqari T temperaturadagi jismning λ uzunlikli nurni chiqarish qobiliyati $r_{\lambda,T}$ kattalik ham ishlatiladi.

$$r_{\lambda,T} = \frac{dr_T}{d\lambda} \quad \left[\frac{Vt}{m^3}\right] \tag{16.6}$$

Absalyut qora jismning to‘la nur chiqarish qobiliyatii R_T va λ uzunlikli nurni chiqarish qobiliyati $R_{\lambda,T}$ bilan belgilanadi.

$$R_T = \frac{W}{S\,t} \quad \left[\frac{Vt}{m^2}\right] \quad \text{va} \quad R_{\lambda,T} = \frac{dR_T}{d\lambda} \quad \left[\frac{Vt}{m^3}\right] \tag{16.7}$$

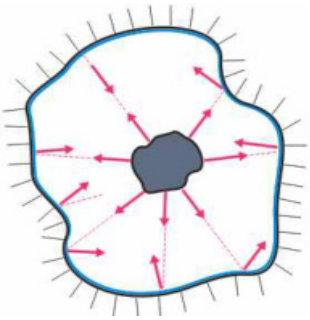
Kirxgoff qonunlari:

T temperaturadagi jism qobiq bilan o‘ralgan bo‘lsin (16.3-rasm). Qobiq issiqlik o‘tkazmaydi va nurlanishni to‘liq qaytaruvchi ideal jismdan tayyorlangan deb faraz qilaylik.

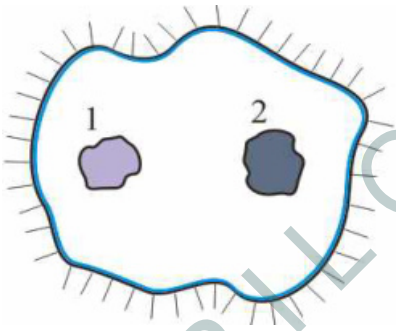
Qobiq ichidan havoni so‘rib olaylik. Jism chiqargan nurlanish qobiqqa tushib undan bir yoki bir necha marta qaytgach, yana jismga tushadi. Jism esa bu nurni qisman yoki butunlay yutadi. Qisman yutsa, qolganini qaytaradi. Shu tarzda jism bilan qobiq ichi orasida nurlanish energiyasi almashinuvi davom etadi. Nurlagich ham nur yutgich ham jism bo‘lgani uchun jism o‘zining sirtidan birlik vaqt ichida chiqargan energiyasi, shu vaqt ichida yutilgan energiyaga teng bo‘ladi. Shuning uchun, temperatura o‘zgarmaydi va issiqlik balansi saqlanadi. Tajribalarning ko‘rsatishicha bu muvozonat hohlagancha uzoq vaqt saqlanar ekan. Issiqlik nurlanishini ***muvozonatli nurlanish*** ham deyishadi. Boshqa biror tur nurlanishda issiqlik balansi uzoq vaqt saqlanmas ekan. Masalan, xemilyuminessensiyada nurlanish to ximiyaviy energiya tugaguncha sodir bo‘ladi. yoki katodolyuminessensiyada tokni o‘chirib qo‘ysak, ekran yorishmay qoladi va h.

SINOV UCHUN BERILGAN

Agar 16.3-rasmda jism birlik vaqt ichida chiqarayotgan energiya shu vaqt ichida yutayotgan energiyadan ko‘proq bo‘lsa nima bo‘ladi? Demak, ko‘proq energiya chiqargani uchun jism sovib boradi. Sovigan sari nur chiqarish susayib boradi va ma’lum temperaturagacha sovigach birlik vaqt ichida chiqargan energiya shu vaqt ichida yutgan energiyaga tenglashadi. Ana shu temperaturada muvozonat qaror topadi va temperatura istalgancha uzoq vaqt o‘zgarmasdan qoladi.



16.3-*rasm*



16.4-*rasm*

Endi qobiq ichida bir xil temperaturadagi, ya’ni termodinamik muvozonatdagi ikkita jism joylashgan bo‘lsin (16.4-rasm). Agar jismlardan biri ko‘proq energiya nurlantirib, kamroq energiya yutayotgan bo‘lsa, bu jismning temperaturasi pasayib ketishi lozim. Buning evaziga 2-jismning temperaturasi oshish kerak. Natijada, sovuqroq jismdan issiqroq jismga issiqlik uzatish jarayonini amalga oshirgan bo‘lamiz. Lekin, hech qachon bunday bo‘lmaydi. Bu termodinamikaning 2-bosh qonuniga ziddir. Demak, termodinamik muvozonat holatidagi jismlar sistemasiga oid har bir jism qancha energiya yutsa, shuncha energiya nurlaydi. Ko‘proq energiya yutadigan jism ko‘proq energiya nurlaydi.

16.4-rasmda ko‘rsatilgan jismlardan biri oddiy, 2-si absalyut qora bo‘lsin. U holda 1-jismning to‘la nur chiqarish qobiliyati r_T va to‘la nur yutish qobiliyati a_T bo‘ladi. 2-jismning to‘la nur chiqarish qobiliyati R_T va to‘la nur yutish qobiliyati 1 ga teng bo‘ladi.

1-jism 2-jism nurlagan R_T energiyaning a_T qismini, ya’ni $a_T \cdot R_T$ energiyani yutadi. Demak, 1-jism uchun energiyalar balansi quyidagicha bo‘ladi:

$$r_T = a_T \cdot R_T$$

2-jism esa 1-jism nurlantirgan energiyaning hammasini, ya’ni r_T energiyani yutadi. Bundan tashqari 2-jism nurlantirgan R_T energiyaning 1-jism qaytargan qismi, ya’ni $(1-a_T)R_T$ ga teng energiyani ham 2-jism tomonidan yutiladi. 2-jism uchun energiya balansi quyidagicha bo‘ladi:

$$R_T = r_T + (1-a_T)\cdot R_T$$

Yuqoridagi ikkita balans tenglamalardan quyidagi munosobatni olamiz.

$$\frac{r_T}{a_T} = \frac{R_T}{1} = R_T \qquad \textbf{(16.8)}$$

Bu ifoda Kirxgofning integral qonunidir:

SINOV UCHUN BERILGAN

Har qanday jismning muayyan temperaturada to‘la nur chiqarish va to‘la nur yutish qobiliyatlarining nisbati o‘zgarmas kattalik bo‘lib, u ayni temperaturadagi absalyut qora jismning to‘la nur chiqarish qobiliyatiga teng bo‘ladi.

Agar 16.4-rasmdagi ikki jism oralig‘iga faqat to‘lqin uzunligi $[\lambda;\lambda+d\lambda]$ intervaldagi nurlanishlarni o‘tkazadigan va boshqa nurlanishlarni batamom qaytaradigan filtr qo‘ysak, yuqoridagi mulohozalarga o‘xshash Kirxgofning differensial qonuni kelib chiqadi.

$$\frac{r_{\lambda,T}}{a_{\lambda,T}} = R_{\lambda,T} \qquad \textbf{(16.9)}$$

Kirxgofning differensial qonuni:

Itiyoriy jismning nur chiqarish va yutish qobiliyatlarining nisbati bu jismning tabiatiga bog‘liq bo‘lmay, bu nisbat barcha jismlar uchun to‘lqin uzunlik va temperaturaning universal funksiyasidir va bu nisbat absalyut qora jismning nur chiqarish qobiliyati $R_{\lambda,T}$ ga tengdir.

Kirxgofning integral va differensial qonunidan quyidagi asosiy natijalar kelib chiqadi:

1) $r_T = a_T \cdot R_T$, $\quad r_{\lambda,T} = a_{\lambda,T} \cdot R_{\lambda,T}$

Ixtiyoriy jismning muayyan temperaturadagi nur chiqarish qobiliyati shu jismning nur yutish qobiliyati bilan absalyut qora jism nur chiqarish qobiliyatining ko‘paytmasiga teng.

2) Oddiy jismning nur yutish qobiliyati 1 dan kichik, ya’ni $a_{\lambda,T} < 1$. Shuning uchun, ixtiyoriy jismning nur chiqarish qobiliyati xuddi shu temperaturadagi absalyut qora jismning nur chiqarish qobiliyatidan kichik.

$$r_T < R_T \text{ , } \quad r_{\lambda,T} < R_{\lambda,T}$$

3) Agar biror λ to‘lqin uchun jismning nur yutish qobiliyati $a_{\lambda,T} = 0$ bo‘lsa, u holda $r_{\lambda,T} = a_{\lambda,T} \cdot R_{\lambda,T} = 0$ bo‘ladi. Demak, jism biror to‘lqin uzunlikdagi nurni yutmasa, u holda xuddi shu nurlanishni nurlamaydi ham.

Absalyut qora jism uchun nurlanish qonunlari:

Issiqlik nurlanish nazariyasining eng asosiy vazifasi absalyut qora jism nur chiqarish qobiliyatining temperatura va to‘lqin uzunlikka bog‘liqlik xarakterini aniqlab berishdan iborat. Bu borada kashf qilingan asosiy qonunlar bilan tanishaylik.

1-qonun. Stefan-Bolsman qonuni.

Absalyut qora jismning to‘la nur chiqarish qobiliyati temperaturaning to‘rtinchi darajasiga bog‘liq ravishda ortadi.

SINOV UCHUN BERILGAN

$$R_T = \sigma \cdot T^4 \left[\frac{Vt}{m^2}\right] \qquad (16.10)$$

Bu yerda: $\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \left[\frac{Vt}{m^2}\right]$ – Stefan-Bolsman doimiysi bo‘lib, tajribalar asosida topilgan.

Stefan va Bolsmanlar absalyut qora jism nur chiqarish qobiliyatining λ ga bog‘liqlik grafigini turli temperatura ($T_1<T_2<T_3$) lar uchun tajriba yo‘li bilan aniqladilar (16.5-rasm).

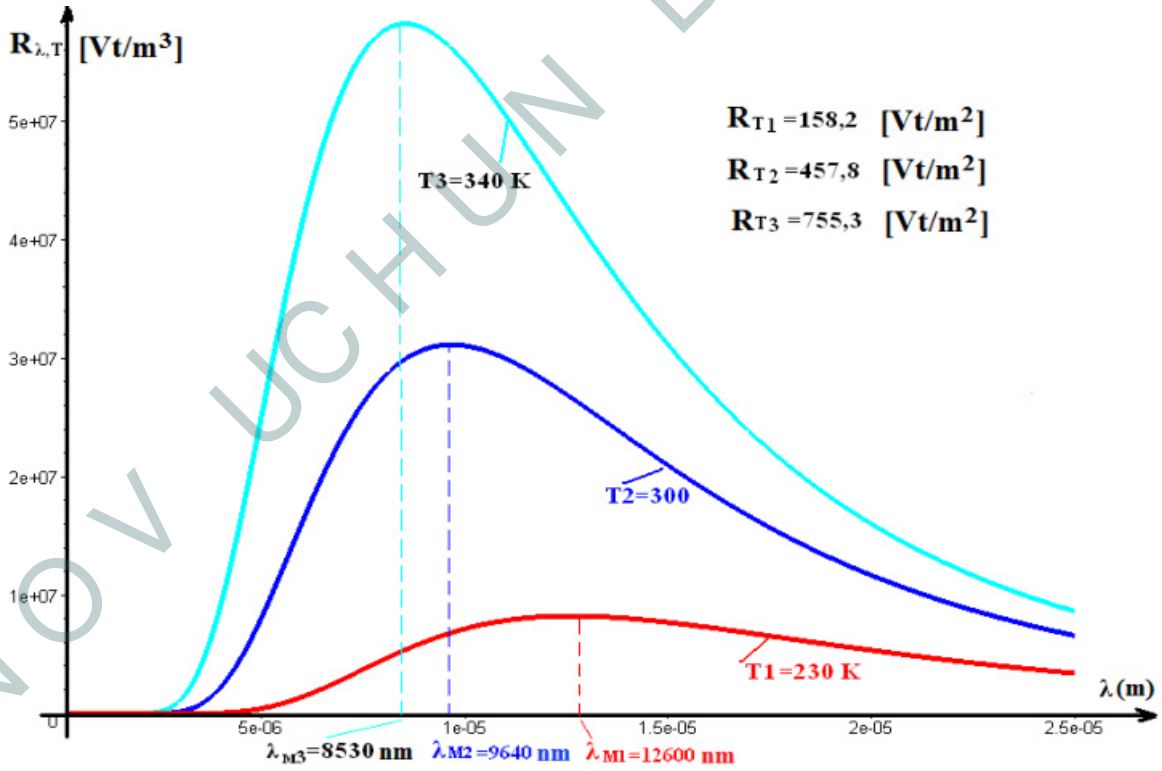
Bu tajribadan quyidagi 2ta xulosa kelib chiqadi:

1. Absalyut qora jismning nurlanishi uzluksizdir;

2. Har bir temperaturaga oid bo‘lgan nurlanishning energetik taqsimotini ifodalovchi egri chiziqda aniq bitta maksimum mavjud bo‘lib, u temperatura oshgan sari qisqa to‘lqinli sohaga siljiydi.

2-qonun. Vinning siljish qonuni.

Absalyut qora jism nur chiqarish qobiliyatining maksimumiga mos keluvchi λ_M to‘lqin uzunlikning absalyut temperaturaga ko‘paytmsi o‘zgarmas kattalikdir.



16.5-rasm

$$\lambda_m \cdot T = b \qquad (16.11)$$

Bu yerda: $b = 2{,}898 \cdot 10^{-3} \left[m \cdot K\right]$ – Vin doimiysi.

Rasmdan ko‘rinadiki, T qancha yuqori bo‘lsa, λ_m shuncha kichiklashib borar ekan.

3-qonun. Vinning 2-qonuni.

SINOV UCHUN BERILGAN

Absalyut qora jism λ_m to‘lqin uzunlikdagi nurni chiqarish qobiliyati temperaturaning beshinchi darajasiga bog‘liq ravishda ortadi.

$$r_{\lambda_M T} = c \cdot T^5 \quad \left[\frac{Vt}{m^3}\right] \tag{16.12}$$

Bu yerda: $c = 1{,}29 \cdot 10^{-5} \left[\frac{Vt}{m^2 \cdot K^5}\right]$ – konstanta.

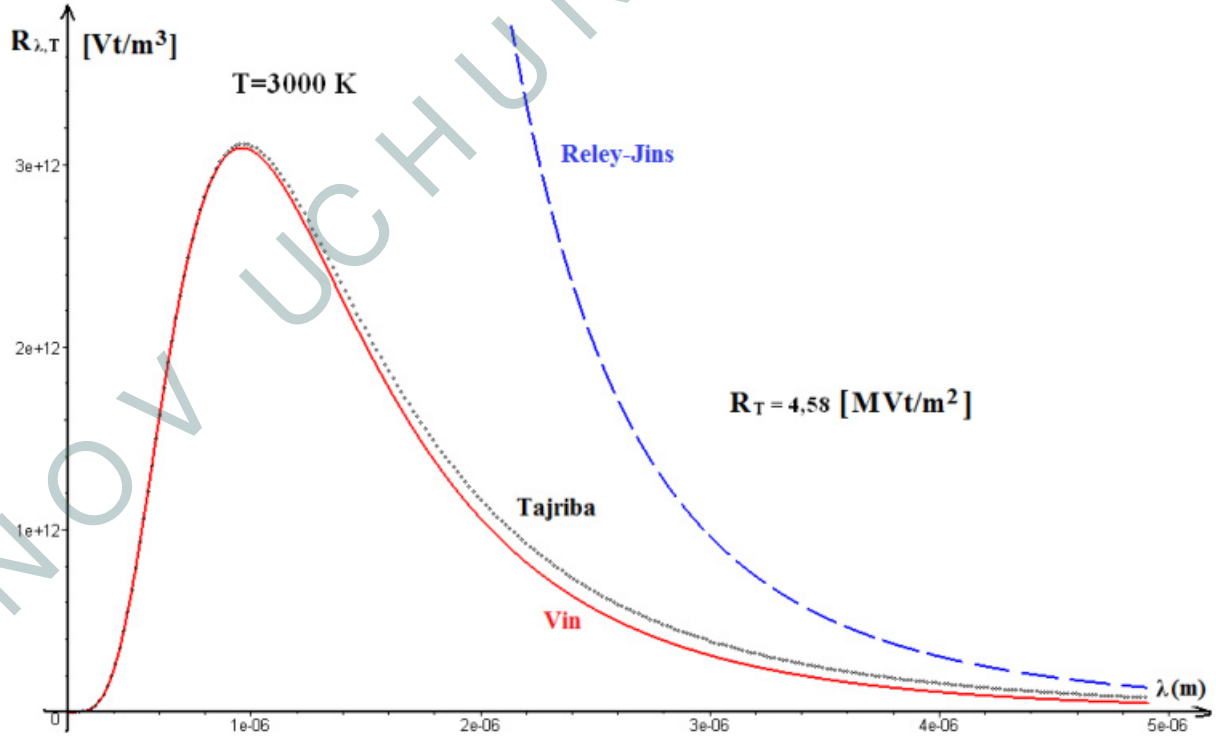
16.5-rasmdagi egri chiziqni tushuntirish yo‘lida termodinamika va statistik fizika qonunlariga asoslanib $R = R(\lambda, T)$ bog‘liqlik ifodasini hosil qilish uchun ko‘p urinishlar bo‘lgan. Bulardan e’tiborga loyig‘i ushbu 2 ta urinishdir:

1. Termodinamik mulohozalar asosida Vin quyidagi formulani taklif etdi.

$$R_{\lambda,T} = \frac{\alpha}{\lambda^5} \cdot e^{-\frac{\beta}{\lambda T}} \quad \left[\frac{Vt}{m^3}\right] \tag{16.13}$$

Bu yerda: α va β – tanlab olingan shunday sonlarki, natijada 48.6-rasmdagi Vinning grafigi tajribada topilgan qiymatlar (rasmda nuqtalar) bilan mumkin qadar ustma-ust tushadi.

Vin formulasi yordamida hosil qilingan grafik tajriba natijalari bilan qisqa to‘lqinli sohada yaxshi mos keldi, katta to‘lqinli sohada tajriba natijasidan kichikroq chiqdi.



16.6-rasm

2. Reley va Jins issiqlik nurlanishiga statistik metodlarini tatbiq etib hamda absalyut qora jismning nur chiqarish qobiliyati uchun quyidagi ifodani oldi.

$$R_{\lambda,T} = \frac{2\pi c k T}{\lambda^4} \quad \left[\frac{Vt}{m^3}\right] \tag{16.14}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Bu yerda: $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}\ [J/K]$ – Bolsman doimiysi, $c = 3 \cdot 10^8\ m/s$ – yorug‘lik tezligi.

Bu formula bilan hisoblab topilgan qiymatlar (16.6-rasm, punktir chiziq) tajriba natijalari (rasmda nuqtalar) bilan katta to‘lqinli sohada yaxshi mos keldi, kichik to‘lqinli sohada esa cheksiz katta qiymat chiqdi. Vaholanki, λ_m qiymatdan boshlab $R_{\lambda,T}$ ning qiymati nolgacha kamayib borishi kerak edi, ya’ni “ultrabinafsha halokati” yuz berish kerak edi. Bundan tashqari Reley-Jins formulasidan Stefan-Bolsman formulasini keltirib chiqarish ham omadsizlikka uchradi.

$$R_T = \int_0^\infty R_{\lambda,T} \cdot d\lambda = 2\pi c k T \int_0^\infty \frac{d\lambda}{\lambda^4} = 2\pi c k T \left(-\frac{1}{3\lambda^3} \right) \Big|_0^\infty = \infty \qquad \left[\frac{Vt}{m^2} \right]$$

Tajribaga mos kelishlik nuqtai-nazaridan Vin formulasi Reley-Jins formulasidan avzalroq tuyuladi. Lekin bunday emas. Reley-Jins formulasiga Vin formulasidagi kabi ixtiyoriy tanlab olinadigan konstantalar ishlatilmagan, ya’ni klassik fizikaga qat’iy ravishda tayanib hisoblangan. Shuning uchun ham tajriba natijalaridan kelib chiqgan “ultrabinafsha halokat”ni klassik fizika tushuntirib, berishga qodir emas. Maks Plankning e’tiborini jalb qilgan ahvol ham shu edi.

Plank formulasi:

1920 yilda Maks Plank “ultrabinafsha halokat”ni bartaraf qilish uchun klassik nazariyaga zid bo‘lgan o‘zining gipotezasini ilgari surdi. U klassik fizika zaminida kamchilik bor deb hisobladi. Plank gipotezasining mohiyati quyidagidan iborat edi:

Jismlarning nurlanishi uzluksiz emas, balki alohida ulushlar (kvantlar, porsiyalar) sifatida chiqariladi.

Nurlanish har bir ulushining, ya’ni nurlanish kvantining energiyasi quyidagicha bo‘ladi:

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad [J] \qquad \textbf{(16.15)}$$

Bu yerda: $\nu = \frac{c}{\lambda}$ – nurlanish chastotasi, h – Plank nomi bilan mashhur konstanta.

Yuqoridagi formulaga asosan qisqa to‘lqinlar sohasida nurlanish kvantining energiyasi ortib boradi. $\lambda \to 0$ bo‘lganda esa kvant energiyasi shu darajada katta bo‘ladiki, natijada jism issiqlik harakatining energiyasi hatto bitta kvant chiqarishga ham yetmay qoladi. Qisqa to‘lqinlar sohasida $R_{\lambda,T}$ ning qiymati keskin kamayib ketishini shu tarzda tushuntirish mumkin.

Plank o‘zining gipotezasiga asoslanib va statistik fizika qonunlaridan foydalanib absalyut qora jism nur chiqarish qobiliyati uchun quyidagi formulani hosil qildi.

$$E_{\lambda,T} = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k T}} - 1} \qquad \left[\frac{Vt}{m^3} \right] \qquad \textbf{(16.16)}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Plank formulasi asosida hosil qilingan qiymatlar tajribada topilgan qiymatlar bilan to‘lqin uzunligining barcha sohasida ustma-ust tushdi.

Plank formulasidan foydalanib, absalyut qora jism nurlanishining empirik ravishda aniqlangan barcha qonunlarini hosil qilish mumkin.

1. Stefan-Bolsman qonunini hosil qilish uchun Plank formulasini $0<\lambda<\infty$ intervalda integrallaymiz.

$$R_T = \int_0^\infty R_{\lambda,T} \cdot d\lambda = 2\pi hc^2 T \int_0^\infty \frac{d\lambda}{\lambda^5 \cdot \left(e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1 \right)}$$

Ishni osonlashtirish uchun yangi $x = \frac{\lambda kT}{hc}$ o‘zgaruvchi kiritamiz. λ va $d\lambda$ larni x orqali ifodalaymiz.

$$\lambda = \frac{hc}{kT} x\,, \quad d\lambda = \frac{hc}{kT} dx$$

Natijada quyidagini hosil qilamiz:

$$R_T = 2\pi hc^2 \left(\frac{kT}{hc} \right)^4 \int_0^\infty \frac{dx}{x^5 \cdot \left(e^{\frac{1}{x}} - 1 \right)}$$

Bundagi integral qismni ostidagi funksiyani qatorga yoyib integrallanadi. Natijada,

$$\int_0^\infty \frac{dx}{x^5 \cdot \left(e^{\frac{1}{x}} - 1 \right)} = \frac{\pi^4}{15}$$

qiymat chiqadi. Shunga ko‘ra integral natijasi quyidagicha bo‘ladi:

$$R_T = 2\pi hc^2 \left(\frac{kT}{hc} \right)^4 \cdot \frac{\pi^4}{15} = \frac{2\pi^5 k^4}{15 c^2 h^3} T^4 = \sigma T^4$$

Demak, Stefan-Bolsman formulasi quyidagicha bo‘lar ekan:

$$R_T = \frac{2\pi^5 k^4}{15 c^2 h^3} T^4 = \sigma T^4 \left[\frac{Vt}{m^3} \right], \quad \sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15 c^2 h^3} = 5{,}642 \cdot 10^{-8} \left[\frac{Vt}{m^2 K^4} \right] \qquad \textbf{(16.17)}$$

2. Vinning siljish qonunini hosil qilish uchnu Plank formulasining hosilasi 0 ga teng bo‘lgan nuqtasini topamiz. Ana shu nuqtada egri chiziq o‘zining λ_m qiymatiga erishadi.

$R_{\lambda,T} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{kT}} - 1}$ funksiyadan $R'(\lambda,T) = 0$ bo‘lgan λ_m nuqtani topamiz. Buni belgilash kirib ishlaymiz.

$$x = \frac{\lambda kT}{hc}, \quad \rightarrow \quad \lambda = \frac{hc}{kT} x\,, \quad \rightarrow \quad d\lambda = \frac{hc}{kT} dx.$$

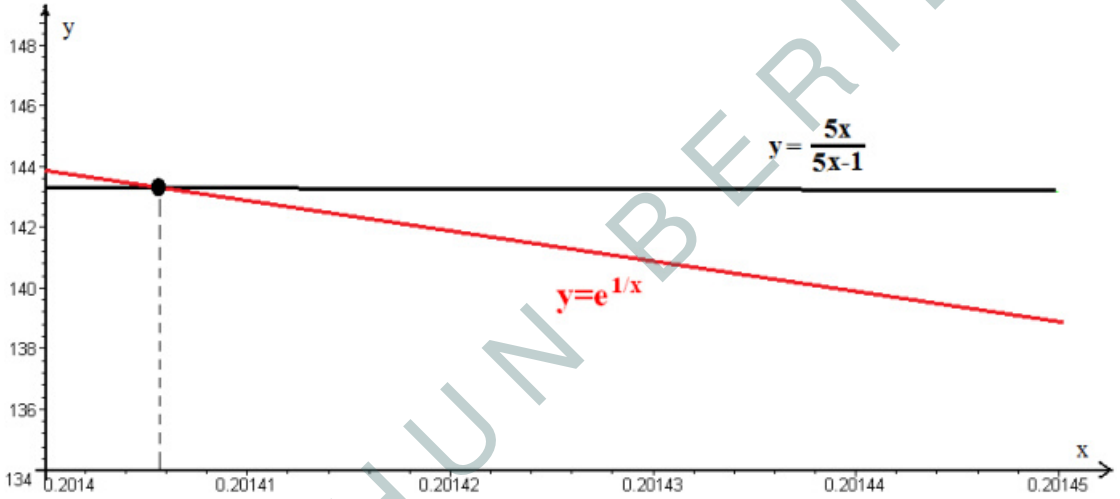
SINOV UCHUN BERILGAN

$$R_{\lambda,T}=\frac{2\pi hc^2}{\left(\frac{hc}{kT}\right)^5}\cdot\frac{1}{e^{\frac{1}{x}}-1}=2\pi hc^2\left(\frac{kT}{hc}\right)^5\frac{1}{\left(e^{\frac{1}{x}}-1\right)\cdot x^5}.$$

$$R'_{\lambda,T}=2\pi hc^2\left(\frac{kT}{hc}\right)^5\cdot\frac{0-5x^4\left(e^{\frac{1}{x}}-1\right)-x^5\cdot\left(-\frac{1}{x^2}\right)\cdot e^{\frac{1}{x}}}{\left(e^{\frac{1}{x}}-1\right)^2\cdot x^{10}}=0\ ,\ \rightarrow$$

$$\rightarrow\ -5x^4\left(e^{\frac{1}{x}}-1\right)+x^3\cdot e^{\frac{1}{x}}=0\ /:\left(-x^3\right),$$

$$5x\left(e^{\frac{1}{x}}-1\right)=5x\ ,\ \rightarrow\ e^{\frac{1}{x}}\left(5x-1\right)=5x,\ \rightarrow\ e^{\frac{1}{x}}=\frac{5x}{5x-1}.$$



16.7-rasm

Demak, tenglamani yechish uchun $\begin{cases} y=e^{\frac{1}{x}} \\ y=\dfrac{5x}{5x-1} \end{cases}$ funksiyalarning grafiklarini qurib, so‘ngra bu grafiklar kesishgan nuqtaning koordinatasi topiladi. Topilgan koordinata tenglama yechimi bo‘ladi. Grafiklar $x=0,20141=\dfrac{1}{4,965}$ nuqtada kesishadi (16.7-rasm). Bundan Vinning siljish doimiysini topish mumkin.

$$x=\frac{\lambda kT}{hc}=\frac{1}{4,965}\ ,\ \rightarrow\ \lambda_M T=\frac{hc}{4,965k}=\frac{6,626\cdot10^{-34}\cdot3\cdot10^8}{4,965\cdot1,38\cdot10^{-23}}=0,0029\ \left[m\cdot K\right]$$

Demak, Plank formulasidan Vinning siljish qonuni kelib chiqar ekan.

$$\lambda_M T=\frac{h\,c}{4,97\,k}\ ,\quad b=\frac{h\,c}{4,97\,k}=2,9\cdot10^{-3}\quad\left[m\cdot K\right] \qquad \textbf{(16.18)}$$

Shunday qilib, Plank formulasi issiqlik nurlanishining barcha sabablarini ochib bera oldi. Bu formula nurlanish spektridagi energiya taqsimotini anglatadi.

Mavzu yuzasidan savollar

1. Elektromagnit nurlanish nima? Uning qanday turlari bor?

SINOV UCHUN BERILGAN

2. *Jismning nur yutish, nur o‘tkazish va nur qaytarish qoyuiliyatlariga ta’rif bering. Shaffof jismlar uchun ularning qiymatlari qanday?Absalyut oq va absalyut qora jismlar uchun-chi?*
3. *Jismning nur chiqarish qobiliyati va to‘la nur chiqarish qobiliyati formulalarini yozing va o‘lchov birliklarini ayting. Absalyut qora jismning nur chiqarish qobiliyati va to‘la nur chiqarish qobiliyati formulalarini yozing va o‘lchov birliklarini ayting.*
4. *Absalyut qora jism modelini tushuntirib bering.*
5. *Issiqlik nurlanish boshqa turdagi nurlanishlardan nimasi bilan farq qiladi?*
6. *Kirxgoffning integral va differensial qonunlarini aytib bering va formulasini yozing.*
7. *Stefan-Bolsman qonunini ayting va formulasini yozing.*
8. *Vinning 1-qonuni (siljish qonuni)ni ayting va formulasini yozing. Vin doimiysi nimaga teng?*
9. *Vinning 2-qonunini ayting va formulasini yozing.*
10. *Absalyut qora jism nur chiqarish qobiliyatining temperatura va to‘lqin uzunlikka bog‘liqlik xarakterini aniqlash uchun Vin termodinamik mulohazalar asosida qanday formulani taklif etdi? Formuladagi konstantalarni qanday yo‘l bilan olgan? Bu tajriba bilan qanchalik darajada ustma-ust tushdi?*
11. *Absalyut qora jism nur chiqarish qobiliyatining temperatura va to‘lqin uzunlikka bog‘liqlik xarakterini aniqlash uchun statistik metodlarni tadbiq qilib qanday formulani taklif etdi? Bu tajriba bilan qanchalik darajada ustma-ust tushdi?*
12. *Maks Plank qanday formulani taklif etdi. Bu tajriba bilan qanchalik darajada ustma-ust tushdi? Plank g‘oyasi asosida nima yotadi?*
13. *Plank formulasidan Stefan-Bolsman va Vin doimiylari qanday keltirib chiqariladi?*

Masalalar yechish:

1. *400 K temperaturada turgan absalyut qora jismni 500 K temperaturagacha qizdirilganda nurlanish spektrining maksimumiga to‘g‘ri kelgan to‘lqin uzunlik qanchaga qisqaradi?*

Berilgan:

$T_1=400\ K$

$T_2=500\ K$

$b=2{,}9\cdot10^{-3}\ m\cdot K$

$\lambda_{m.1}-\lambda_{m.2}=?$

Yechish:

Bunda Vinning siljish qonunidan foydalanamiz.

$$\lambda_m\cdot T=b,\ \rightarrow\ \lambda_m=\frac{b}{T}$$

Har ikala hol uchun tmaksimumga to‘g‘ri kelgan to‘lqin uzunliklarni aniqlaymiz.

$$\lambda_{m.1}=\frac{b}{T_1}=\frac{2{,}9\cdot10^{-3}\ m\cdot K}{400\ K}=7{,}25\cdot10^{-6}\ m=7{,}25\ \mu m$$

$$\lambda_{m.2}=\frac{b}{T_2}=\frac{2{,}9\cdot10^{-3}\ m\cdot K}{500\ K}=5{,}8\cdot10^{-6}\ m=5{,}8\ \mu m$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Endi nurlanish spektrining maksimumiga to‘g‘ri kelgan to‘lqin uzunlik qanchaga qisqarganini aniqlaymiz.

$$\lambda_{m.1} - \lambda_{m.2} = 7{,}25\ \mu m - 5{,}8\ \mu m = 1{,}45\ \mu m$$

Javob: $\lambda_{m.1} - \lambda_{m.2} = 1{,}45\ \mu m$

2. *Ikkita absalyut qora jism T_1=800 K hamda T_2=1000 K temperaturalargacha qizdirilgan. Birinchi jismning S_1=1 m^2 yuzaidan chiqadigan nurlanish quvvati ikkinchi jismning qanday S_2 yuzasidan chiqadi?*

Berilgan:	*Yechish:*
T_1=800 K T_2=1000 K P_1=P_2	*Absalyut qora jismning to‘la nur chiqarish qobiliyati uchun* $R_T = \sigma \cdot T^4$ *formuladan, boshqa tomondan esa* $R_T = \frac{W}{S\,t} = \frac{P}{S}$
d =?	

formuladan foydalanamiz. Ularni tenglashtirib quvvatni topib olamiz.

$$P = R_T S = \sigma T^4 S$$

Endi so‘ralgan yuzani aniqlaymiz.

$$\begin{cases} P_1 = \sigma T_1^4 S_1 \\ P_2 = \sigma T_2^4 S_2 \end{cases};\ \Rightarrow\ P_1 = P_2,\ \rightarrow\ \sigma T_1^4 S_1 = \sigma T_2^4 S_2,\ \rightarrow$$

$$\rightarrow\ S_2 = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^4 S_1 = \left(\frac{800}{1000}\right)^4 S_1 = 0{,}8^4 \cdot 1m^2 \approx 0{,}41\ m^2$$

Javob: *0,41 m^2*

§ 17. FOTOEFFEKT QONUNLARI VA FOTOEFFEKT NAZARIYASI.

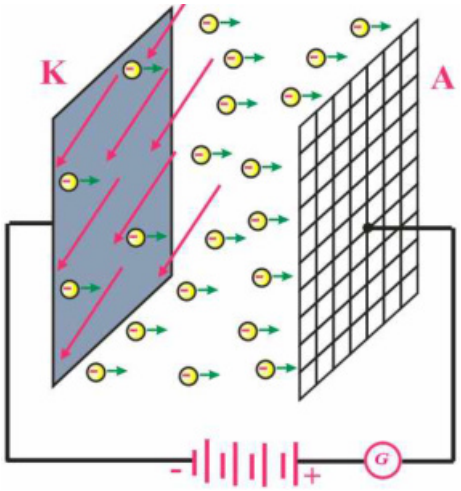
Fotoeffekt qonunlari:

Fotoeffekt – yorug‘lik ta’sirida jismdan elektronning uchib chiqish hodisasi.

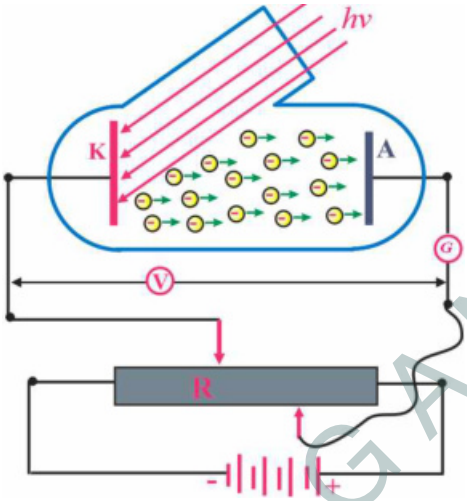
Bu hodisani birinchi bo‘lib, Genrix Gers 1887 yilda kuzatgan. Miqdoriy tekshirishlarni esa A.G.Stoletov bajardi. 17.1-rasmda Stoletov tajribasining sxemasi keltirilgan. Ikki metall elektroddan biri metall plastina bo‘lib, ikkinchisi esa to‘rsimon edi. Bu elektrodlar galvanometr orqali batareyaga ulandi. Metal plastina katod vazifasini to‘r esa anod vazifasini bajaradi.

Qurilma qorong‘ulikka joylashtirilganda galvanometr nolni ko‘rsatdi. Katod yoritilganda esa darhol galvanometr tok o‘tayotganligini ko‘rsatdi. Demak, yorug‘lik ta’sirida ajralib chiqayotgan zarralar manfiy zarralar ekan. Ular katoddan ajralib anodga tomon tortilyapti va zaryadli zarralar ko‘chkisi zanjirda tokni yuzaga keltiryapti. Bu tokni ***fototok*** deb ataldi.

SINOVDAN O‘TGAN BERILGAN

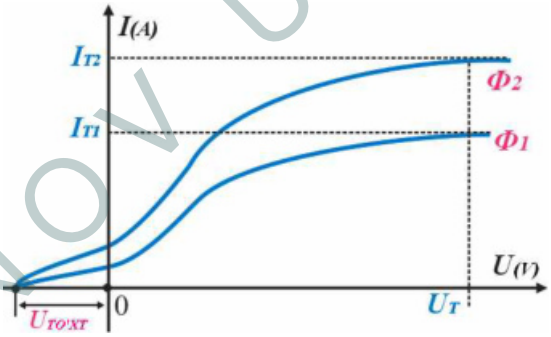


17.1-rasm

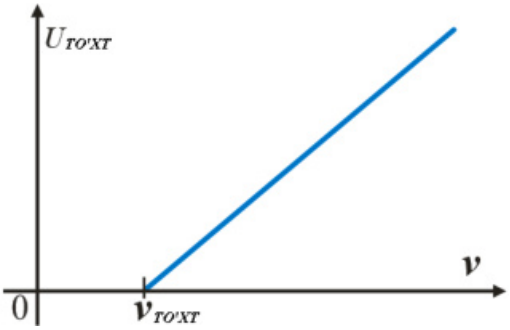


17.2-rasm

1898 yil Leonard va Tomson katoddan ajralib chiqqan zarralarning magnit maydonda og‘ishiga qarab zaryadning massaga nisbatini aniqladilar. Bunga ko‘ra $\frac{q}{m} = 1{,}76 \cdot 10^{11}\ Kl/kg$ bo‘lib chiqdi. Demak, bu noma’lum zarra elektron ekan degan xulosaga kelishdi. Tajribalarda shu narsa aniqlandiki, fotoeffekt hodisasi plastinka materialiga va uning sirtining tozalik darajasiga bog‘liq ekan. Bu hodisani yaxshiroq o‘rganish uchun 49.2-rasmdagi qurilmadan foydalanildi. Havosi so‘rib olingan shisha idish katod tekshirilishi kerak bo‘lgan metall bilan qoplandi. Uni odatda fotokatod deb ataladi. Monoxromatik nurlar dastasi shisha idish derazasidan o‘tib, katod sirtiga tushadi. Sxemadagi potensiometr elektrodlar orasidagi kuchlanishning miqdori va yo‘nalishini o‘zgartiradi. Kuchlanish voltmetr bilan, fototok esa galvanometr bilan o‘lchanadi. 49.3-rasmda yorug‘lik oqimi F_1 va F_2 bo‘lgan hollar uchun fototokning katod va anod orasidagi kuchlanishga bog‘liqlik grafigi tasvirlangan.



17.3-rasm



17.4-rasm

Rasmdan ko‘rinishicha, elektr maydon tezlatuvchi xarakterga ega bo‘lganda (*K* da *(-)*, *A* da esa *(+)*) fotokning qiymati kuchlanishga monand ravishda oshib boradi. Kuchlanishning biror qiymatidan boshlab fototok qiymati o‘zgarmay qoladi, ya’ni to‘yinadi. Bunda katoddan chiqqan har bir elektron anodga etib kelyapti, kuchlanishni yanada oshirish foyda bermaydi. Fototokning bu qiymatini ***to‘yinish toki*** deyiladi. Lekin, fotokatodga tushayotgan yorug‘lik oqimi oshirilsa,

SINOV UCHUN BERILGAN

fototokning qiymati ham oshar ekan. Masalan, 49.3-rasmda $F_2 > F_1$ da $I_{T2} > I_{T1}$ bo‘ladi.

$$\begin{cases} \Phi = \dfrac{W}{t} = \dfrac{N h\nu}{t} \\ I_T = \dfrac{q}{t} = \dfrac{N e}{t} \end{cases}$$ bo‘lgani uchun $\dfrac{\Phi_2}{\Phi_1} \approx \dfrac{I_{T2}}{I_{T1}}$ bo‘ladi deyish mumkin.

Demak, yorug‘lik oqimi necha marta oshirilsa, to‘yinish toki kuchi ham shuncha marta oshar ekan degan xulosa chiqarish mumkin. Lekin, shuni ham eslatib o‘tish kerakki, ikkala xarakteristikada ham to‘yinish aynan bitta kuchlanishdan boshlab sodir bo‘lar ekan, ya’ni $U_{T2}=U_{T1}=U_T$ bo‘lar ekan.

Bu tajriba fotoeffektning birinchi qonunini keltirib chiqaradi.

Muayyan fotokatodga tushayotgan yorug‘likning spektral tarkibi o‘zgarmas bo‘lsa, fotokning to‘yinish qiymati yorug‘lik oqimiga to‘g‘ri proporsionaldir.

17.3-rasmda katod va anod orasidagi kuchlanish nolga teng bo‘lganda ham fototok mavjud. Hatto $U<0$ bo‘lgan (K da $(+)$, A da esa $(-)$) hollarda ham fototok kuzatiladi. Bunday holda elektr maydon to‘xtatuvchi xarakterga ega bo‘lib, katod (K) dan anod (A) ga harakatlanayotgan fotoelektronlar maydon kuchlariga qarshi ish bajaradi. Bu ish fotoelektronlarning kinetik energiyasi evaziga bajariladi. Agar elektr maydon etarlicha katta bo‘lsa, fotoelektronlar anodga etib bormasdan o‘z energiyasini sarflab qo‘yadi. Bu holga mos keluvchi tormozlovchi kuchlanishning qiymatini ***to‘xtatuvchi kuchlanish*** $U_{TO'XT}$ (ba’zan to‘xtatuvchi potensial) deyiladi. Rasmdan ko‘rinishicha $U<0$ da tormozlovchi maydon kuchaytirilgan sari fototok ohista kamayib boradi. $U=U_{T\,O'XT}$ da esa $I=0$ bo‘ladi. Demak, fotokatoddan ajralib chiqayotgan elektronlarning tezliklari turlicha bo‘lib, $U=U_{TO'XT}$ da hatto eng katta tezlikka ega bo‘lgan fotoelektron ham manzilga yetib kelishga kinetik energiyasi (qurbi) yetmayapti. Bu chegaraviy holni quyidagicha yozamiz:

$$eU_{TO'XT} = \frac{1}{2} m \vartheta_{\max}^2 \qquad \textbf{(17.1)}$$

Bu yerda: $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\, Kl$, $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}\, kg$ – elektron zaryadi va massasi, $\vartheta_{\max}$ – fotoelektronning maksimal tezligi.

Yuqoridagi ifodadan $\vartheta_{\max}$ ni topamiz.

$$\vartheta_{\max} = \sqrt{\frac{2eU_{to'xt}}{m_e}} = 5{,}93 \cdot 10^5 \sqrt{U_{to'xt}} \quad [m/s] \qquad \textbf{(17.2)}$$

Chastotalar turlicha bo‘lgan monoxromatik nurlar bilan o‘tkazilgan tajribalar natijasida fotoeffektning ikkinchi qonunini yuzaga keladi.

Muayyan fotokatoddan ajralib chiqayotgan fotoelektronlar boshlang‘ich tezliklarining maksimal qiymati yorug‘lik oqimiga bog‘liq emas. Yorug‘lik chastotasi o‘zgarsa, fotoelektronlarning maksimal tezliklari ham o‘zgaradi.

SINOV UCHUN BERILGAN

17.4-rasmda to‘xtatuvchi kuchlanishning yorug‘lik chastotasiga bog‘liqlik grafigi tasvirlangan. Rasmdan ko‘rinishicha, to‘xtatuvchi kuchlanish yorug‘lik chastotasiga chiziqli bog‘langan ekan. Chastotaning biror v_q qiymatida $U_{to'xt}=0$, ya’ni $\vartheta_{max}=0$ bo‘lar ekan. $v<v_q$ chastotali yorug‘lik fotoeffektni yuzaga keltirmas ekan. Fotoeffekt sodir bo‘lishi uchun $v>v_q$ chastotali yorug‘lik ta’sir etish kerak. $v=v_q$ bo‘lgan chegaraviy chastotani ***chastotaning qizil chegarasi*** deyiladi.

Fotoeffektning uchinchi qonunini ana shu qizil chegara haqidagi xulosadir.

Har bir fotokatod uchun biror “qizil chegara” mavjud bo‘lib, bu chegaradan kichikroq chastotali yorug‘lik bilan fotoeffekt yuzaga kelmaydi. $v_K$ning qiymati yorug‘lik intensivligiga mutlaqo bog‘liq emas, u faqat fotokatod materiali va sirtning tozaligiga bog‘liq.

Kuzatishlardan shu narsa ma’lum bo‘ldiki, fotoelementga yorug‘lik tushgani zahoti, galvanometr tok o‘tayotganligini ko‘rsatdi, ya’ni fototokni ko‘rish uchn vaqt sarflanmadi. Nihoyat, fotoeffektning to‘rtinchi qonunini quyidagicha ta’riflanadi:

Yorug‘likning fotokatodga tushishi bilan, fotoelektronlarning hosil bo‘lishi orasida sezilarli vaqt o‘tmaydi, ya’ni fotoeffekt inersiyasiz jarayondir.

Fotoeffekt nazariyasi:

Fotoeffektning faqat 1-qonunini to‘lqin nazariya asosida tushuntirish mumkin. Lekin, 2-, 3- va 4-qonunularni to‘lqin nazariya tushuntirishga ojizlik qiladi.

To‘lqin nazariyaga ko‘ra haqiqatan ham ixtiyoriy to‘lqin uzunlikdagi yorug‘lik intensivligi ortgan sari fotoelektronlarning energiyasi ham ortib borishi kerak edi. Lekin, tajribalarning ko‘rsatishicha fotoelektronlarning energiyasi yorug‘lik intensivligiga mutlaqo bog‘liq emas ekan.

Ikkinchidan, to‘lqin nazariyaga ko‘ra elektron metalldan ajralib chiqishi uchun kerak bo‘lgan energiyani har qanday uzunlikdagi to‘lqindan olish mumkin. Faqat intensivlik yetarlicha katta bo‘lishi kerak. Lekin, to‘lqin uzunligi “qizil chegara”dan katta bo‘lgan yorug‘lik intensivligi har qancha katta bo‘lsa ham fotoeffekt hosil qila olmadi. Aksincha, to‘lqin uzunligi “qizil chegara”dan kichik bo‘lgan yorug‘lik juda past intensivlikka ega bo‘lsa ham fotoeffekt hosil qila oldi. Bundan tashqari nihoyat zaif intensivlikdagi yorug‘lik tushayotganda to‘lqin nazariyaga asosan, metalldagi elektron metalldan chiqishi uchun kerak bo‘lgan energiyani yig‘ib olishi uchun soatlab vaqt kerak. Tajribalarda esa metallga yorug‘lik tushishi va va fotoelektron vujudga kelishi orasida $10^{-9}s$ chamasi vaqt o‘tar ekan. Boshqacha aytganda, fotoeffekt hodisasi inersiyasiz jarayon ekan deyish mumkin.

Demak, yorug‘likning to‘lqin nazariyasi va fotoeffekt orasida mos kelmasliklar mavjud ekan. Shuning uchun, yorug‘likni uzluksiz elektromagnit to‘lqini deb tasavvur etish yorug‘likning tabiatini to‘la aks ettirmas ekan, degan fikr paydo

SINOV UCHUN BERILGAN

bo‘ldi. Bu fikr *1905* yil Eynshteyn yorug‘likning kvant tabiatini yaratishiga asos bo‘ldi. Eynshteyn Plank gipotezasini rivojlantirib quyidagi g‘oyani ilgari surdi:

Yorug‘lik kvantlar tariqasida nurlanibgina qolmay, balki yorug‘likning tarqalishi ham, yutilishi ham kvantlashgan bo‘ladi.

Bu g‘oyaga asosan yorug‘lik oqimini yorug‘lik kvantlari (fotonlar) oqimi deb tasavvur qilish lozim. Fotoeffekt hodisasida esa bu fotonlardan ayrimlarining metall sirtiga yaqin joylashgan ayrim elektronlar bilan ta’sirlashuvi ro‘y berar ekan (odatda, metall sirtiga tushayotgan fotonlarning taxminan mingdan biri fotoeffektni hosil qilishda ishtirok etadi, qolganlari esa kristal panjaralari bilan ta’sirlashadi).

Eynshteyn fotoeffektga energiyaning saqlanish qonunini qo‘lladi. $h\nu$ energiyali foton elektronga urilganda o‘z energiyasini elektronga beradi.

Ta’sirlashuvga qadar yorug‘lik kvanti tarzida namoyon bo‘layotgan energiya ta’sirlashuvdan keyin elektronning energiyasiga aylanadi. Agar bu energiya yetarlicha katta ($h\nu > A_{chik}$) bo‘lsa, metalladan elektron ajralib chiqadi. Energiyaning qolgan qismi esa metalldan tashqariga chiqib olgan elektronning (fotoelektronning) maksimal kinetik energiyasiga aylanadi.

$$h\nu = A_{chiq} + \frac{m_e \vartheta_{\max}^2}{2} \qquad \textbf{(17.3)}$$

Biz hozirgina elektronning maksimal kinetik energiyasi degan so‘zni ishlatdik. Nima, fotoelektronlarning boshqacha energiyasi ham bo‘lishi mumkinmi? – Mumkin, bunga quyidagicha javob beramiz.

Agar foton kristall panjara sirtidagi elektronga tushsa, elektron faqat metalldan chiqib olish uchungina energiya sarflaydi. Bu sarflagan energiyasi ***metalladan chiqish ishi*** deyilib, qolgan energiya esa elektronning maksimal kinetik energiyasi deyiladi. Chiqish ishining qiymati bir necha *eV* tartibida bo‘lib, u metall turiga bog‘liq. 17.1-jadvalda chiqish ishining har xil metallar uchun qiymatlari berilgan *(eV)*. Jadvaldan foydalanishda $1eV = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,J$ deb hisoblash kerak.

17.1-jadval

Volfram	4,5	Mis	4,47	Kumush	4,74
Temir	4,74	Molibden	4,2	Simob	4,52
Oltin	4,68	Natriy	2,3	Rubidiy	2,13
Kaliy	2,2	Nikel	5,0	Tantal	4,07
Litiy	2,4	Bariy Oksid	1,0	Seziy	1,97
Magniy	3,46	Platina	5,29	Rux	4,2

Agar foton kristall panjaraning ichkariroq qismidagi elektronga tushsa, bu elektron kristall panjara sirtiga yetib kelguncha panjara tugunlaridagi atomlar bilan bir necha marta noelastik to‘qnashib o‘z energiyasini kamaytiradi. Demak, bunda elektron tashqariga chiqquncha chiqish ishidan tashqari panjara tugunlari bilan

SINOV UCHUN BERILGAN

to‘qnashuvda ham energiya yo‘qotar ekan. Ortib qolgan energiya elektronning maksimal kinetik energiyasidan kichik bo‘ladi.

Fotoeffekt uchun Eynshteyn formulasidan foydalanib, Plank nomi bilan mashhur konstantaning son qiymatini aniqlash mumkin. Agar kuchlanish to‘xtatuvchi xususiyatga ega bo‘lsa, elektronlarning maksimal kinetik energiyasi katoddan chiqib anodga tomon borayotganda elektr maydoniga qarshi ish bajarishga sarf bo‘ladi. Demak, $eU_{to'xt}=\frac{1}{2}m\vartheta_{\max}^2$ bo‘lar ekan. Shuni bilgan holda Plank doimiysini topish mumkin.

$$\begin{cases} h\nu_1 = A_{CHIQ}+\frac{m_e\vartheta_{\max.1}^2}{2}=A_{chiq}+eU_{to'xt.1} \\ h\nu_2 = A_{CHIQ}+\frac{m_e\vartheta_{\max.2}^2}{2}=A_{chiq}+eU_{to'xt.2} \end{cases}, \rightarrow h\nu_2-h\nu_1=eU_{to'xt.2}-eU_{to'xt.1}, \rightarrow h=\frac{e\left(U_{T.2}-U_{T.1}\right)}{\nu_2-\nu_1}$$

Shunday qilib, agar fotoplastinka ν_1 chastotali monoxromatik nur bilan yoritilganda, fototokni to‘xtatuvchi potensial U_1 bo‘lsa va ν_2 chastotali monoxromatik nur bilan yoritilganda esa, fototokni to‘xtatuvchi potensial U_2 bo‘lsa, Plank doimiysini topish formulasi quyodagicha bo‘lar ekan:

$$h=\frac{e\left(U_{T.2}-U_{T.1}\right)}{\nu_2-\nu_1} \qquad \textbf{(17.5)}$$

Metalldan elektron tashqariga ajralib chiqayotganligi uchun yuqoridagi formulani ***tashqi fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasi*** deyiladi.

Eynshteyn tenglamasi fotoeffektning barcha qonunlarini tushuntira oladi. Xususan, fotoeffekt amalga oshishi uchun kerak bo‘ladigan fotonning eng kichik qiymati, elektronning metalldan chiqish ishi qiymatiga teng bo‘ladi.

$$A_{chiq}=h\,\nu_q=\frac{hc}{\lambda_q} \qquad \textbf{(17.6)}$$

Bu ifoda fotoeffektning “qizil chegara”sini aniqlaydi. “Qizil chegara” tushayotgan yorug‘lik intensivligiga mutlaqo bog‘liq emas. Yorug‘lik intensivligi fotonlar sonini xarakterlaydi, xolos. Intensivroq yorug‘lik bilan yoritilsa metall sirtiga ko‘proq foton kelib tushadi va bu fotoelektronlar soni ortishiga sabab bo‘ladi. Demak, tok kuchi ham ortar ekan.

Chastota yoki to‘lqin uzunlikning qizil chegarasi quyidagicha topiladi:

$$\nu_q=\frac{A_{chiq}}{h},\quad \lambda_q=\frac{hc}{A_{chiq}} \qquad \textbf{(17.7)}$$

Bu yerda $h=6{,}63\cdot10^{-34}\,[J\cdot s]$ – Plank nomi bilan mashhur konstanta.

Masalalar yechishda oson bo‘lish uchun yuqoridagi formulada hc kattalikni $hc=1{,}9878\cdot10^{-25}\,[J\cdot m]\approx2\cdot10^{-25}\,[J\cdot m]$ deb hisoblash mumkin.

SINOV UCHUN BERILGAN

Eynshteyn tenglamasi elektron faqat bitta fotonni yutadi degan tasavvurga asoslangan. Agar metall sirti intensivligi juda katta bo‘lgan yorug‘lik bilan yoritilsa, elektronga bir vaqtda ikkita foton tushishi mumkin. Elektron yutgan energiya ikkala foton energiyasiga teng. Bunda sodir bo‘ladigan fotoeffekt ***ko‘p fotonli fotoeffekt*** deyiladi. Tabiiyki, ko‘p fotonli fotoeffektning “qizil chegarasi” kichik chastotalar sohasiga siljiydi.

Fotoeffekt yorug‘likning kvant tabiatini namoyish qiluvchi dalillardan biridir.

Mavzu yuzasidan savollar

1. *Fotoeffekt deb nimaga aytiladi?*
2. *Fotoeffekt qonunlarini aytib bering. Bu qonunlarning qaysilarini to‘lqin nazariya bo‘yicha tushuntirib bo‘lmaydi?*
3. *Fotoeffekt uchun Eynshteyn formulasini yozing.*
4. *Qizil chegara nima? Qizil chegarani aniqlovchi chastota vato‘lqin uzunli formulasini yozing.*
5. *To‘xtatuvchi potensial nima? Elektronning maksimal kinetik energiyasi deganda nimani tushunasiz?*
6. *Fotoelektronning maksimal tezligini aniqlovchi formulani keltirib chiqaring.*

Masala yechish:

1. *Muayyan metall uchun fotoeffektning qizil chegarasi 331 nm bolsa, fotoeffektni vujudga keltiruvchi foton energiyasining minimal qiymati qanday (eV)? h=6,6310^{-34} J·c.*

A) 2,45 B) 2,6 C) 2,75 D) 3,75 E) 4,5

Berilgan: | *Yechish:*

$\lambda_q = 331\ nm$

$h\nu = ?$

Fotoeffekt sodir bo‘lishi uchun tushayotgan yorug‘lik energiyasi metaldan elektronning chiqish ishiga teng bo‘lishi kerak. Demak,

$$h\nu = \frac{hc}{\lambda_q} = 3{,}75\ eV$$

bo‘lar ekan.

Javob: *D) 3,75 eV*

2. *To‘lqin uzunligi necha mkm bolgan yoruglik chiqish ishi 6,9·10^{-19} J bolgan metalldan elektronlarni ajrata oladi? h=6,6 10^{-34} J·s.*

Berilgan: | *Yechish:*

$A = 6{,}9 \cdot 10^{-19} J$

$\lambda_q = ?$

Fotoeffekt sodir bo‘lishi uchun minimal to‘lqin uzunlikka fotoeffekt qizil chegarasi deyiladi. yani $h\nu = A$ *bundan esa*

$$\lambda_q = \frac{hc}{A} = 0{,}29\mu m$$

natija kelib chiqadi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Javob: *0,29 μm*

3. *Elektronlarining chiqish ishi 1,6 eV bo'lgan metall plastina 3 eV energiyali fotonlar oqimi bilan uzoq vaqt yoritilganda, necha volt potentsialgacha zaryadlanadi?*

Berilgan:	*Yechish:*
$A = 1{,}6\ eV$ $h\nu = 3\ eV$	*Fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasi ga ko'ra* $h\nu = A + E$ *bundan elektronlarning kinetik energiyasi* $E = h\nu - A = 1{,}4\ eV$ *ga teng. demak e kinetik energiya bilan elektr maydoda harakatlanganda* $\frac{mv^2}{2} = eU$ *petentsial energiyaga ham ega bo'ladi. Demak,*
$U = ?$	$U = \frac{mv^2}{2e} = \frac{E}{e} = 1{,}4\ V$

bo'lar ekan.

Javob: *1,4 V*

§ 18. FOTON VA UNING XARAKTERISTIKALARI. KOMPTON EFFEKTI VA YORUG'LIK BOSIMINI KVANT NAZARIYA BO'YICHA TUSHUNTIRISH.

Fototnning xarakteristikalari:

Issiqlik nurlanishi, fotoeffekt hodisalarini yorug'likning kvant nazariyasi asosida tushuntirildi. Yorug'lik zarralar oqimi, ya'ni fotonlar oqimidan iborat bo'lib, yorug'lik energiyasi ana shu fotonlarda mujassamlashgan. Foton energiyasi va tebranish chastotasi orasida bog'lanish $\varepsilon = h\nu$ munosobat bilan aniqlanadi. Ikkinchidan, massa va energiya orasidagi $W = mc^2$ bog'lanishni e'tiborga olsak, fotonning massasini topish mumkin.

$$m_f = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} \qquad (18.1)$$

Bunda hisoblab topilgan massa foton $\vartheta = c$ tezlik bilan harakatlangandagi qiymatdir. Xo'sh, fotonning tinchlikdagi massasi qanday? Buni nisbiylik nazariyasidagi formula bo'yicha topamiz.

$$m_0 = m_f\sqrt{1-(\vartheta/c)^2} = m_f\sqrt{1-(c/c)^2} = m_f\sqrt{1-1} = 0 \qquad (18.2)$$

Demak, yorug'lik fotonining tinchlikdagi massasi $m_f = 0$ ekan. Boshqacha aytganda, "foton to'xtab qolsa", uning barcha xususiyatlari ham yo'qoladi. Massasi ham, energiyasi ham nolga teng bo'ladi. fotonning "to'xtashi" bu uning boshqa jism tomonidan yutilishidir. To'xtash jarayonida fotonning energiyasi va massasi uni yutuvchi jismga o'tadi. Natijada, yutuvchi jismning massasi va energiyasi ortadi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Demak, yorug‘lik fotonining boshqa zarralar(atom, molekula, elektron va h.) dan muhim farqi shundaki, u tinchlikda massaga ega bo‘lmaydi. Foton faqat harakatlanish jarayonidagina mavjud bo‘lib, uning tezligi yorug‘lik tezligiga tengdir.

Har qanday harakatlanuvchi zarra kabi fotonlar ham impulsga ega.

$$p_f = m_f c = \frac{h\nu}{c^2}\cdot c = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \qquad [kg\cdot m/s] \tag{18.3}$$

Boshqa zarralar kabi foton ham energiya $\varepsilon = h\nu$, massa $m_f = \frac{h\nu}{c^2}$, impuls $p_f = \frac{h\nu}{c}$ bilan xarakterlanadi. Massa va energiyaning mavjudligi – bu zarraning mavjudlik alomatidir.

Fotonlar tinchlikda massaga ega emas, ya’ni fotonning tinchlikdagi massasi nolga teng. Fotonlar paydo bo‘lgani zahoti yorug‘lik tezligiga erishadi.

Agar P quvvatga ega bo‘lgan lampochka ν chastotali fotonlar nurlasa, Δt vaqtda nurlaydigan fotonlar soni quyidagicha bo‘ladi:

$$N = \frac{P\,\Delta t}{h\nu} \tag{18.4}$$

Fotonning absalyut qora sirtga beradigan impulsi quyidagicha bo‘ladi:

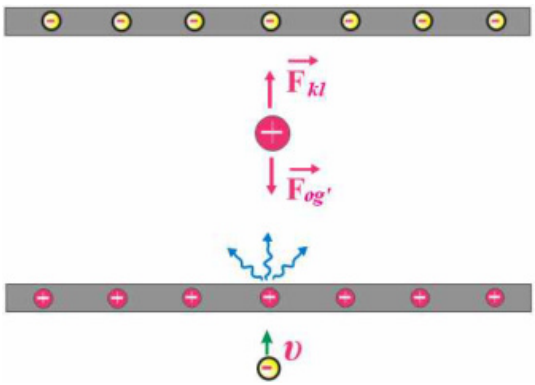
$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h\nu}{c} \tag{18.5}$$

Fotonning absalyut oq sirtga beradigan impulsi quyidagicha bo‘ladi:

$$p = \frac{2h}{\lambda} = \frac{2h\nu}{c} \tag{18.6}$$

Foton mavjudligi bir qancha tajribalarda tasdiqlandi va shulardan ba’zilari bilan tanishamiz.

A.F.Ioffe va N.I.Dobronravovlar amalga oshirgan tajribada zaryadlangan vismut *(Bi)* zarrasi yassi kondensator qoplamalari orasida muallaq turadi. Zarraning og‘irlik kuchi kulon kuchi bilan muvozonatlashadi (18.1-rasm). Tajribada kondensatorning *A* qoplamasi bir vaqtning o‘zida rentgen trubkasining anodi vazifasini bajaradi. Juda kichik intensivlikdagi elektronlar oqimi *A* anodga kelib urilgach tormozlanib rentgen nuri chiqaradi. *1s.*da taxminan *1000* ga yaqin rentgen impulslari chiqariladi. Bu nurlar ta’sirida chamasi *30 minut* vaqtda bir marta zarra titrab muvozonatdan chiqadi. Hisoblarning ko‘rsatishicha, shu vaqt ichida zarra yo‘nalishida bitta rentgen kvanti nurlanar ekan. Bu kvant zarra bilan



18.1-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

to‘qnashganda fotoeffekt hodisasi ro‘y beradi. Natijada zaryadi o‘zgargan zarra muvozonatdan chiqib titraydi. Demak, rentgen nurlarining zarra bilan ta’sirlashuvi kvant xarakterga ega ekan. Agar rentgen nurlari to‘lqin tarzida tarqaladi deb tasavvur qilinsa, zarradan elektron ajralib chiqishi uchun kerak bo‘lgan energiya chiqish ishi A_{chiq} ga yetguncha jamlanishi zarur. Rentgen nurining intensivligi juda past bo‘lgani uchun A_{chiq} ga teng energiya yig‘ilishini sutkalab kutish kerak bo‘lar ekan.

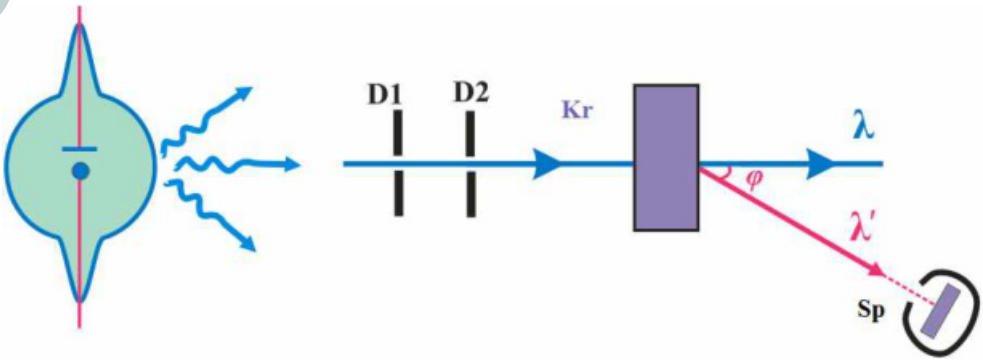
S.I.Vavilovning fikriga ko‘ra, yorug‘lik oqimi fotonlar yig‘indisidan iborat bo‘lsa, statistika qonunlariga asosan fotonlarning fluktuatsiyasi (fluktuatsiya–fizik kattalikning o‘rtacha qiymatdan tasodifiy chetga chiqishi) kuzatilishi lozim. 1933-1942 yillar davomida o‘tkazilgan kuzatishlarda bu fikr tasdiqlandi. Natijada, yorug‘likning foton tabiatini isbotlovchi yana bir dalilga erishildi.

Kompton effekti:

Kompton effekti deb nom olgan hodisani 1923 yilda A.Kompton rentgen nurlarining sochilishiga oid tajribada aniqladi. Tajriba sxemasi 18.2-rasmda tasvirlangan. D_1 va D_2 diafragmalar yordamida ingichka dasta shakliga keltirilgan rentgen nurlari sochuvchi kristal Kr ga tushadi. Sochilgan nurlarni rentgen spektograf Sp da to‘lqin uzunliklar bo‘yicha analiz qiladi. Kompton rentgen nurlarining turli moddalarda sochilishini o‘rganayotib, sochilgan nurlar tarkibida birlamchi to‘lqin uzunligi λ bilan bir qatorda, undan kattaroq λ' to‘lqin uzunlikka ega bo‘lgan nurlarning ham borligini sezib qoldi. Lekin boshlang‘ich tushish yo‘nalishida to‘lqin uzunlik o‘zgarmas, ya’ni $\lambda=const$ bo‘lib, tushish yo‘nalishidan φ burchak hosil qilib sochilgan nurlarning to‘lqin uzunligi kattaroq chiqishini payqadi. $\Delta\lambda=\lambda'-\lambda$ ayirma λ ga ham, sochuvchi modda tabiatiga ham bog‘liq bo‘lmas ekan. Kompton tajriba yo‘li bilan, tushayotgan va sochilgan nurlar to‘lqin uzunliklari farqi faqat sochilish burchagiga bog‘liq bo‘lishini aniqladi.

$$\Delta\lambda = K\left(1-\cos\varphi\right) = 2K\sin^2\frac{\varphi}{2} \qquad \textbf{(18.7)}$$

Bu yerda: $K = 2{,}41\cdot10^{-12}\,m$ –tajriba yo‘li bilan olingan Kompton doimiysi.



18.2-rasm

1923 yilda Artur Kompton Vashington universitetida energiya va impulsning bir nuqtadan boshqa nuqtaga faqat fotonlar orqali ko‘chirilishini isbotlovchi

SINOV UCHUN BERILGAN

mashhur tajribasini o‘tkazdi. Kompton $\lambda=70,1\ nm$ to‘lqin uzunlikdagi Rentgen nurlari dastasini uglerod kristalidan iborat nishonga yubordi. Rentgen nurining chastotasi katta bo‘lgani bois, to‘lqin uzunligi kichik bo‘ladi. Kompton har tomonga sochilgan nurlarning to‘lqin uzunligi va intensivligini o‘lchadi. U faqat tushish yo‘nalishidagi sochilgan nur avvalgiday $\lambda = 70{,}1\ nm$ bo‘lishini, qolgan φ burchak ostida nurlar esa tushuvchi nurdan $\Delta\lambda$ ga kattaroq, ya’ni $\lambda'=\lambda+\Delta\lambda$ bo‘lishini va φ ning kattaroq qiymatida $\Delta\lambda$ ham kattaroq bo‘lishini ko‘rdi.

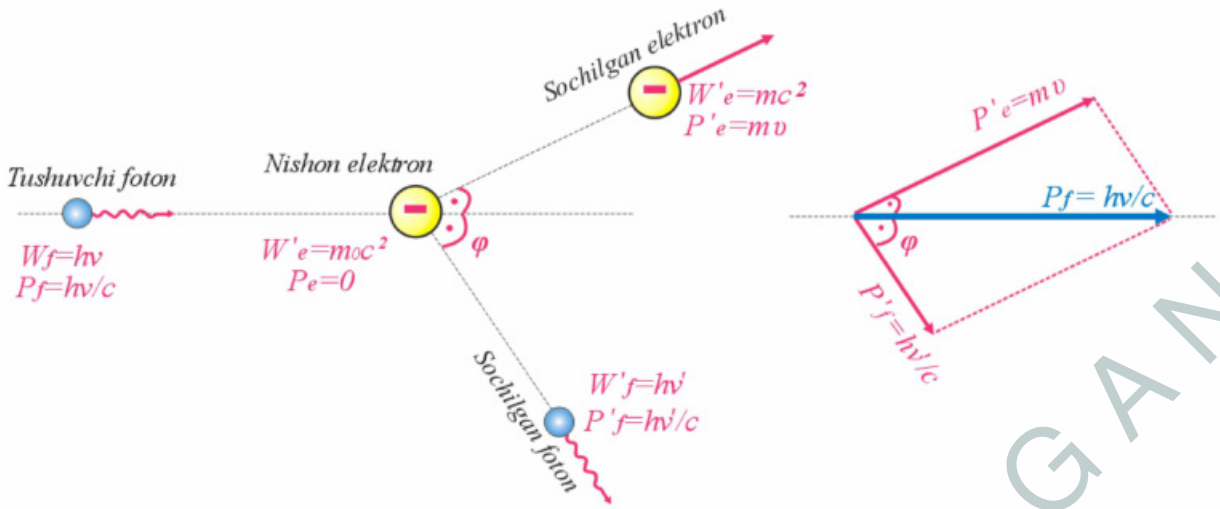
Keling, kompton effektini to‘lqin nazariya bo‘yicha tushuntirishga urinib ko‘raylik. Rentgen nurlarining o‘zgaruvchan elektr maydoni ta’sirida kristal atomlarining elektronlari majburan tebranadi va ular ikkilamchi to‘lqinlar tarqatadi. Bu ikkilamchi to‘lqinlarning (sochilgan rentgen nurlarining) chastotasi kristalga tushayotgan rentgen nurlarining chastotasi bilan bir xil bo‘ladi. Tajribada kuzatilgan sochilgan nurlar chastotasining kamayishini to‘lqin nazariya mutlaqo tushuntira olmas ekan.

Kompton effektini yorug‘likning kvant nazariyasi asosida tushuntirildi. Kompton effektini rentgen fotonlarining amalda erkin deb hisoblangan elektronlar bilan elastik to‘qnashish natijasi deb tushuntirish mumkin. Atom bilan juda kuchsiz bog‘langan, bog‘lanish energiyalari (ionlanish potensiali) fotonning elektronga to‘qnashish paytida beradigan energiyasidan ancha kichik bo‘lgan elektronlarni erkin elektron deb hisoblash mumkin. Boshlang‘ich paytda tinch turgan elektronga $W_f = h\nu$ energiyaga va $p_f = \frac{h\nu}{c}$ impulsga ega bo‘lgan foton kelib tushayotgan bo‘lsin (50.3-rasm). To‘qnashish sodir bo‘lguncha nishon elektronning energiyasi $W_e = m_0c^2$ va impulsi $p_e = 0$ bo‘lgan. Bunda m_0 – elektronning tinchlikdagi massasi. To‘qnashish paytida elektron foton energiyasining bir qismini qa’bul qiladi va ϑ tezlik bilan harakatga keladi. Natijada, bu sochilgan elektron $W'_e = mc^2$ energiya va $p'_e = m\vartheta$ impulsga erishadi. Bu yerda $m = m_0\sqrt{1-(\vartheta/c)^2}$ bilan aniqlanadi. Foton esa dastlabki yo‘nalishdan φ burchak hosil qilib sochiladi. Sochilgan fotonning energiyasi $W'_f = h\nu'$ va impulsi $p'_f = \frac{h\nu'}{c}$ bo‘ladi. Foton energiyasining bir qismini elektronga bergani uchun energiyasi kamayadi. Demak, fotonning chastotasi kamayib, to‘lqin uzunligi ortar ekan.

Kompton formulasini nazariy isbotlash uchun energiya va impuls vektorining saqlanish qonunidan foydalanamiz.

$$\begin{cases} W_f + W_e = W'_f + W_e' \\ \vec{p}_f = \vec{p}'_f + \vec{p}_e' \end{cases}$$

SINOV UCHUN BERILGAN



18.3-rasm

Bu yerda: $\begin{cases} W_f = h\nu \\ W'_f = h\nu' \end{cases}$ $\begin{cases} p_f = \dfrac{h\nu}{c} \\ p'_f = \dfrac{h\nu'}{c} \end{cases}$ $\begin{cases} W_e = m_0c^2 \\ W'_e = mc^2 \end{cases}$ $\begin{cases} p_e = 0 \\ p'_e = m\vartheta \end{cases}$ – foton va elektronning to‘qnashishgacha va to‘qnashishdan keyingi energiya va impulslari.

$$\begin{cases} h\nu + m_0c^2 = h\nu' + mc^2 \quad (*) \\ \left(\dfrac{\overrightarrow{h\nu}}{c}\right) = \left(\dfrac{\overrightarrow{h\nu'}}{c}\right) + \left(\overrightarrow{m\vartheta}\right) \quad (**) \end{cases}$$

(*) ni c ga bo‘lib, undan m_0c hadni topib, so‘ngra kvadratga ko‘taramiz.

$$\frac{h\nu}{c} + m_0c = \frac{h\nu'}{c} + mc\,, \;\rightarrow\; mc = m_0c + \frac{h}{c}(\nu - \nu')$$

$$(mc)^2 = (m_0c)^2 + 2m_0c\cdot\frac{h}{c}(\nu-\nu') + \left(\frac{h}{c}(\nu-\nu')\right)^2 = (m_0c)^2 + 2m_0h(\nu-\nu') + \left(\frac{h}{c}(\nu-\nu')\right)^2$$

(**) dan elektronning impulsini topib, uni kvadratga oshiramiz.

$$\left(\overrightarrow{m\vartheta}\right) = \left(\frac{\overrightarrow{h\nu}}{c}\right) - \left(\frac{\overrightarrow{h\nu'}}{c}\right)$$

$$(m\vartheta)^2 = \left(\frac{h\nu}{c}\right)^2 + \left(\frac{h\nu'}{c}\right)^2 - 2\left(\frac{h\nu}{c}\right)\cdot\left(\frac{h\nu'}{c}\right)\cdot\cos\varphi$$

$(mc)^2 - (m\vartheta)^2$ amalini bajaramiz.

$$m^2\left(c^2 - \vartheta^2\right) = (m_0c)^2 + 2m_0h(\nu-\nu') - 2\left(\frac{h\nu}{c}\right)\cdot\left(\frac{h\nu'}{c}\right)\cdot(1-\cos\varphi)$$

Quyidagi matematik almashtirishlarni bajarib, natijaga ega bo‘lamiz.

$$\frac{m_0^2}{1-\vartheta^2/c^2}\left(c^2-\vartheta^2\right) - (m_0c)^2 - 2m_0h(\nu-\nu') = -2\left(\frac{h\nu}{c}\right)\cdot\left(\frac{h\nu'}{c}\right)\cdot(1-\cos\varphi), \;\rightarrow$$

$$-2m_0h(\nu-\nu') = -2\left(\frac{h\nu}{c}\right)\cdot\left(\frac{h\nu'}{c}\right)\cdot(1-\cos\varphi), \;\rightarrow\; m_0(\nu-\nu') = \frac{h}{c^2}\cdot\nu\nu'\cdot(1-\cos\varphi), \;\rightarrow$$

SINOV UCHUN BERILGAN

$$m_0\left(\frac{c}{\lambda}-\frac{c}{\lambda'}\right)=\frac{h}{c^2}\cdot\frac{c}{\lambda}\frac{c}{\lambda'}\cdot(1-\cos\varphi),\ \rightarrow\ m_0\frac{\lambda'-\lambda}{\lambda\cdot\lambda'}c=\frac{h}{\lambda\cdot\lambda'}\cdot(1-\cos\varphi),\ \rightarrow\ \lambda'-\lambda=\frac{h}{m_0c}\cdot(1-\cos\varphi)$$

$$K=\frac{h}{m_ec}=\frac{6{,}626\cdot10^{-34}\ J\cdot s}{9{,}11\cdot10^{-31}\ kg\cdot3\cdot10^{8}\ m/s}=2{,}424\cdot10^{-12}\ m$$

Demak, tajriba yo‘li bilan olingan kompton formulasi va empirik yo‘l bilan olingan kompton doimiysining nazariy isbotlab chiqardik va ular quyidagicha ekan:

$$\Delta\lambda=\lambda'-\lambda=\frac{h}{m_0c}\cdot(1-\cos\varphi)=K\cdot(1-\cos\varphi)$$

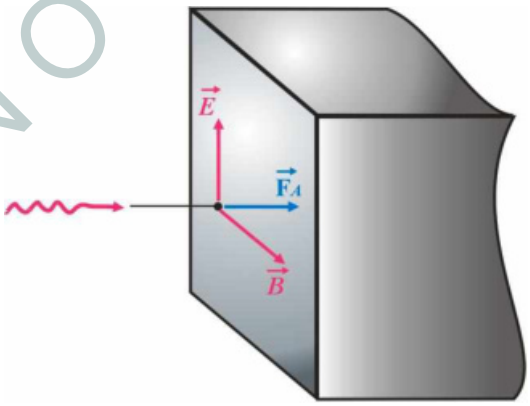
$$K=\frac{h}{m_ec}=2{,}424\cdot10^{-12}\ m \qquad (18.8)$$

Biz nazariy yo‘l bilan kompton doimiysining qiymatini yanada aniqroq chiqardik. Tajriba yo‘li bilan esa $K=2{,}41\cdot10^{-12}\ m$ qiymat olgan edik.

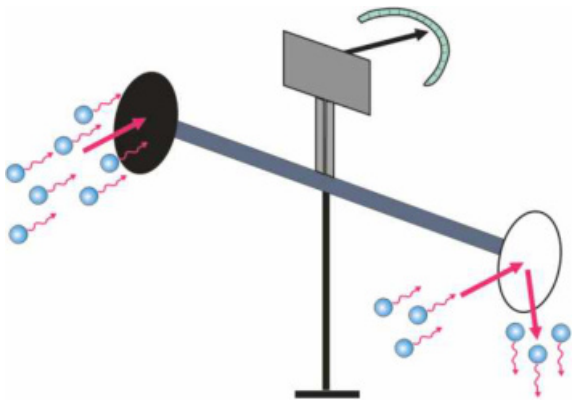
Yorug‘lik bosimi:

Maksvell nazariyasiga ko‘ra, jism sirtiga tushayotgan har qanday elektromagnit to‘lqin shu jismga bosim beradi. Bosimni vujudga kelishini quyidagicha tushuntiramiz. Yassi yorug‘lik to‘lqini metall sirtiga normal ravishda tushayotgan bo‘lsin (18.4-rasm). U holda yorug‘lik to‘lqinining $\vec{E}$ va $\vec{B}$ vektorlari metall sirti bo‘ylab yo‘nalgan bo‘ladi. Yorug‘likning elektr maydoni $\vec{E}$ ta’sirida metall sirtiga yaqin joylashgan elektronlar maydonga teskari yo‘nalishda harakatga kela boshlaydi. Lekin, shu vaqtning o‘zida yorug‘lik to‘lqinining magnit maydoni $\vec{B}$ tomonidan harakatlanayotgan elektronga F_L Lorens kuchi ta’sir qiladi. Bu kuch metall sirtiga tik ravishda ichkariga yo‘nalgan. Yoritilayotgan metall sirtining birlik yuziga ta’sir etayotgan Lorens kuchlarining yig‘indisi yorug‘lik bosimini hosil qiladi. Maksvell nazariyasi asosida o‘tkazilgan hisoblar natijasida yorug‘lik bosimi uchun quyidagi formula hosil qilindi.

$$P=(1+\rho)\omega \qquad (18.9)$$



18.4-rasm



18.5-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Bu yerda: $\omega = \frac{W}{V}$ $\left[\frac{J}{m^3}\right]$ – sirtga tushayotgan yorug‘lik dastasi energiyasining hajmiy zichligi, ρ – sirtning yorug‘likni qaytarish koeffitsienti.

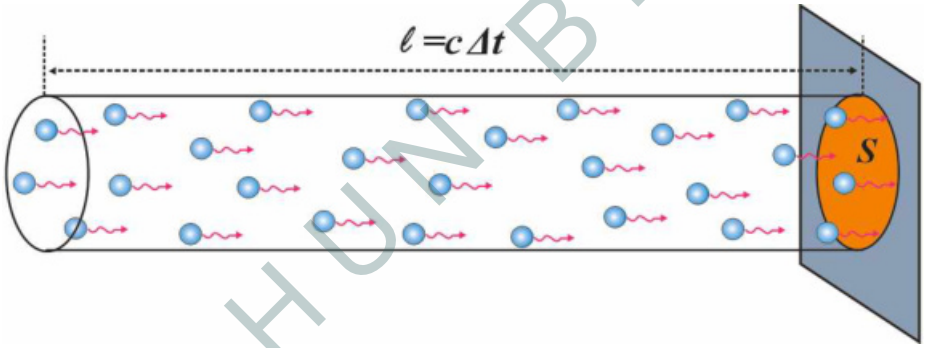
Yorug‘lik bosimini birinchi bo‘lib, 1900 yilda P.N.Lebedev tajribada quyidagicha aniqladi. Engil buraladigan parrakning qanotlaridan biri qoraytirilgan, ikkinchisi esa yaltiroq qilib yasalgan. Bu qanotlarni navbatma-navbat yoritish orqali parrakning buralishlari taqqoslanadi. Parrak o‘qiga yopishtirilgan ko‘zgudan qaytuvchi nurning og‘ishiga asoslanib, buralish burchagi topiladi. Tajribalarda yorug‘likning yaltiroq qanotga beradigan bosimi P_{yalt} qoraytirilgan qanotiga beradigan bosimi P_{qor} dan ikki marta katta bo‘lib chiqdi. Bu natija Maksvellning nazariy xulosasiga yaxshi mos keldi.

Haqiqatan ideal yaltiroq sirt uchun $\rho=1$ va bosim quyidagicha bo‘ladi:

$$P = (1+\rho)\omega = 2\omega \qquad \textbf{(18.9a)}$$

Yorug‘likni to‘la yutuvchi qora sirt uchun $\rho = 0$ va bosim quyidagicha bo‘ladi:

$$P = (1+\rho)\omega = \omega \qquad \textbf{(18.9b)}$$



18.6-rasm

Yorug‘likni kvant tasavvurlar asosida quyidagicha tushuntiramiz. Yuzasi S bo‘lgan sirtga tik holda yorug‘lik dastasi tushayotgan bo‘lsin. Bu sirtga Δt vaqt ichida $V = S\ell = Sc\Delta t$ hajmdagi N ta foton tushishga ulguradi deb hisoblaylik. Tabiiy sharoitda yorug‘lik tushayotgan sirt absalyut oq ham, absalyut qora ham emas. Shuning uchun, bu sirtning nur qaytarish qobiliyati $\rho(0<\rho<1)$ ga teng bo‘ladi. sirt o‘ziga kelib tushgan N ta fotondan ρNtasini qaytaradi, $(1-\rho)N$ tasini esa yutadi. Qaytgan fotonlar sirtga $\rho N \cdot 2\ m_F s$ ga teng impuls beradi, yutilgan fotonlar esa sirtga $(1-\rho)N \cdot m_F\ s$ ga teng impuls beradi. Natijada, Δt vaqt ichida sirt quyidagicha impuls oladi (18.6-rasm).

$$\Delta p = 2\rho N m_f c + (1-\rho)N \cdot m_f c = N \cdot m_f c(2\rho + 1 - \rho) = (1+\rho)N \cdot m_f c$$

Impulsning vaqt bo‘yicha o‘zgarishi kuchni beradi. Kuchning yuzaga nisbati esa bosimni beradi.

$$P = \frac{F}{S} = \frac{\Delta p}{S\Delta t} = \frac{(1+\rho)N \cdot m_\phi c}{S\frac{\ell}{c}} = \frac{(1+\rho)N \cdot m_f c^2}{V}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Bu yerda: $W_0 = m_f c^2$ – bitta fotonning energiyasi;

$W - NW_0$ – sirtga Δt vaqt ichida tushgan energiya;

$\omega = \frac{W}{V}$ $\left[\frac{J}{m^3}\right]$ – yorug‘lik energiyasining hajmiy zichligi.

Yorug‘lik bosimi quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$P = \Delta p = (1+\rho)\frac{N \cdot m_f c^2}{V} = (1+\rho)\frac{N \cdot W_0}{V} = (1+\rho)\frac{W}{V} = (1+\rho)\omega \qquad (18.10)$$

Bu formula Maksvell nazariyasi bo‘yicha chiqarilgan formulaning o‘zginasidir.

Yorug‘likning bosimga ega bo‘lishini 1864-yilda J.K.Maksvell tomonidan aniqlangan. Eksperimental ravishda P.N.Lebedev tomonidan 1900-yilda $P=4,8\cdot10^{-8}$ *Pa* ekanligini o‘lchadi. Yorug‘likning bosimga ega bo‘lishi, fotonning impulsi borligini ifodalaydi, ya’ni son-sanoqsiz fotonlar beradigan impulslar yig‘indisi qo‘shilib sirtga beradigan bosimni hosil qiladi. Bitta fotonning absalyut oq sirtga va absalyut qora sirtga tushganda sirt oladigan impulslari ikki marta farq qiladi. Xuddi shuningdek, barcha fotonlar absalyut oq va qora sirtlarga tushganda hosil bo‘ladigan bosimlar ham ikki marta farq qiladi.

Absalyut oq sirt uchun bosim

$$P = (1+1)\omega = 2\omega = 2\frac{W}{V} = 2\frac{W}{S\ell} = \frac{2W}{cS\Delta t}$$

bo‘ladi.

Demak, agar yuzasi S bo‘lgan sirtga Δt vaqtda tushgan W yorug‘lik energiyasining hammasi yuzadan qaytsa, (absalyut oq sirt) yorug‘likning sirtga beradigan bosimi quyidagicha bo‘lar ekan:

$$P = \frac{2W}{cS\Delta t} \qquad (18.11)$$

Absalyut qora sirt uchun yorug‘lik bosimi quyidagicha boladi:

$$P = (1+0)\omega = \omega = \frac{W}{V} = \frac{W}{S\ell} = \frac{W}{cS\Delta t}$$

Demak, agar yuzasi S bo‘lgan sirtga Δt vaqtda tushgan W yorug‘lik energiyasining hammasi sirtga yutilsa, (absalyut qora jism) yorug‘likning sirtga beradigan bosimi quyidagicha bo‘ladi:

$$P = \frac{W}{cS\Delta t} \qquad (18.12)$$

Shunday qilib, yorug‘likning sirtga beradigan bosimini miqdoriy baholovchi formulani faqat kvant nazariya bo‘yicha hisoblash mumkin bo‘ldi.

Mavzu yuzasidan savollar

1. Foton nima? Fotonning massasi, energiyasi va impulsi formulalarini yozing.

2. Foton terminini kim kiritgan? Ioffe va Dobronravovlar yorug‘lik zarralar oqmi

SINOV UCHUN BERILGAN

ekanini qaysi yo‘l bilan aniqlqganlar? Vavilov-chi?

2. *Kompton effekti nima? Bu effekt qaysi nazariya asosida tushuntirildi?*
3. *Kompton doimiysining formulasi va son qiymatini yozing. Kompton effektidagi to‘lqin uzunlik o‘zgarishi nimalarga bog‘liq?*
4. *Yorug‘lik bosimi dastlab qaysi va kimning nazariyasi asosida tushuntirilgan?*
5. *Yorug‘lik bosimini qachon va kim tomnidan o‘lchangan?*
6. *Yorug‘lik bosimining formulasini yozing. Bu formula qaysi nazariya asosida keltirib chiqariladi?*
7. *Yorug‘likning absalyut oq va absalyut qora sirtga beradigan bosimlari ifodalarini yozing. Ular necha marta farq qiladi?*

Masala yechish:

1. *To‘lqin uzunligi 10^{-7} m bo‘lgan fotonning energiyasi qanday (eV) bo‘ladi? $h=4\cdot10^{-15}$ eV·s.*

A) 1 B) 2 C) 4 D) 8 E) 12

Berilgan:

$h = 4{,}1 \cdot 10^{-15} eVs$

$\lambda = 10^{-7} m$

$E = ?$

Yechish:

Fotonning energiyasi $E = h\nu$ *va elektromagnit nurlar uchun* $\nu = \frac{c}{\lambda}$ *ekanligini etiborga olsak*

$E = h\frac{c}{\lambda} = 12\ eV$ *ga teng*

Javob: *E)*

2. *To‘lqin uzunligi 2 μkm bo‘lgan nurlanish fotonining massasini toping (kg). $h=6{,}6\cdot10^{-34}$ J·s.*

Berilgan:

$\lambda = 2\ \mu m$

$m_f = ?$

Yechish:

Foton energiyasi $E = h\nu$ *va eynshteyn nazariyasi* $E = m_f c^2$ *ifodalarini umumlashtirib,* $m_f = \frac{h\nu}{c^2}$ *ifodafa ega bo‘lamiz. Bunda* $\nu = \frac{c}{\lambda}$ *ekanligini etiborga olsak*

$$m_f = \frac{h}{c\lambda} = 1{,}1 \cdot 10^{-36} kg$$

Javob: $m_f = 1{,}1 \cdot 10^{-36} kg$

§ 19. ELEKTROMAGNIT TO‘LQINLAR SHKALASI.

Infraqizil va ultrabinafsha nurlar:

Oldingi bobda dispersiya hodisasi bilan tanishgan edik. Dispersiya hodisasini o‘rganishda spektrlarga ajralgan nurlarga termometr biror vaqt davomida tutib turilganda temperatura ma’lum darajaga ko‘tarildi. Yettita termometr olinib kamalakning yettita rangiga teng vaqt davomida tutib turilsa, eng yuqori temperaturani qizil nurga tutilgan termometr, eng past teperaturani esa binafsha nurga tutilgan termometr va qolgan termometrlar esa oraliq temperaturalarni

SINOV UCHUN BERILGAN

ko‘rsatar ekan. Bundan qizil nur o‘zini issiqlik tarzda namoyon etar ekan degan xulosa chiqarish mumkin bo‘ladi.

Agar termometr qizil nurdan tepa tomonga tutib turilsa, termometrning yanada kuchliroq qizib ketganligini guvohi bo‘lish mumkin. Demak, qizil nurdan tepa tomonda ko‘zimizga ko‘rinmas qandaydir nur bor ekan. Ana shu nur o‘zini qizil nurga nisbatan ham ko‘proq issiqlik tarzida namoyon etar ekan. Spektrda qizil nurlardan avval joylashgan, ko‘zga ko‘rinmaydigan nurlar $(0,77-360\,\mu m)$ ***infraqizil nurlar*** deyiladi. Infraqizil nurlarning to‘lqin uzunligi qizil nurlarga nisbatan katta, chastotasi esa kichik bo‘ladi. Qizdirilgan har qanday jism infraqizil nurlarni chiqarganligidan ***isiqlik nurlari*** deyiladi. Xonadagi issiq pechka yoki isitish batareyasi atrofidagi jismlarni sezilarli darajada isituvchi infraqizil nurlar chiqaradi. Infraqizil nurlar lak-bo‘yoq qoplamalarini, sabzavot va mevalarni quritishda ishlatiladi. Yirtqich hayvonlarning deyarli hammasi, it va boshqa hayvonlarning ko‘rish diaplzoni insonnikiga qaraganda kengroq bo‘lib, infraqizil sohani ham ko‘radi. Shuning uchun, bu hayvonlarning ko‘zi kechasi juda yaxshi ko‘radi. Lekin, tovuq, kabutar kabi ba’zi qushlarning ko‘rish diapozoni inson ko‘zinikiga nisbatan torroq bo‘lib, qizil nurni yaxshi ko‘rmaydi yoki umuman ko‘rmaydi. Agar tovuq yoki kabutarning oldiga qip-qizil kiyinib borilsa, ular odamni yaxshi payqamay qoladi. Tovuq va kabutarlarning qosh qoraya boshlashi bilanoq ko‘rmay qoladi. Chunki, Quyosh botishi oldidan qizarganda, atmosferada boshqa nurlar yutilib, qizil nur yutilmasdan Yer sirtigacha yetib keladi. Quyosh botishi oldida qizarishining sababi ham ana shunda.

Agar termometr binafsha nurdan pastga tomon tutib turilsa, termometrning binafsha rangga tutilgandan ko‘ra ham kuchsiz qizishiga guvoh bo‘lish mumkin. Demak, binafsha nurdan quyida ko‘zimizga ko‘rinmas qandaydir nur bor ekan. Spektrda binafsha nurlardan keyin joylashgan, ko‘zga ko‘rinmaydigan nurlar $(0{,}05-0{,}4 mkm)$ ***ultrabinafsha nurlari*** deyiladi. Ultrabinafsha nurlarning to‘lqin uzunligi binafsha nurlarga nisbatan kichik, chastotasi esa katta bo‘ladi. Bu nurlar inson miyasida ko‘rish tuyg‘usi hosil qilmaydi. Ultrabinafsha nurlarni lyuminessensiyalovchi modda qoplangan ekran yordami bilan payqash mumkin. Ekranning spektrning binafsha sohasidan narida yotgan nurlarga ro‘para qismigina ko‘k-yashil tusda yorug‘lana boshlaydi. Ultrabinafsha nurlar ximiyaviy jihatdan juda aktiv bo‘ladi. Ultrabinafsha nurlarga nisbatan fotoemulsiya juda yaxshi sezgir bo‘ladi. Ultrabinafsha nurlar ko‘zga ko‘rinmasada, ular ko‘zning to‘r pardasiga va teriga kuchli ta’sir o‘tkazadi. Shisha ultrabinafsha nurlarni ko‘p yutganligi bois xatto oq shishali ko‘zoynak ham ko‘zni bu nurlardan asraydi. Ma’lum bir dozadagi ultrabinafsha nurlari sog‘liq uchun foydali bo‘lib, organizmning o‘sishi hamda to‘qimalarning chiniqishiga yordam beradi. Bu nurlar teriga ta’sir etib uni qoraytiradi.

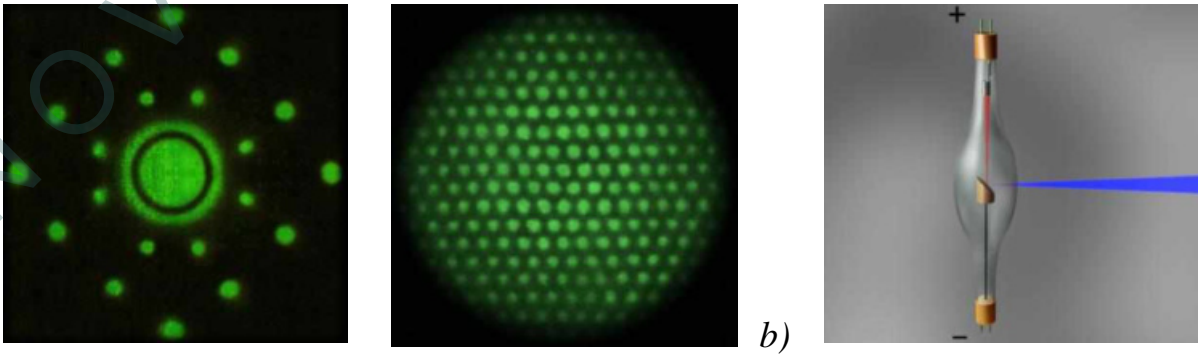
SINOV UCHUN BERILGAN

Vodorod spektrining Layman seriyasidagi barcha nurlar hamda Balmer seriyasidagi 5-nurdan keyingilari ultrabinafsha sohada, Balmer seriyasining dastlabki to‘rtta seriyasi ko‘rinuvchi sohada, qolgan barcha seryadagi (Pashen, Breket, Pfund va boshqa seriyalar) nurlarning hammasi infraqizil sohada yotadi. Bu seriyalar haqida keyingi boblarda batafsil so‘z yuritiladi.

Rentgen nurlari:

Ultrabinafsha va infraqizil nur haqida eshitmagan bo‘lsa-da, lekin rentgen nurlari haqida hamma eshitgan. Bu nur yordamida suyak va bo‘g‘in tasvirlarini olish mumkinligini ham deyarli barchamiz bilamiz. Bu nur uchun zichligi uncha katta bo‘lmagan noshaffof moddalar (teri va et, to‘qimalar, qog‘oz va b.) shaffof hisoblanadi. Bu moddalardan rentgen nuri xuddi yorug‘lik shishadan o‘tgani kabi o‘tib ketadi.

To‘lqin uzunligi $10^{-8} – 10^{-11}$ *m* oralig‘ida bo‘lgan to‘lqinlar ***rentgen nurlari*** deb ataladi. 1895-yil nemis fizigi Vilgelm Rentgen tomonidan kashf qilingan. Tez harakatlanuvchi elektronlarning metall yoki shisha plastinaga urilishidan hosil bo‘ladi. O‘sha paytlarda kichik bosim sharoitida gaz razryadini o‘rganish katta ahamiyatga ega edi. Gaz nayidan juda tez o‘tuvchi elektronlarni katod nurlari deb atalish odat tusiga kirgan edi. Katod narlarini o‘rganayotgan chog‘i qora qog‘ozga o‘ralgan plyonka kuyib qolganiga guvoh bo‘ldi. Bariy tetratsianopiatinit eritmasiga katod nurlari tushirilganda u shulalana boshladi. Rentgen ekranni qo‘li bilan to‘sganida ekranda qo‘l va barmoq suyaklarini tasviriga ko‘zi tushdi. Shunda Rengen bu yerda juda singuvchi ko‘zga ko‘rinmas nurlar borligini tushunib yetdi. Rengen bu nurlarni *X*-nurlar (noma’lum nurlar) deb atadi. Bu nurlarning to‘lqin uzunligi ultrabinafsha nurlarinikidan ham kichikroq bo‘lsa kerak, ana shuning uchun ham rentgen nurlarining kiruvchanlik qobiliyati katta degan gipoteza tug‘ildi. Lekin, bu gipoteza Vilgelm Rengen vafotidan 15 yil o‘tgach o‘z isbotini topdi.



a) *b)* *c)*

19.1-rasm

Rengen nurlari havoni ionlantiradi, fotoplatinkaga ta’sir etadi, lekin, zichligi uncha katta bo‘lmagan noshaffof moddalarda sinmadi va qaytmadi. Bu nurlar elektr va magnit

SINOV UCHUN BERILGAN

Vilgelm Rentgenni asosiy ishlari atom fizikasi sohasida nurlanishlar va ularninng tabiatini o‘rganishga bag‘ishlangan. U 1895yilda qisqa to‘lqinli elektromagnit nurlarini – rentgan nurlarini kash etgan buyuk nemis fizigi hisoblanadi. Dastlab u bu nurni noma’lum ko‘zga ko‘rinmas X-nurlar deb atagan. Bu nurlarning kash etilishi fizikaning bundan keyingi taraqqiyotiga g‘oyat kattta ijobiy ta’sir ko‘rsatdi, jumladan radioaktivlikning kashf etilishiga olib keldi. Rentgen o‘z kashfiyotining meditsinada amaliy tadbiq etilishining tez tarqalishiga sabab bo‘ldi. Rengen nurini olish uchun yasakgan birinchi rentgen nayining konstruksiyasi hozirgi vaqtgacha asosan o‘zgarishsiz saqlangnib kelinmoqda. Vilgelm Rentgen ushbu ixtirosi uchun 1901-yilda Nobel mukofoti bilan taqdirlanadi.



Vilgelm Rentgen (1845–1923)

maydonlariga kiritilganda hech qanday og‘ish kuzatilmadi. Rentgen nurlari tibbiyotda suyak va bo‘g‘inlarni tekshirishda, kasallarga tashxis qo‘yishda ishlatiladi. Rengen nurlarini elektromagnit to‘lqin ekanligini isbotlash uchun uni to‘lqin xossani namoyon qiluvchi difraksiya yoki interferensiya hodisalari namoyon bo‘lish kerak edi. Lekin, uning to‘lqin uzunligi juda kichik bo‘lgani bois bu o‘lcham tartibidagi difraksion panjara yasashning imkoni yo‘q edi. Dastlab qo‘rg‘oshin plastinkadagi juda tor tirqishlardan rentgen nurlari o‘tazilganda hech qanday difraksiya hodisasi kuzatilmadi, ekaranda interferension manzara ham hosil bo‘lmadi. Shunda nemis fizigi Maks Laue bu nurlar uchun jismlarning o‘zi tabiiy holdagi difraksion panjara bo‘lishi mumkinligi mumkinligi haqida o‘yladi. Haqiqatan ham, rentgen nurlarining to‘lqin uzunligi atom o‘lchami tartibida va undan ham kichikroq bo‘lgani uchun jismlarning o‘zi bu nurlar uchun tabiiy holda fazoviy difraksion panjara rolini o‘ynaydi (19.1-a,rasm). Undan tashqari rentgen nurlarini kristallardan o‘tkazilganda hosil bo‘ladigan difraksion manzaraga qarab atomlarning fazoda qanday joylashganligi va o‘lchamlarini aniqlash mumkin (19.1-b,rasm). Rentgen nurlarini rentgen trubkalarida hosil qilinadi (19.1-c,rasm).

Elektr maydoni elektronga tezlatuvchi ta’sir ko‘rsatadi. Elektronning erishgan kinetik energiyasi elektr maydonining elektronni tezlatishda bajargan ishiga teng, ya’ni $W_k = A_e$ bo‘ladi. Bundan esa so‘ralgan kattalikni aniqlashimiz mumkin bo‘ladi.

$$\frac{m_e \vartheta^2}{2} = eU, \quad \rightarrow \quad \vartheta = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot U}{9{,}1 \cdot 10^{-31}}} \approx 5{,}93 \cdot 10^5 \cdot \sqrt{U} \quad [m/s].$$

Demak, Rentgen trubkasida U potensiallar farqini o‘tgan elektronning elektr maydonida erishgan tezligi quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\vartheta = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}} \approx 5{,}93 \cdot 10^5 \cdot \sqrt{U} \qquad \left[\frac{m}{s}\right] \tag{19.1}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Yuqoridagi formuladan ko‘rinadiki, *1 V* potensiallar farqini o‘tgan elektron *593 km/s* tezlikka, *4 V* potensiallar farqini o‘tgan elektron *1186 km/s* tezlikka, *9 V* potensiallar farqini o‘tgan elektron *1779 km/s* tezlikkacha erishar ekan.

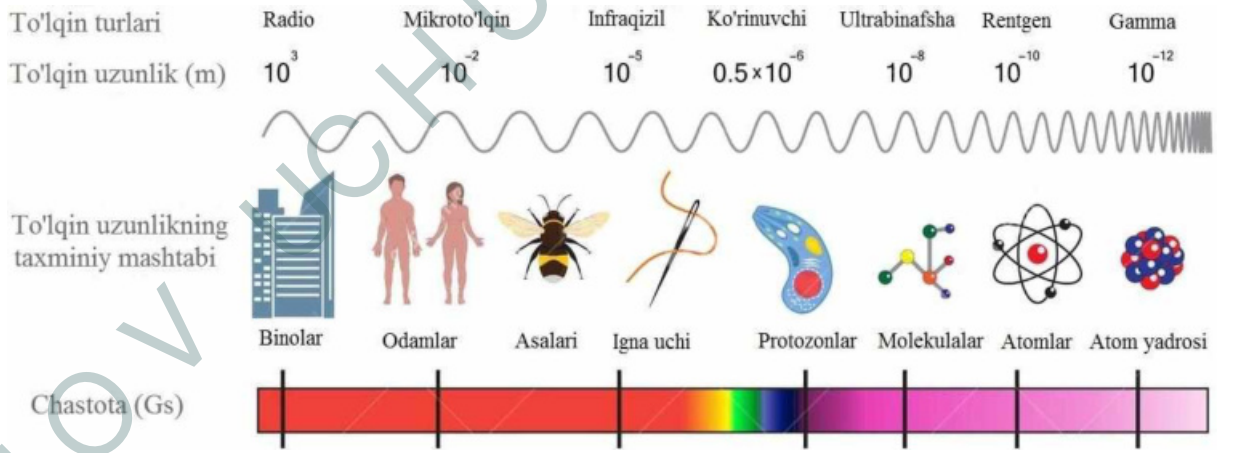
Elektromagnit to‘lqinlar shkalasi:

Biz shu paytgacha ko‘rib o‘tgan mexanik to‘lqinlardan tashqari barcha to‘lqinlar (radioto‘lqinlar, infraqizil nurlar, oq yorug‘lik, ultrabinafsha nurlar, rentgen nurlari va γ-nurlar) elektromagnit to‘lqinlarini tashkil etadi. Elektromagnit to‘lqinlari zaryadli zarraning tebranishi tufayli paydo bo‘lib, elektr zaryadining tebranish chastotasiga teng chastotadagi elektromagnit to‘lqini tarqaladi. Undan tashqari atom va yadroning turli o‘tishlarida ham elektromagnit to‘lqinlari nurlanadi.

Elektromagnit to‘lqinlar shkalasi to‘lqin uzunligi kamayish tartibida yoki chastota oshishi tartibida quyidagi jadvalda va 19.2-rasmda berilgan:

19.1-jadval

	Radioto‘lqinlar	Infraqizil nurlar	Oq yorug‘	Ultrabinafsha nurlar	Rentgen nurlari	Gamma nurlar
λ, [m]	$\lambda>360\cdot10^{-6}$	$360 – 0{,}76\cdot10^{-6}$		$400 – 5\cdot10^{-9}$	$10^{-8} – 10^{-11}$	$10^{-11} – 10^{-13}$
ν, [Gs]	$\nu<8{,}33\cdot10^{11}$	$8{,}33\cdot10^{11}$ | $3{,}95\cdot10^{14}$	$4\cdot10^{14}$ | $7{,}5\cdot10^{14}$	$7{,}5\cdot10^{14}$ | $6\cdot10^{16}$	$3*10^{16}$ | $3*10^{19}$	$3\cdot10^{19}$ | $3\cdot10^{21}$



19.2-rasm

Radioto‘lqinlar tebranish konturlarida zaryadning tebranishidan hosil bo‘ladi. Infraqizil nurlar har qanday qizigan jism sirtida tarqaladi undan tashqari mikroto‘lqinli pechlar ham mikroto‘lqinli infraqizil nurlar siqaradi. Infraqizil nurlar, oq yorug‘lik va ultrabinafsha nurlar davriy sistemaning boshida joylashgan elementlarning atomidagi elektronlarning turli o‘tishlarida hosil bo‘ladi. Undan tashqari bu nurlar davriy sistemaning o‘rtalarigacha bo‘lgan elementlarining tashqi qobiqlaridagi elektronlarning o‘tishlarida ham hosil bo‘lishi mumkin. Rentgen nurlari davriy sistemaning o‘rtasidan boshlab to oxirigacha bo‘lgan

SINOV UCHUN BERILGAN

elementlarining o‘rta va ichki qobiqlaridagi elektronlarning turli o‘tishlarida hosil bo‘ladi. Rentgen nurlari ham o‘z navbatida yumshoq, o‘rta va qattiq rentgen nurlariga bo‘linadi. Yumshoq rentgen nurlari qattiq ultrabinafsha nurlariga, qattiq rentgen nurlari esa γ-nurlariga tutashib ketadi. Nihoyat γ-nurlari barcha elementlarning yadrolaridagi nuklonlarning uyg‘rngan holatdan asosiy holatga o‘tishlarida yoki α- va β- yemirilishlarda hosil bo‘ladi. Rengen nurlarining energiyasi ko‘rinuvchi nurlarnikidan $10^3 - 10^5$ martalab katta bo‘lsa, γ-nurlar energiyasi esa ko‘rinuvchi nurlarnikidan $10^6 - 10^7$ martalab katta bo‘ladi. γ-nurlarning to‘lain uzunliklari yadro o‘lchami tartibiga yaqin bo‘lgani uchun ularning kiruvchanlik qobiliyati nihoyatda kuchlik. Ular hatto qattiq jasmlar va metallardan ham xuddi yorug‘lik nurlari shaffof muhitdan o‘tgani kabi o‘tib ketadi. γ-nurlariga faqat qalin qo‘rg‘oshin devor to‘siq bo‘lishi mumkin.

Elektromagnit nurlanish korpuskulyar va to‘lqin xususiyatlarining dielektrik birligi:

Optikaga oid hodisalarni o‘rganish natijasida quyidagi xulosalar kelib chiqadi:

1) Absalyut qora jism nurlanish spektridagi energiya taqsimoti, fotoeffekt, Kompton effekti kabi hodisalar hodisalar yorug‘likning kvant xususiyatlaridan dalolat beradi.

2) Yorug‘lik interferensiyasi, difraksiyasi, dispersiyasi, qutblanish kabi hodisalar yorug‘likning to‘lqin xususiyatlaridan dalolat beradi.

Bu ikki guruh hodisalarni tushuntirishda yorug‘lik tabiatini aks ettiruvchi ikki nazariyadan, ya’ni yorug‘likning to‘lqin va korpuskulyar nazariyalaridan foydalanildi. U holda “yorug‘likning o‘zi aslida nima, yorug‘lik nazariyalarini bir-birga zid nazariyalar asosida emas, balki birr zamonaviyroq nazariya asosida tushuntirshning iloji yo‘qmi?” degan savol tug‘iladi.

Bir-biriga yaqin joylashgan ikkita tirqishdan o‘tayotgan yorug‘lik ekranda navbatlashgan qorong‘u va yorug‘ sohalar hosil qiladi. Buni to‘lqin nazariya juda yaxshi tushuntirib beradi. Lekin, kvant nazariya asosida tushuntirishning iloji yo‘q. Shunga o‘xshash fotoeffekt va uning qizil chegarasini kvant nazariya tushuntirib bera oladi, ammo to‘lqin nazariya bunga ojizlik qiladi.

Demak, barcha optik hodisalarni faqat to‘lqin nazariya yoki faqat korpuskulyar nazariya asosida tushuntirib bo‘lmas ekan. Bu ikki nazariyaning qaysi biri haqida gap yuritsak ham, u bir guruh hodisalarni tushuntirishda muvaffaqiyatga erishadiyu, ammo ikkinchi guruh hodisalarni tushuntirishda ojizlik qiladi. Shuning uchun, qo‘llanilayotgan ikki nazariyadan qaysi biri zamonaviyroq ekani haqida mulohaza yuritish o‘rniga yorug‘lik tabiati to‘g‘risidagi tasavvurlarimizni oydinlashtirib olganimiz ma’qulroqdir.

Ma’lumki, inson ongida muhit ta’siri tufayli dunyo manzarasi shakllanib, bir qator tasavvurlar sistemasi vujudga keladi. Masalan, “to‘lqin harakat” deganda suv

SINOV UCHUN BERILGAN

sirtining to‘lqinlanishi yoki tarang tortilgan ipning tebranishlarini kuzatish natijasida vujudga kelgan taassurotlar ko‘z o‘ngimizda paydo bo‘ladi. Lekin, inson sezgi organlari orqali qayd qilish tufayli vujudga kelgan tasavvurlarni mikroolamga har doim qo‘llab bo‘lmaydi. Umuman, o‘lchash yoki tekshirishlar natijasida to‘plangan axborotlar va farazlar asosida tekshirilayotgan buyum yoki hodisalarning ideallashtirilgan modeli hosil qilinadi. Har qanday model ob’ektiv tabiatni birinchi yaqinlashuvdagi ifodasidir. Shuning uchun ham yorug‘likning to‘lqin modeli bir qator optik hodisalarni tushuntirishda katta yordam berdi. Ammo, ba’zi hollarda bu model noto‘g‘ri fikrga olib keladi. Buning ajablanarli joyi yo‘q. Chunki, har qanday model barcha hollarda ob’ektni aynan aks ettira olmaydi-da. Shu kabi yorug‘likning korpuskula modeli ham hamma vaqt qo‘l kelavermaydi. Buning sababi shundaki, elektromagnit nurlanshi, aslida to‘lqin ham korpuskula ham emas.

Yorug‘lik haqidagi axborotlarning aksariyati insonning bevosita sezgi organlari orqali emas, balki bilvosita maxsus qurilmalar orqali vujudga keladi. Yorug‘lik ba’zi qurilmalarga to‘lqinga o‘xshash ta’sir qilsa, ba’zilariga korpuskulaga o‘xshab ta’sir ko‘rsatadi. Shuning uchun ham yorug‘likning tajribalarda kuzatiladigan to‘lqin va korpuskulyar xususiyatlarini bir-biriga qarama-qarshi qo‘yish kerak emas. Balki, yorug‘lik bir vaqtning o‘zida ikkala xususiyatga ham ega deb hisoblash kerak. Boshqacha aytganda, elektromagnit nurlanishda to‘lqin va korpuskulyar xususiyatlarning dielektrik birligi kuzatiladi. Biroq, bu xususiyatlar ma’lum bir qonuniyat asosida namoyon bo‘ladi. to‘lqin uzunlik kamayishi bilan elektromagnit nurlanishning korpuskulyar xususiyatlari ko‘proq namoyon bo‘ladi. Aksincha, to‘lqin uzunlik ortishi bilan to‘lqin xususiyat yuzaga chiqa boshlaydi.

Elektromagnit nurlanishda ikkala ikkala xususiyat bir vaqtda mavjud ekan, ular orasida bog‘lanish ham bo‘lishi kerak albatta. To‘lqin xususiyatidan foydalanib, intensivlik to‘lqin amplitudasining kvadratiga proporsional degan edik. Nurlanish – fotonlar oqimi deb hisoblaganda intensivlik fotonlar soniga teng edi. Demak, fotonning fazoning biror joyiga tushish ehtimolligi to‘lqin amplitudasining kvadratiga proporsionaldir.

Binobarin, elektromagnit to‘lqin fizik nuqtai nazardan real ob’ekt bo‘lib, u to‘lqinga ham, korpuskulaga ham o‘xshamaydi. To‘lqin va korpuskula tasavvurlari hodisalarni talqin qilishda foydalanilgan modellar bo‘lib, ular nurlanishning bir-biri bilan uzviy bog‘langan turli xususiyatlarini aks ettirib, ba’zi sharoitlarda nurlanishning tabiati, asosan, korpuskulyar xususiyatlar bilan aniqlanib, to‘lqin xususiyatlar esa tekshirilayotgan hodisaning unchalik ahamiyatga ega bo‘lmagan xislatlarini ifodalaydi. Boshqa xil sharoitlarda esa nurlanishning to‘lqin tabiati o‘rganilayotgan hodisaning asosiy xislatlarini aniqlaydigan darajada katta

SINOV UCHUN BERILGAN

ahamiyatga ega bo‘ladi. Bu hollarda nurlanishning korpuskulyar xususiyati hodisaning ikkinchi darajali xossalarini aniqlashga yordam beradi.

Mavzu yuzasidan savollar



1. *Elektromagnit to‘lqinlari qanday hosil qilinadi? Ular qanday to‘lqin?*
2. *Elektromagnit to‘lqinlarini chastota oshish (yoki to‘lqin uzunlik kamayish) tartibida sanab chiqing.*
3. *Infraqizil nurlari qanday hosil qilinadi? Ularning to‘lqin uzunliklari qaysi oraliqda bo‘ladi? Xossalarini atib bering.*
4. *Ultrabinafsha nurlari qanday hosil qilinadi? Ularning to‘lqin uzunliklari qaysi oraliqda bo‘ladi? Xossalarini atib bering.*
5. *Rentgen nurlari qanday hosil qilinadi? Ularning to‘lqin uzunliklari qaysi oraliqda bo‘ladi? Xossalarini atib bering.*
6. *γ-nurlari qanday hosil qilinadi? Ularning to‘lqin uzunliklari qaysi oraliqda bo‘ladi? Xossalarini atib bering.*

1. *Fotokatod monoxromatik yorug‘lik bilan yoritilganda undan elektronlar urib chiqariladi. Yorug‘likning chastotasi 2 marta kamayganda chiqayotgan elektronlarning maksimal kinetik energiyasi qanday o‘zgaradi?*

A) o‘zgarmaydi *B) 2 martadan kam kamayadi*
C) 2 marta kamayadi *D) 2 martadan ko‘p kamayadi* *E) 2 marta ortadi.*

Berilgan:

$\frac{v_1}{v_2} = 2$

$\frac{E_2}{E_1} = ?$

Yechish:

Fotoeffekt uchun eynshteyn tenglamasi energiyaning saqlanish qonuniga ko‘ra $h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$ *bundan elektronlarning kinetik energiyasi* $E = h\nu - A$ *ga teng. demak yorug‘likning chastotasi 2 marta kamaysa elektronlarning kinetik energiyasi 2 martadan ko‘p kamayadi*

Javob: *D)*



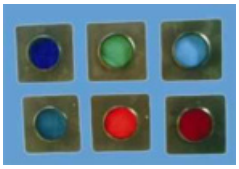
IV BOBGA DOIR LABORATORIYA ISHLARI

Laboratoriya ishi: № 7.
Fotoeffekt hodisasini o‘rganish

Ishning maqsadi: Tashqi fotoeffekt hodisasini o‘rganish. Fotoelemntga ulangan iste’molchilardagi quvvatni aniqlshni o‘rganish.

Kerakli asbob va jihozlar: Laboratoriya universal ta’minlash manbayi, yorug‘lik manbayi, milliampermetr, voltmetr, yorug‘lik filtrlari, iste’molchilar (svetodiod, parrakli dvigatel, lampochka) va ulash simlari.

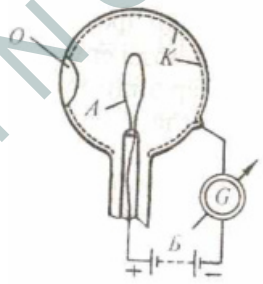
SINOV UCHUN BERILGAN

Laboratoriya universal ta’minlash manbayi	Yorug‘lik manbayi	Milliampermetr	Voltmetr
			
Yorug‘lik filtrlari	Iste’molchilar	Ulash simalri	
			

NAZARIY QISM

Yorug‘lik ta’sirida elektronlarning moddadan ajralib chiqish hodisasi tashqi fotoeffekt deyiladi. Bu hodisani 1887-yilda nemis fizigi G.Gers kashf qilgan va u 1890-yilda rus fizigi A. Stoletov tomonidan o‘rganilgan. O‘tkazgan tajribalar asosida A. Stoletov fotoeffekt uchun quyidagi qonuniyatlar mavjudligini sanab o‘tdi:

1. Moddadan ajralib chiqayotgan elektronlar soni unga tushayotgan yorug‘lik oqimiga bog‘liq.
2. Moddadan ajralib chiqayotgan elektronlarning energiyasi moddaga tushayotgan yorug‘lik nurining chastotasiga proporsional.
3. Moddadan ajralgan fotoelektronlar soni yorug‘lik chastotasiga bog‘liq emas.
4. Moddadan ajralayotgan elektronlar energiyasi yorug‘lik oqimiga bog‘liq emas.



1-rasm

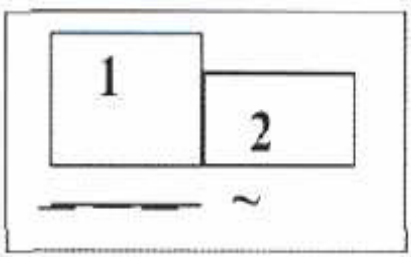
Fotoeffektga asoslanib ishlaydigan asbobga fotoelement deyiladi. Fotoelement quyidagi tuzilishga ega: ichidan havosi so‘rib olingan shisha ballonning yorug‘lik tushadigan sirti yorug‘likka sezgir bo‘lgan yupqa modda qatlami bilan qoplanadi. Bu qatlam odatda ishqoriy metallarning turli birikmasidan (ko‘pincha surma-seziy qotishmasidan yasaladi) iborat bo‘lib, katod vazifasini o‘taydi. Balon ichiga yorug‘lik o‘tishi uchun uncha katta bo‘lmagan shaffof ***D*** darcha qoldiriladi (1-rasm). Ballon markaziga o‘rnatilgan ***A*** metall halqa anod vazifasini bajaradi. ***K*** va ***A*** halqalardan tok manbayiga ulash uchun ulash simlari chiqariladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Agar atomdan ajralib chiqqan elektron moddaning ichida erkin elektronlar sifatida qolsa bunday hodisaga **ichki fotoeffekt** deyiladi. Ichki fotoeffekt asosan yarim o‘tkazgichlarda kuzatiladi. Ichki fotoeffekt hodisasi rus fizigi A.Ioffe tomonidan kuzatilgan. Teshikli *p* o‘tkazuvchnalikka va elektronli *n* turdagi o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lgan kristallardan iborat *p-n* o‘tish sohasiga ega bo‘lgan kristallning *p* sohasiga yorug‘lik nurini tushirsak, yorug‘lik nuri ta’sirida unda erkin elektronlar va teshiklar jufti hosil bo‘ladi. Yorug‘lik ta’sirida hosil qilingan erkin zaryadlar jufti diffuziya natijasida *p-n* o‘tish sohasiga yetib keladi va *p-n* o‘tish sohasining maydoni ta’sirida ular ikkiga ajraladi ya’ni *p* sohada teshiklarni, *n*-sohada elektronlarni yig‘ib oladi. Agar *p* va *n* sohalar tashqi qarshilik orqali ulanib berk zanjir qilinsa zanjir orqali tok oqa boshlaydi. Bu tok **fototok** (I_{ft}) deb ataladi. Tashqi qarshilik nolga teng bo‘lgan holda zanjirdagi fototok eng katta qiymatga erishadi, tokning bu qiymati fotoelementning **qisqa tutashuv toki** (I_{qtt}) deb ataladi. Tashqi qarshilik cheksiz katta bo‘lganda fototok nolga teng bo‘ladi va bunda tashqi qarshilikdagi kuchlanishning tushishi eng katta qiymatga erishadi. Kuchlanishning bu qiymati **ochiq zanjir kuchlanishi** (U_{ozk}) deb ataladi.

QURILMANING TUZILISHI VA ISHLASHI

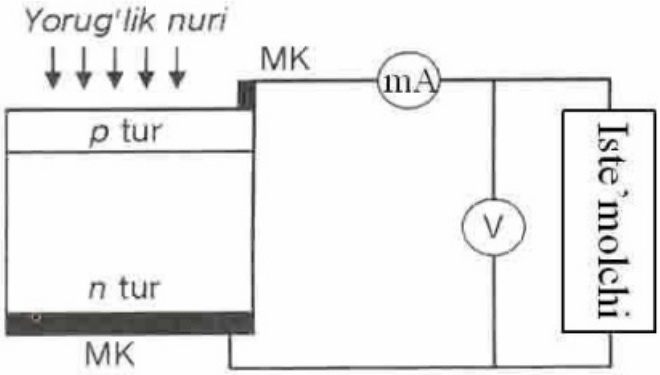
Yarim o‘tkazgichli fotoelementning ishlash tamoyilini o‘rganish va fotoelementga ulangan iste’molchining sarflayotgan quvvatini hisoblash uchun 1-chizmada berilgan elektr zanjiri yig‘iladi. Qisqa tutashuv tokini o‘lchash uchun fotoelementning *p* (yorug‘lik nuri tushadigan soha) sohasidan chiqqan kontaktni milliampemetrning *p* musbat qutbiga ulanadi, fotoelementning *n* sohasidan chiqqan kontakt esa ulash simi yordamida milliampermetrning manfiy qutbiga ulanadi. Milliampermetr laboratoriya universal ta’minlash manbayining iste’molchilarni ta’minlovchi maxsus ±5,5V/8V tarmog‘iga ulanadi.



Milliampermetrning vaziyatli kaliti **1** holatiga keltiriladi. Laboratoriya universal ta’minlash manbayi tok tarmog‘iga ulanib milliampermetrning ish holati tekshiriladi. So‘ngra fotoelementga yorug‘lik nuri tushirilib qisqa tutashuv toki o‘lchanadi. Ochiq zanjir kuchlanishini o‘lchash uchun volmetrning musbat qutbi fotoelementning *p* sohasining kontaktiga (+), voltmetrning manfiy qutbi fotoelementning *n* sohasining kontakti (-) ga ulanadi. Laboratoriya universal ta’minlash manbayining iste’molchilarni ta’minlovchi maxsus 8 V li tarmog‘iga voltmetr ulanadi. Voltmetrning ish holati tekshiriladi, so‘ngra fotoelementga yorug‘lik nuri tushirilib, ochiq zanjir kuchlanishi o‘lchanadi. Fotoelementga ulangan iste’molchining sarflayotgan elektr quvvatini aniqlash uchun iste’molchidan o‘tayotgan tokni va uning uchlaridagi kuchlanishni o‘lchagan holda, quyidagi ifodaga asosan aniqlanadi:

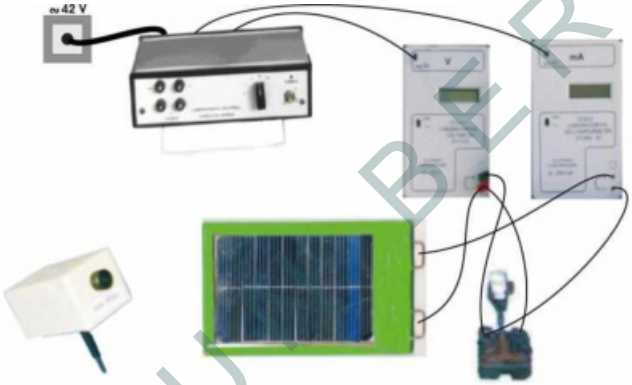
SINOV UCHUN BERILGAN

$$P = I \cdot U \qquad (1)$$



1-chizma

1-chizma asosida yig‘ilgan qurilmaning umumiy ko‘rinishi 1-rasmda keltirilgan



1-rasm

Ishni bajarish tartibi

1. Fotoelementning qisqichlariga millampermetrning mos qutblari ulanadi.
2. Fotoelement sirtiga tik ravishda yorug‘lik nuri tushiriladi.
3. Qisqa tutashuv toki o‘lchanadi.
4. Fotoelementning qisqichlariga voltmetrning mos qutblari ulanadi.
5. Fotoelement sirtiga tik ravishda yorug‘lik nuri tushiriladi.
6. Ochiq zanjir kuchlanishi o‘lchanadi.
7. 1-chizmada keltirilgan zanjir to‘liq yig‘iladi.
8. Fotoelement sirtini yoritib voltmetr va millampermetrning ko‘rsatishiga ko‘ra iste’molchining sarflayotgan quvvati (1) ifodaga ko‘ra hisoblanadi.
9. Fotoelementning sirtiga yorug‘lik filtrlarining birini qo‘yib tajriba takrorlanadi.
10. Tajriba natijalari asosida quyidagi jadval to‘ldiriladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

№	Qisqa tutashuv toki (mA)	Ochiq zanjir kuchlanishi (*V*)	Iste'molchidan o'tayotgan tok kuchi (*mA*)	Iste'molchi uchlaridagi kuchlanish (*V*)	Iste'molchining sarflayotgan quvvati (*mW*)
1					
2					
3					

Nazorat uchun savollar

1. Fotoeffekt hodisasi deb nimaga aytiladi? Uning qanday turlari mavjud?
2. Fotoelement nima va undan qanday maqsadlarda foydalaniladi?
3. Fotoeffekt qonunlari qaysi olimlar tomonidan o'rganilgan?
4. Fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasini yozing va uni tushuntiring.

Laboratoriya ishi: № 8.
Fotoelementli relening ishlash prinsipini Linzaning focus masofasini aniqlash.

Ishning maqsadi: Fotoelementli relening tuzilishi va ishlashini o'rganish.

Kerakli asbob va jihozlar: Laboratoriya universal ta'minlash manbayi, fotoqarshilik (fotorezistor), ommetr, yorug'lik manbayi va ulash simlari .

NAZARIY QISM

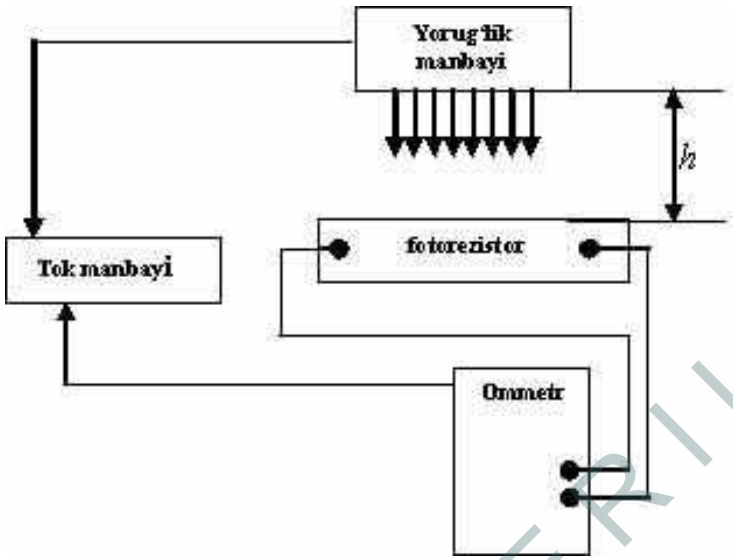
Fotoqarshilik (fotorezistor) ichki fotoeffekt hodisasiga asosan ishlaydigan asbob hisoblanadi. Yorug'lik ta'sirida qarshiligini o'zgartiradigan asbob **fotorezistor** deb ataladi. Fotorezistorga yorug'lik tushmaganda uning qarshiligi juda katta bo'ladi. Unga yorug'lik tushganda qarshiligi kamayib, elektr o'tkazuvchanligi oshadi. Fotorezistorning sirtiga yorug'lik nuri tushganda qisman yorug'lik nuri kristall panjara atomlari tomonidan yutiladi. Natijada yorug'lik energiyasi atomdagi valent elektronlarga uzatiladi. Valent elektronlarning kinetik enegiyasi oshib atomdagi yadro tortishish kuchini yengib chiqadi va erkin holatga o'tadi. Elektron joyida esa kovak hosil bo'ladi. Bu jarayon yarim o'tkazgichda erkin elektronlarning konsentratsiyasining oshishi va o'tkazgichning elektr qarshiligini kamayishiga olib keladi. Fotoqarshiliklar tovushli kinoda, televideniyada va avtomatlashtirilgan qurilmalarda signal beruvchi vosita sifatida qo'llaniladi.

QURILMANING TUZILISHI VA ISHLASHI

1-chizma yarimo'tkazgichli fotorezistor elektr qarshiligining yoritilganlikka bog'liqligini o'rganish qurilmasining sxematik ko'rinishi keltirilgan. Qurulma yarimo'tkazgichli fotorezistor, laboratoriya universal ta'minlash manbayi, yorug'lik manbayi va ommetrdan iborat. Fotorezistorning sirtiga yorug'lik nuri tik

SINOV UCHUN BERILGAN

tushadigan holda o‘rnatiladi. Fotorezistorning qarshiligini aniqlash uchun unga parallel ravishda ommetr ulanadi. Fotorezistor va yorug‘lik manbalari orasidagi masofani o‘zgartirib, fotorezistorning qarshiligi o‘lchanadi.



1-chizma

Ishni bajarish tartibi:

1. 1-chizma asosida elektr zanjir tuziladi.
2. Yorug‘lik manbayi fotorezistor sirtiga tik o‘rnatiladi
3. Yorug‘lik manbayi va fotorezistor sirti orasidagi masofa chizg‘ich yordamida o‘lchanadi, l_1=…cm
4. Fotorezistor sirtiga nur tushiriladi va uning qarshiligi ommetr yordamida o‘lchanadi, R_1=…Ω.
5. Yorug‘lik manbayi fotorezistor sirtiga yaqinlashtiriladi va ular orasidagi masofa o‘lchanadi, l_2=…cm
6. Ommetr yordamida fotorezistorning qarshiligi o‘lchanadi. R_2=…Ω
7. Fotorezistor va yorug‘lik manbayi orasidagi turli masofalar uchun tajriba takrorlanadi.
8. Olingan natijalar asosida quyidagi jadval to‘ldiriladi.

1-jadval

№	1	2	3	4
l, cm				
R, Ω				

Nazorat uchun savollar

1. Fotoelementli relening ishlash prinsipini tushuntirib bering.
2. Fotoelementning qanday turlarini bilasiz?

SINOV UCHUN BERILGAN

Fotoelementli relening qo‘llanilishiga doir misollar keltiring.

IV BOBGA DOIR TESTLAR

1. S. I. Vavilov quyidagi hodisalarning qaysi birini tadqiq qilgan?
A) issiqiik nurlanishi B) fotoluminestsensiya C) katod luminestsensiya.
D) xemiluminestsensiya E) elektr luminestsensiya

2. Quyida keltirilgan nurlanishlarning qaysi biri issiqiik nurlanishiga kiradi?
A) televizor ekranining nurlanishi B) qutb yog‘dusi C) kunduzgi lampa nurlanishi
D) quyosh nurlanishi E) rentgen nurlanishi

3. Quyida keltirilgan jismlarning qaysi biri o‘zidan elektromagnit to‘lqin chiqarmaydir?
A) televizor B) elektr choynak C) metall stul D) yog‘och stol E) TJY

4. Moddalar qanday holatda chiziqli spektrga ega bo‘lgan yorug‘lik chiqaradi?
A) hamma holatlarda B) hech qanday holatda C) kristall holatda
D) suyuq holatda E) siyraklashgan atomar gaz holatda.

5. Moddaning qanday holatida yo‘l-yo‘l spektr kuzatiladi?
A) molekulyar gaz holatida B) suyuq holatda C) qattiq va suyuq holatlarda.
D) qattiq holatda E) atomar gaz holatida

6. Anod kuchlanishi *100 kV* bo‘lgan rentgen trubkasi anodiga yetib borayotgan elektronlarning kinetik energiyasi qanday (*eV*)? Elektronlarning boshlang‘ich tezligi nolga teng.
A) 10^2 B) 10^3 C) 10^4 D) 10^5 E) 0

7. Anod kuchlanishi *50 kV* bo‘lganda, rentgen trubkasi anodiga yetib borayotgan elektronlarning kinetik energiyasi necha joul bo ladi?
A) $5\cdot10^{-15}$ B) $5\cdot10^{-14}$ C) $2{,}5\cdot10^{-15}$ D) $5\cdot10^{-14}$ E) $8\cdot10^{-15}$

8. Rentgen nurlari spektrining qisqa to‘lqinlar tomonida keskin tugash chegarasi borligi quyidagilarning qaysi biriga bog‘liq?
A) rentgen trubkasidagi elektronlar soniga B) katod moddasiga
C) anod moddasiga D) anod va katod orasidagi kuchlanishga
E) anod va katod orasidagi tokka

9. Quyidagi nurlanishlarning qaysi biri eng kichik to‘lqin uzunlikka ega?
A) ultrabinafsha nurlar B) radioto‘lqinlar C) ko‘rinuvchi yorug‘lik.
D) rentgen nurlari E) infraqizil nurlar

SINOV UCHUN BERILGAN

10. Quyidagi nurlardan qaysi biri difraksiyalanadi:
1) ko‘zga ko‘rinadigan yorug‘lik; 2) radioto‘lqinlar; 3) rentgen nurlari; 4) infraqizil nurlar?
A) 1 B) 1, 2 C) 1, 2, 3 D) 1, 3, 4 E) 1, 2, 3, 4

12. Elektronning chiqish ishi $3 \cdot 10^{-19}$ J bo‘lganmodda uchun fotoeffektning qizil chegarasi qananday (m)? h=6,6·10^{-34} J·s.
A) 6,6·10^{-7} B) 6,6·10^{-8} C) 3·10^{-7} D) 6,6·10^{-6} E) 3,3·10^{-6}

14. Fotoelement katodi ν_1 chastotali monoxromatik yorug‘lik bilan yoritilganda fotoelektronlarning eng katta kinetik energiyasi E_1 bo‘lgan, $\nu_2 = 3\nu_1$ chastotali yorug‘lik bilan yoritilganda esa E_2 bo‘lgan. E_1va E_2 o‘zaro qanday munosabatda?
A) $E_2 > 3E_1$ B) $E_2 > 3E_1$ C) $E_2 > \sqrt{3}E_1$
D) $E_2 = 3E_1$ E) $E_2 < 3E_1$

15. Elektronning chiqish ishi 3 eV bo‘lgan metallga energiyasi 5 eV bo‘lgan foton tusnganda, elektronlarning maksimal kinetik energiyasi qanday (eV) bo‘ladi?
A) 0,6 B) 2 C) 3 D) 5 E) 8

16. Seziy katodga to‘lqin uzunligi 600 nm bo‘lgan zarg‘aldoq yorug‘lik tushmoqda. Seziydan elektronning chiqish ishi $1,8$ eV. Berkituvchi potentsial qanday bo‘lganda fototok to‘xtaydi (V)? $h = 4{,}1 \cdot 10^{-15}\ s \cdot eV$
A) 2,5 B) 1,8 C) 0,6 D) 0,3 E) 0,25

17. Volfram sirtiga to‘lqin uzunligi 220 nm bo‘lgan yorug‘lik tushmoqda. Agar volfram uchun chiqish ishi $4,50$ eV bo‘lsa, uchib chiqqan elektronlarning eng katta tezligi qanday ($\frac{km}{s}$)? (h =6,63·10^{-34} J·s; c=3·10^{8} m/s; e=l,6·10^{-19} C.)
A) 430 B) 6150 C) 3400 D) 4300 E) 630

18. Stronsiyni necha nm to‘lqin uzunlikdagi yorug‘lik nuri bilan yoritilganda, undan uchib chiqqan elektronlarning maksimal kinetik energiyasi $1,8 \cdot 10^{-19}$ J bo‘ladi? Strontsiy uchun fotoeffektning qizil chegarasi 550 nm.
A) 550 B) 250 C) 367 D) 130 E) 734

19. Vakuumdagi to‘lqin uzunligi 520 nm bo‘lgan nurlanishda nechta fotonning energiyasi 1 mJ bo‘ladi? Plank doimiysi 6,62·10^{-34} J·s.
A) 78·10^{14} B) 52·10^{14} C) 13·10^{14} D) 65·10^{14} E) 26·10^{14}

20. Yorug‘likning to‘lqin uzunligi 2 marta oshsa, uning fotoni energiyasi qanday o‘zgaradi?
A) 2 marta kamayadi B) 2 marta ortadi C) o‘zgarmaydi
D) 4 marta ortadi E) 4 marta kamayadi

SINOV UCHUN BERILGAN

21. To‘lqin uzunligi *220 nm* bo‘lgan fotonning massasi aniqlansin (*kg*), $h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ J·s.

A) $3 \cdot 10^{-36}$ B) $1{,}5 \cdot 10^{-36}$ C) $1{,}6 \cdot 10^{-36}$ D) $1 \cdot 10^{-35}$ E) $3{,}3 \cdot 10^{-35}$

22. Elektron-pozitron annigilatsiyasida ikkita bir xil -kvant hosil bo‘ladi. Sodir bo‘lgan nurlanishning to‘lqin uzunligi topilsin reaksiyagacha bo‘lgan kinetik olinmasin. $m = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ *kg*; $c = 3 \cdot 10^{8}$ *m/s*.

A) 240 B) 2,4 C) 24 D) 0,24 E) 0,024

23. Uchib ketayotgan elektronga *0,18 nm* uzunlikdagi to‘lqin mos keladi. Elektronning impulsi qanday (*kg·m/s*)?

A) $3{,}1 \cdot 10^{-25}$ B) $11{,}3 \cdot 10^{-25}$ C) $21{,}6 \cdot 10^{-25}$ D) $36{,}8 \cdot 10^{-25}$ E) TJY

24. Impulsi $3 \cdot 10^{-27}$ *N·s* bo‘lgan ultrabinafsha nurlanishning to‘lqin uzunligi qanday (*nm*)? $h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}$ J·s.

A) 220 B) 300 C) 410 D) 555 E) 760

25. Agar quvvati *450 W* bo‘lgan yorug‘lik manbaidan har sekundda 10^{21} ta foton uchib chiqayotgan bo‘lsa, chiqayotgan yorug‘likning to‘lqin uzunligi qanday (nm) bo‘ladi? $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ *J·s*.

A) 150 B) 330 C) 442 D) 550 E) 663

26. Quvvati *50 W* bo‘lgan yorug‘lik manbai har *2 s* da o‘rtacha $2{,}5 \cdot 10^{20}$ ta foton chiqaradi. Nurlanishning o‘rtacha to‘lqin uzunligi qanday (*μm*).

A) 0,25 B) 0,5 C) 0,6 D) 1 E) 1,25

IV BOBGA DOIR TOPSHIRIQLAR

1. Rentgen trubkasidan nurlanayotgan rentgen nurlanishining minimal to‘lqin uzunligi $3{,}1 \cdot 10^{-11}$ *m* bo‘lsa, trubkaga ulangan kuchlanish qanday (*kV*)? $h = 6{,}62\text{-}10^{-34}$ J·s.

2. Rentgen trubkasiga *30 kV* kuchlanish berilgan. Uzluksiz rentgen spektrining qisqa to‘lqin chegarasi topilsin (*m*). $h = 6{,}6\text{-}10^{-34}$ J·s.

3. *50 kV* kuchlanishda ishlayotgan rentgen trubkasining anodiga elektronlar qanday tezlik bilan etib boradi (*Mm/s*)?

4. Chastotasi $1{,}5 \cdot 10^{15}$ *Hz* bo‘lgan yorug‘lik ta’sirida moddadan uchib iqayotgan fotoelektronlarning maksimal kinetik energiyasi $3{,}3 \cdot 10^{-19}$ *J* ekanligini bilgan holda, shu modda uchun fotoeffektning qizil chegarasini toping (*Hz*). $h = 6{,}6\text{-}10\text{-}34$ J·s.

5. Kumush uchun fotoeffektning uzun to‘lqin (qizil) chegarasi *0,29 mkm*. Chiqish ishini aniqlang (*eV*).

SINOV UCHUN BERILGAN

6. Fotoeffektning qizil chegarasi 10^{15} *Hz* bo‘lgan moddadan chastotasi $1{,}5\cdot10^{15}$ *Hz* bo‘lgan yorug‘lik ta’sirida fotoelektronlar uchib chiqmoqda. Ularning maksimal kinetik energiyasi qanaay (*J*)?

7. Agar moddaga tushayotgan yorug‘lik chastotasi $5\cdot10^{14}$ *Hz*, urib chiqarilayotgan fotoelektronlarning maksimal kinetik energiyasi $1{,}7\cdot10^{-19}$ *J* bo‘lsa, fotoelektronlarning shu moddadan chiqish ishi qanday (*J*)? *h=6,62 10·34 J·s.*

8. Kumushga tushayotgan nurlarning chastotasi $3\cdot10^{15}$Hz bo‘lsa, fotoelektronlarning tezligi qanday (*m/s*) bo‘ladi? $h=6{,}63\cdot10^{-34}$ *J·s,* $m=9{,}1\cdot10^{-31}$ *kg, A =4,3 eV*.

9. To‘lqin uzunligi qanday bo‘lgan yorug‘lik platinadan fotoelektronlarni $1{,}6\cdot10^{6}$ *m/s* tezlik bilan ajratib chiqaradi? (*A*=5,3 *eV*).

10. Litiydan uzilib chiqqan fotoelektronlarning maksimal kinetik energiyasi 1,74 *eV* bo‘lishi uchun u qanday chastotali (*Hz*) yorug‘lik bilan yoritilishi kerak? *A*=2,4 *eV*.

11. Fotonning massasi tinch turgan elektron massasiga teng bo‘lishi uchun, u necha *MeV* energiyaga ega bo‘lishi kerak? $e=1{,}6\cdot10^{-19}$ *C,* $m=9\cdot10^{-31}$*kg,* $c=3\cdot10^{8}$ *m/s*.

12. Atom chastotasi $3{,}210^{16}$ *Hz* bo‘lgan nurlanish kvantini yutganda, atomning energiyasi necha *eV* ga o‘zgaradi? $h=6{,}6\cdot10^{-34}$ *J·s;* $1\ eV=1{,}6\cdot10^{-19}$ *J*.

13. Agar chastotasi $3{,}4\cdot10^{15}$ *Hz* bo‘lgan nurlar kislorod atomlarini ionlashtirishi mumkin bo‘lgan eng kichik chastotali nurlar bo‘lsa, atomlarni ionlashtirish energiyasi qanday? $h=6{,}6\cdot10^{-34}$ *J·s*.

14. To‘lqin uzunligi *662 nm* bo‘lgan qizil nurlanishning necnta kvanti *1 g* massaga ega bo‘ladi? $h=6{,}62\cdot10^{-34}$ *J·s*.

15. Fotonning impulsi $3{,}31\cdot10^{-27}$ *kg·m/s* bo‘lsa, unga mos keladigan to‘lqin uzunligi qanday (*nm*)? $h=6{,}62\cdot10^{-34}$ *J·s*.

16. $6{,}62\cdot10^{-7}$ *m* to‘lqin uzunlikda ishlayotgan lazer yorug‘lik dastasining quvvati *0,1 W*. Lazer *3 s* da nechta foton nurlaydi? $h=6{,}62\cdot10^{-34}$ *J·s*.

17. Pechdagi $6{,}1sm^{2}$ o‘lchamli teshikdan har sekundda da *8,28 kal* energiya nurlanadigan bo‘lsa, pechning temperaturasi qancha? Nurlanish absalyut qora jismga yaqin deb hisoblansin.

18. Quyosh 1 minutda qancha energiya chiqaradi? Quyosh nurlanishini absalyut qora jismga yaqin deb hisoblansin. Quyosh sirtining temperaturasi *5800 K* deb qabul qiling.

SINOV UCHUN BERILGAN

19. Qotayotgan $1\ m^2$ qo‘rg‘oshin sirtidan $1s$ da qancha energiya nurlanadi? Qo‘rg‘oshinning erish temperaturasi 327^0C. Mazkur temperaturada qo‘rg‘oshinning nur yutish qobiliyati $0,6$ ga teng deb oling.

20. Absalyut qora jism nurlanish quvvati $34\ kW$. Jism sirti $0,6\ m^2$ bo‘lsa, uning temperaturasini aniqlang.

21. Agar absalyut qora jism nur chiqarish qobiliyatining maksimumiga mos keluvchi to‘lqin uzunlik $484\ nm$ bo‘lsa, absalyut qora jismning $1\ sm^2$ sirtidan 1 s da qancha energiya chiqishini toping.

22. Absalyut qora jismning nurlanish quvvati $1GW$. Agar nur chiqarish qobiliyatining maksimumiga mos keluvchi to‘lqin uzunlik $700\ nm$ bo‘lsa, jismning nur sochuvchi sirti kattaligini aniqlang.

23. Harorati 20^0C bo‘lgan xonada turgan $10\ sm$ radiusli absalyur qora shar nurlanishining quvvatini toping.

24. Absalyut qora jismning harorati 727^0C dan 1727^0C gacha orttirildi. Bunda jism nurlantirayotgan energiya necha marta ortadi?

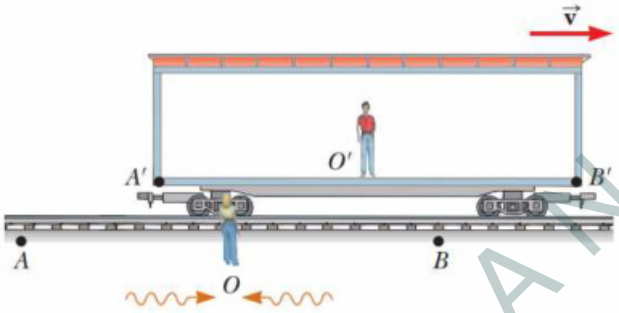
25. Absalyut qora jismning harorati 127^0C. Harorat orttirilgandan so‘ng nurlanishning umumiy quvvati 3 marta ortadi. Bunda harorat qanchaga ortgan?

26. To‘lqin uzunligi $56,3\ pm$ bo‘lgan rentgen nurlari grafit taxtachasida sochiladi. Rentgen nurlarining boshlang‘ich yo‘nalishga nisbatan 120^0 burchak ostida sochilgan nurlarning to‘lqin uzunligini toping.

27. To‘lqin uzunligi $2,7\ pm$ bo‘lgan γ-nurlar Komton effekti tufayli sochiladi. Boshlang‘ich yo‘nalishiga 180^0 burchak ostida sochilgan nurlanishning to‘lqin uzunligi tushayotgan nurlanishning to‘lqin uzunligidan necha marta katta bo‘ladi?

SINOV UCHUN BERILGAN

V BOB. MAXSUS NISBIYLIK NAZARIYASI



Ushbu bo‘limda bir ISSdan boshqa ISSga o‘tganda almashtirishlar hamda almashtirishlardan kelib chiqadigan natijalar, koordanata vaqt hamda mexanik kattaliklar qanday o‘zgarishi ko‘rib chiqiladi. Almashtirishlar ikki xil bo‘lib, ulardan birinchisi past tezliklar uchun, ikkinchisi esa yuqori tezliklar uchun koordinata va vaqtni orasida bog‘lanishni ifodalaydigan almashtirishlardir. Undan tashqari past tezliklar va katta tezliklar uchun nisbiylik prinsiplari, mexanik kattaliklarning tezlikka bog‘liqligi hamda klassik mexanika relyativistik mexangikaning past tezliklar uchun o‘rinli bo‘lgan xususiy holi ekanligi tushuntiriladi.

§ 20. EFIR GIPOTEZASINING MUVAFFAQIYATSIZLIGI. NISBIYLIK NAZARIYASINING POSTULATLARI. LORENTS ALMASHTIRISHLARI

Efir gipotezasininng muvaffaqiyatsizligi:

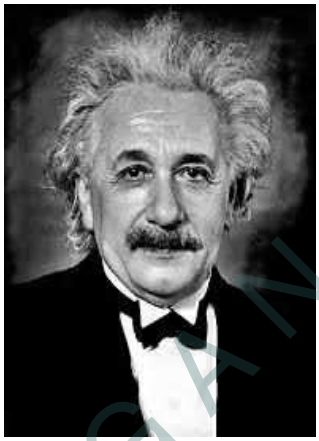
Galiley almashtirishlariga ko‘ra ISSning harakat tezligini hech bir mexanik tajribalar natijasida aniqlab bo‘lmaydi. Shunday ekan, buni optik hodisalar yordamida aniqlab bo‘lmasmikan degan savol tug‘ildi. XIX asrning oxirlarida ana shunga A.Maykelson va E.Morli tomonidan urinib ko‘rildi.

Ular quyidagicha fikr yuritishdi: Agar olam efiri Quyoshga nisbatan tinch deb qarasak, Yerning Quyosh atrofidagi harakatida bir vaqtda efirga nisbatan harakatini ham beradi. Yer Quyosh atrofida yillik aylanma harakat qilgani uchun Yer sirtida yorug‘lik nurining tarqalish tezligi turlicha bo‘lish kerak. Yorug‘likning Yer orbitasi bo‘ylab va orbitagaga perpendikulyar yo‘nalishdagi tarqalish tezliklari turlicha bo‘lishi kerak va ana shu farqga asoslanib Yerning olam efiriga nisbatan harakat tezligini aniqlash mumkin. Maykelson va Morli yorug‘likning bu ikki yo‘nalish bo‘yicha tarqalish tezligini interferensiya natijasiga ko‘ra taqqoslashdi. Tajribalar juda ko‘p martalab takrorlandi va har safar bir xil natijaga ega bo‘lishdi. Tajribalar yilning har faslida (bahor, yoz, kuz, qish), kunning har xil paytlari (ertalab, tush, kechqurun va tun), turli yo‘nalishlarda (Yer orbitasi bilan turlicha burchaklar hosil qilib) takrorlandi. Lekin, har safar bir xil $c \approx 3 \cdot 10^8\, m/s$ javob olindi.

Demak, Yer harakati yorug‘lik nuri tarqalishiga hech qanday ta’sir etmas ekan. Hech qanday efir shamoli qayd etilmadi. Buni xuddi $120\, km/soat$ tezlikda ketayotgan yo‘lovchi mashina oynasidan boshini chiqarsayu, lekin hech qanday shamolni sezmagandek tushunish mumkin. Bundan tashqari efir va yorug‘lik

SINOV UCHUN BERILGAN

Albert Eynshteyn1879-yilda Syurrix shahrida tug‘ilgan. U XX asrning buyuk, daho fizigidir. Eynshteyn fazo hamda vaqt to‘g‘risidagi ta’limotni yaratdi. U 1905-yilda maxsus nisbiylik nazariyasiga, 1916-yilda esa umumiy nisbiylik nazariyasiga asos soladi. U yorug‘likni porsiya-porsiya tarzida nurlanadi, tarqaladi va yutiladi degan g‘oyani ilgari surgan. Eynshteynning broun harakati nazariyasiga oid ishlari modda tuzilishining molekulyar-kinetik nazariyasining uzil-kesil g‘alaba qilishiga olib keldi. U de-Broylning zarradagi to‘lqinsimonlik g‘oyasini elektronlarda difraksiya kuzatilsagina to‘g‘ri deb aytadi. Eynshteyn fotoeffektga energiyaning saqlanish qonunini qo‘llaydi va o‘z tenglamasini yozadi. Unga 1921-yilda fotoeffekt hodisasi uchun Nobel mukofoti berishadi.U yadro va elementar zarralar fizikasi sohasida ham ko‘plab ilmiy ishlar olib borgan. Jumladan u atom bombasi asoschilaridan biri hisoblanadi. Eynshteyn 1955-yilda AQShda vafot etgan.



Albert Eynshteyn (1879–1955)

tezligini aniqlash bo‘yicha Lorens, Gers, Fizo, Bredli, Rits kabi olimlar bir qator tajribalar o‘tkazdi. Tajriba natijalariga ko‘ra hech qanday efir shamoli aniqlanmadi. Efir gipotezasi olimlar tomonidan rad etildi.

Nisbiylik nazariyasining postulatlari:

Relyativistik mexanikaning asosini A.Eynteyn tomonidan 1905-yilda yaratilgan maxsus nisbiylik nazariyasi (MNN) tashkil qiladi va u asosan kuchsiz gravitatsion maydonlar uchun fazo va vaqt haqidagi fizik nazariya hisoblanadi. Bu nazariya Nyuton

mexanikasining barcha tasavvurlarini, ayniqsa fazo va vaqt haqidagi tasavvurlarni qayta ko‘rib chiqishni taqozo etdi. MNN fizik hodisa qonuniyatlarini faqatgina ISSda o‘rganadi.

A.Eynshteynning maxsus nisbiylik nazariyasi quyidagi ikkita postulatga (prinsipga) asoslangan: 1) nisbiylik prinsipi; 2) yorug‘lik tezligining o‘zgarmaslik prinsipi.

1-postulat: Tabiatdagi barcha protsesslar har qanday inersial sanoq sitemasida bir xilda yuz beradi.

Bu degan so‘z fizika qonunlari (biror qonuniyatni tavsiflovchi tenglamalar) barcha inersial sanoq sistemalarda bir xil shaklda bo‘ladi demakdir. Fizik jarayonlarning sodir bo‘lish qonun (formula) lariga tezlik ta’sir qilmaydi. Masalan, tinch turgan ISS uchun tezlik $\vartheta = \frac{s}{t}$ zichlik $\rho = \frac{m}{V}$, tok kuchi $I = \frac{q}{t}$, fokus masofasi $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ formulalar yordamida aniqlansa, harakatlanayotgan ISS uchun ham tezlik $\vartheta = \frac{s}{t}$ zichlik $\rho = \frac{m}{V}$, tok kuchi $I = \frac{q}{t}$, fokus masofasi $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ formulalar yordamida aniqlanadi. Kattalaikni aniqlaydigan formula ko‘rinishi o‘zgarmaydi. Boshqacha aytganda, qonunlar ISSlariga nisbatan invariantdir. Galiley ushbu

SINOV UCHUN BERILGAN

prinsipni faqat mexanik hodisalarga taalluqli degan bo‘lsa, Eynshteyn esa ushbu prinsip barcha tabiat hodisalariga talluqlidir deya ta’kidlagan.

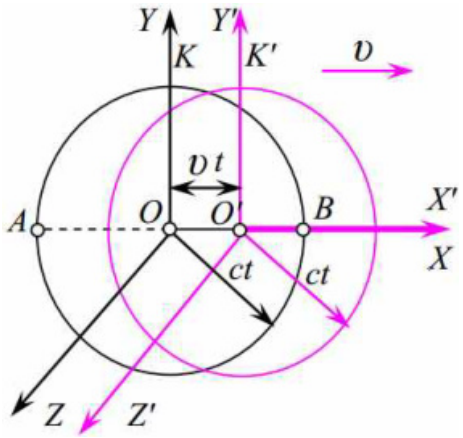
2-postulat: Yorug‘likning vakkuumdagi tezligi barcha inersial sanoq sistemalari uchun bir xildir. U manbaning tezligiga ham yorug‘lik tezligini qabul qilgichning tezligiga ham bog‘liq emas.

Bu ikki postulat juda ko‘plab o‘tkazilgan tajribalarda o‘z isbotini topdi. Masalan, Fizo tajribalarida yorug‘lik tezligi yorug‘lik tarqalayotgan muhitning tezligiga bog‘liq emasligini ko‘rsatgan bo‘lsa, Maykelson va Morli tajribalari esa yorug‘lik tezligi o‘z manbasining tezligiga bog‘liq bo‘lmasligini ko‘rsatdi. Massa markazi atrofida katta tezlikda aylanayotgan qo‘shaloq yulduz harakatini o‘rganish va boshqa tajriba natijalari yorug‘lik tezligining qiymati yorug‘lik manbasining ham kuzatuvchining tezligiga ham bog‘liq emasligini isbotladi. Shuningdek, yorug‘likning vakuumda tarqalish tezligi tabiatdagi tezliklar ichida eng kattasi bo‘lib uning qiymati $c \approx 3 \cdot 10^8 \, м/с$ ga teng. Har qanday ta’sirning uzatilish tezligi yorug‘likning bo‘shliqdagi tezligidan katta bo‘lishi mumkin emas.

Eynshteyn postularlarining klassik mexnikaga zid kelishi:

Nisbiylik nazariyasi postulotlari fazo va vaqtning klassik (N‘yuton) mexanikasida qabul qilingan va Galiley almashtirishlarida aks etgan xossalariga butunlay zid keladi. Klassik mexanika qonunlariga ko‘ra vaqt o‘tishi barcha ISS larida bir xil, ya’ni vaqt absalyut va o‘tish maromi o‘zgarmasdir. Undan tashqari biror ISS da ikkita voqea ayni bir paytda sodir bo‘lsa, boshqa barcha ISS larida ham mana shu ikki voqea ayni bir paytda qayd etiladi. Biroq, katta tezliklarda bunday bo‘lmaydi. Klassik mexanika va relyativistik mexanika orasida bunday kelishmovchiliklar juda ko‘plab topiladi. Mana shunday kelishmovchiliklardan bittasini tushuntirib o‘tamiz.

Ikkala K va K' sistemada vaqt hisobi boshlangan ($t=t'=0$) paytda, ularning koordinata boshlari O va O′ nuqtalar ustma-ust tushgan onda O nuqtada oniy yorug‘lik chaqnashi sodir bo‘lsin. Yorug‘lik vakuumda c tezlik bilan tarqalib, biror t vaqt onida K sanoq sistemasida markazi O nuqtada, radiusi ct bo‘lgan sfera sirtidagi nuqtalarda yotadi. K' sistemada yorug‘lik chaqnashi $t'=0$ vaqt momentida O' nuqtada sodir bo′ldi deb hisoblash mumkin. Shuning uchun maxsus nisbiylik nazariyasi postulatlariga asosan K' sanoq sistemasida $t'=t$ vaqt momentida K sistemadagidek ct radiusli sfera nuqtalariga yotadi, lekin bu



20.1-rasm

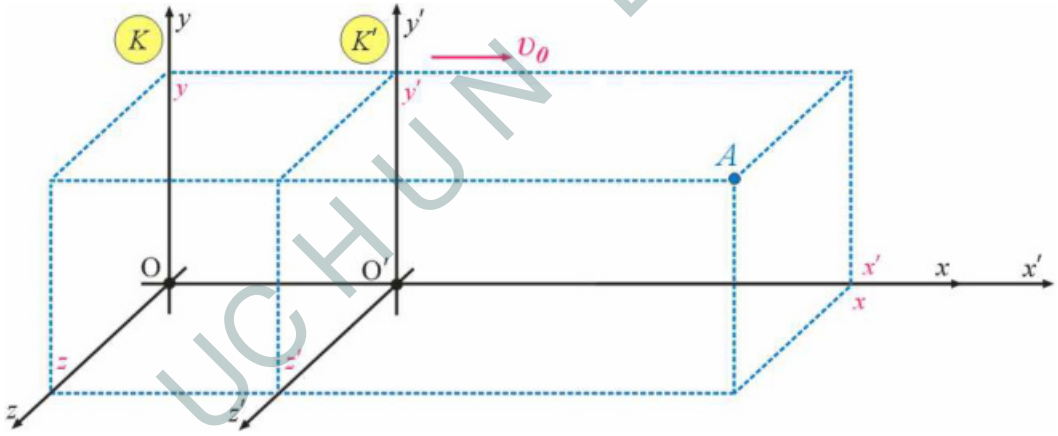
SINOV UCHUN BERILGAN

sferaning radiusi O nuqtada emas, balki undan ϑt masofada joylashgan O′ nuqtada bo‘ladi. Aslida yorug‘lik frontining markazi qaysi nuqtada?

Shunday qilib, maxsus nisbiylik nazariyasi postulatlarini hamma sistemalarda bir xil o‘tuvchi absolyut vaqt haqidagi klassik tasavvurlar bilan birlashtirish mantiqsizlikka olib keladi, ya‘ni chaqnagan yorug‘lik bir vaqtda ikki turli sferalarga tegishli bo‘lgan nuqtalariga yetib kelishi kerak. Absalyut vaqt tushunchasidan voz kechish vaqti kelgandi. Bu ess klassik tasavvurlarga asoslangan klassik mexanika qonunlarini va undagi vazo va vaqt tushunchasini qayta ko‘rib chiqish kerakligini taqozo etar edi. Bu ishga birinchi bo‘lib gollandiyalik olim X.Lorens qo‘l urdi.

Lorents almashtirishlari:

Lorents almashtirishlaridabir inersial sanoq sistemasidan ikkinchisiga o‘tganda x,y,z koordinatalar bilan bir qatorda vaqt ham o‘zgaruvchan kattalik deb qaraladi. Agar Yerga bog‘langan ISSda fazo va vaqt x,y,z,t bilan belgilansa, bunga nisbatan ilgarilanma harakat qilayotgan boshqa ISSda fazo va vaqt x',y',z',t' bilan belgilanadi. Bu ISSlarida vaqtlar birday bo‘lmaydi, ya’ni $t \neq t'$ bo‘ladi. Lorents Galiley almashtirishlariga tuzatma kiritish orqali o‘z almashtirishlarini yaratdi.



20.2-rasm

K va K' inersial sanoq sistemalari berilgan bo‘lsin. K' sistema K sistemaga nisbatan ϑ_0 tezlik bilan harakatlanayotgan bo‘lsa, ixtiyoriy A nuqtaning K va K' sistemalaridagi holatlari va sistemalardagi kechadigan vaqtlar orasidagi Lorents almashtirishlari quyidagicha bo‘ladi (20.2-rasm):

$$K' \to K\ \partial a\ ,\quad x=\frac{x'+\vartheta_0 t'}{\sqrt{1-\frac{\vartheta_0^2}{c^2}}},\quad y=y',\quad z=z',\quad t=\frac{t'+\frac{\vartheta_0}{c^2}x'}{\sqrt{1-\frac{\vartheta_0^2}{c^2}}}$$

$$K \to K'\ \partial a\ ,\quad x'=\frac{x-\vartheta_0 t}{\sqrt{1-\frac{\vartheta_0^2}{c^2}}},\quad y'=y,\quad z'=z,\quad t'=\frac{t-\frac{\vartheta_0}{c^2}x}{\sqrt{1-\frac{\vartheta_0^2}{c^2}}} \qquad (20.1)$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Isboti: Lorents Galiley almashtirishlariga γ tuzatma kiritdi. Unga ko‘ra bir ISSdan 2-siga o‘tganda koordinatalar

$$\begin{cases} x = \gamma\left(x' + \vartheta_0 \cdot t'\right) \\ x' = \gamma\left(x - \vartheta_0 \cdot t\right) \end{cases}$$

bo‘ladi. Sistemadagi tenglamalarni bir-biriga ko‘paytirib,

$$x\,x' = \gamma^2\left(x' + \vartheta_0 \cdot t'\right)\left(x - \vartheta_0 \cdot t\right)$$

ni hosil qilamiz. Agar $\begin{cases} x = ct \\ x' = ct' \end{cases}$ ekanini e’tiborga olsak,

$$c^2 t\,t' = \gamma^2\left(ct' + \vartheta_0 t'\right)\left(ct - \vartheta_0 t\right), \rightarrow c^2 t\,t' = \gamma^2\left(c + \vartheta_0\right)\left(c - \vartheta_0\right)t\,t', \rightarrow\ c^2 = \gamma^2\left(c^2 - \vartheta_0^2\right)$$

kelib chiqadi. Bundan

$$\gamma = \frac{c}{\sqrt{c^2 - \vartheta_0^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta_0^2}{c^2}}}$$

kelib chiqadi. Demak, Lorens almashtirishlariga ko‘ra koordinataning ko‘rinishi K sistemadan K' sistemaga o‘tilganda

$$x = \gamma\left(x' + \vartheta_0 \cdot t'\right) = \frac{x' + \vartheta_0 \cdot t'}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta_0^2}{c^2}}}$$

ko‘rinishni, K' sistemadan K sistemaga o‘tilganda esa

$$x' = \gamma\left(x - \vartheta_0 \cdot t\right) = \frac{x - \vartheta_0 \cdot t}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta_0^2}{c^2}}}$$

ko‘rinishni olar ekan. Endi $\beta = \frac{\vartheta_0}{c}$ deb belgilash kiritib koordinalar bog‘langan formulani davom ettiraylik. Bunda sanoq sistemalaridan bir-biriga o‘tganda vaqtlar orasidagi bog‘lanishni ifodalovchi formulani topamiz.

$$x = \frac{x' + \vartheta_0 t'}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}\left(x' + \vartheta_0 t'\right) = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}\left(\frac{x - \vartheta_0 t}{\sqrt{1-\beta^2}} + \vartheta_0 t'\right), \rightarrow\ x\left(1-\beta^2\right) = x - \vartheta_0 t + \vartheta_0 t'\left(1-\beta^2\right), \rightarrow$$

$$\rightarrow\ x - x\beta^2 = x - \vartheta_0 t + \vartheta_0 t', \rightarrow\ t' = \frac{\vartheta_0 t - x\beta^2}{\vartheta_0\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{t - \frac{x\beta^2}{\vartheta_0}}{\sqrt{1-\beta^2}}.$$

Shunday qilib K sistemadan K' sistemaga o‘tilganda vaqtlar orasidagi bog‘lanish

$$t' = \frac{t - \frac{\vartheta_0}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta_0^2}{c^2}}}$$

ko‘rinishda bo‘lar ekan. Agar K' sistemadan K sistemaga o‘tilsa, bu bog‘lanish

SINOV UCHUN BERILGAN

$$t = \frac{t' + \frac{\vartheta_0}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta_0^2}{c^2}}}$$

ko‘rinishni oladi. Ikki sistemadan biridan ikkinchisiga o‘tilganda qolgan ikkita koordinatalar orasidagi bog‘lanish

$$\begin{cases} y = y', \quad z = z' \\ y' = y, \quad z' = z \end{cases}$$

ko‘rinishda bo‘ladi. Chunki, bu o‘qlarda harakat sodir bo‘lmaydi. Lorens formulalari to‘la isbotlandi.

Galiley almashtirishlariga Lorens tomonidan kiritilgan γ tuzatmani keyinchalik *Lorens faktori* deb atala boshlandi. Keyingi mavzularimizda Lorens almashtirishlaridan kelib chiqadigan ajoyib natijalarni qisqacha belgilashlarda Lorens faktoridan foydalanish juda qo‘l keladi.

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta_0^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \qquad \textbf{(20.2)}$$

20.1-jadval

№	***β=ϑ/c***	***γ***
1	0	1
2	0,001	1,000 000 5
3	0,01	1,000 05
4	0,1	1,005
5	0,2	1,021
6	0,3	1,048
7	0,4	1,091
8	0,5	1,155
9	0,6	1,25
10	0,7	1,4
11	0,8	1,667
12	0,9	2,294
13	0,92	2,552
14	0,94	2,931
15	0,96	3,571
16	0,98	5,025
17	0,99	7,089
18	0,995	10,05
19	0,999	22,37
20	0,9999	70,71

Relyativistik tezliklarda vaqt, uzunlik, massa, impuls, kinetik energiya va boshqa kattaliklarni aniqlash formulalari doimgi biz bilgan ko‘rinishga qaraganda boshqacharoq ko‘rinishga ega. Bunda ular Lorens faktoriga bog‘liq bo‘lgan formulalarga aylanadi. Yuqoridagi formuladan ham ko‘rinib turibdiki, Lorens

SINOV UCHUN BERILGAN

faktorining qiymati faqat tezlikka bog‘liq ekan. 20.1-jadvalda uning tezlikka bog‘liq bo‘lgan qiymatlaridan namunalar berilgan.

Yuqorida tanishib o‘tgan almashtirishlar Daniyalik olim *L.Lorenz (1829 - 1891)* emas, balki gollandiyalik olim *H.Lorentz (1853 - 1928)* tomonidan 1904-yilda keltirib chiqarilgan.

Demak, yuqoridagi formulalardan ko‘rinib turibdiki, ushbu almashtirishlarida Galiley almashtirishlaridagi kabi fazo va vaqt absalyut emas ekan va ular ayri-ayri holda mavjud emas ekan. Fazo vaqtga bog‘liq va vaqt fazoga bog‘liq ekan. Boshqacha aytganda, koordinataga vaqt ta’sir etadi va aksincha, vaqt o‘tish maromiga koordinata va tezlik ta’sir etadi.

Lorens formulalalari fizika rivojlanishi tarixida keskin o‘zgarishlar yasadi va olimlar o‘rtasida juda katta shov-shuvlarga sabob bo‘ldi. Lorens almashtirishlarini tasavvur qilish uchun kundalik turmushimizda o‘rganib qolgan klassik tasavvurlaridan voz kechishni hamda fazo-vaqt to‘g‘risida yangicha qarashlarni shakllantirishni talab qilar edi.

Mavzu yuzasidan savollar

1. *Olam efiri nima? Efir gipotezasi kimlar tomonidan ilgari surildi va qanday yakun topdi?*
2. *Nisbiylik nazariyasining postulatlarini ayting. Bu postulatlar kim tomonidan qachon kiritilgan?*
3. *Eynshteyn postulatlari kiritilishiga qaysi tajriba sabab bo‘lgan?*
4. *K‘ sistemadan K sistemaga o‘thanda Lorentz almashtirishlari qanday bo‘ladi?*
5. *K sistemadan K‘ sistemaga o‘thanda Lorentz almashtirishlari qanday bo‘ladi?*
6. *Nima sababdan Lorens fazo va vaqt masalalarini qayta ko‘rib chiqdi?*
7. *Lorens faktori nima? Uning qiymatlaridan tezlikka bog‘liq holda misollar keltiring.*

Masala yechish:

1 Lorens faktorining *3, 5, 10* ga teng qiymatlarida *K′* sanoq sistemasining tezligi qanday bo‘lganini aniqlang.

Berilgan:

$\gamma_1=3$

$\gamma_2=5$

$\gamma_3=10$

$\vartheta=?$

Yechish:

So‘ralgan kattalikni Lorens faktori formulasiga ko‘ra aniqlaymiz.

$$\gamma=\frac{1}{\sqrt{1-(\vartheta/c)^2}},\ \rightarrow\ \frac{1}{\gamma^2}=1-(\vartheta/c)^2,\ \rightarrow\ (\vartheta/c)^2=\frac{\gamma^2-1}{\gamma^2},\ \rightarrow$$

$$\rightarrow\ \vartheta=\frac{\sqrt{\gamma^2-1}}{\gamma}c$$

Endi Lorens faktorining turli qiymatlari uchun so‘ralgan tezlik qiymatlarini aniqlaymiz.

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\vartheta_1 = \frac{\sqrt{\gamma_1^2 - 1}}{\gamma_1} c = \frac{\sqrt{3^2 - 1}}{3} c = \frac{2\sqrt{2}}{3} c \approx 0{,}9428c;$$

$$\vartheta_2 = \frac{\sqrt{\gamma_2^2 - 1}}{\gamma_2} c = \frac{\sqrt{5^2 - 1}}{5} c = \frac{2\sqrt{6}}{5} c \approx 0{,}9798c;$$

$$\vartheta_3 = \frac{\sqrt{\gamma_3^2 - 1}}{\gamma_3} c = \frac{\sqrt{10^2 - 1}}{10} c = \frac{\sqrt{99}}{10} c \approx 0{,}995c$$

Javob: $\vartheta_1 \approx 0{,}9428c;\ \vartheta_2 \approx 0{,}9798c;\ \vartheta_3 \approx 0{,}995c$

§ 21. LORENTS ALMASHTIRISHLARIDAN KELIB CHIQADIGAN NATIJALAR. BIR VAQTLILIKNING, VAQT ORALIG‘INING HAMDA UZUNLIKNING NISBIYLIGI

Soatlarni sinxronlashtirish:

Lorens alamashtirishlaridan qanday natijalar kelib chiqishini o‘rganishimizdan oldin soatlarning aynan teng yurishini, ya’ni soatlarning sinxron ishlayotganini tekshirib olishimiz kerak bo‘ladi. Soatlarni sinxronlashtirish masalasi ancha jiddiy masaladir. Agar radiodan soat 12 dan 15 daqiqa o‘tganini eshitgandan keyin soatimizni 12^{15} ga to‘g‘rilasak, soatimiz radioda aytilgan soatga sinxron bo‘lmaydi, balki biroz orqada yuradi. Soatimizni to‘g‘rilaganda radiodan bizgacha tovush to‘lqinlari $\Delta t_1 = \frac{\ell}{\vartheta}$ vaqtda etib kelishi va soatni to‘g‘rilashimiz ham inersiya hisobiga ma’lum Δt_2 vaqt olishini hisobga olishimiz kerak. Demak, soatimizni eshitgan vaqtga qaraganda $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2$ vaqt oldinroq surishimiz kerak ekan. Soatlarni eng aniq sinxronlashtirish uchun fototok hisobiga ishlaydigan ikkita soatni qorong‘u joyda bir-biridan ma’lum ℓ masofada joylashtiramiz. Bu soatlar orasidagi masofaning o‘rtasiga kuchli yorug‘lik chiqaruvchi yorug‘lik manbaini kiritamiz. Ana shu yorug‘lik manbaini yoqqan vaqtimizda yorug‘lik signali ikkala soatga bir xil $\Delta t = \frac{\ell}{2c}$ vaqtda etib keladi va soatlar ayni bir vaqtda ishga tushib, ular o‘zaro sinxron ishlay boshlaydi. Lekin, soatlar ko‘rsatadigan vaqt biz yorug‘lik manbaini yoqqan vaqtimizdan $\Delta t = \frac{\ell}{2c}$ vaqt orqada yuradi.

Bir vaqtlilikning nisbiyligi:

Galiley almashtirishlariga ko‘ra barcha sanoq sistemalarida ham soatning yurish maromi bir xil, ya’ni vaqt o‘tish jadalligi bir xil edi. Boshqacha aytganda, qo‘zg‘almas sanoq sistemasining koordinatalar boshi O nuqtaga qo‘yilgan soat fazoning barcha nuqtalaridagi va barcha sanoq sistemalaridagi vaqt o‘tishini o‘lchash uchun etarli edi. Lekin, ta’sir uzatish tezligi chekli qiymatga ega bo‘lgani

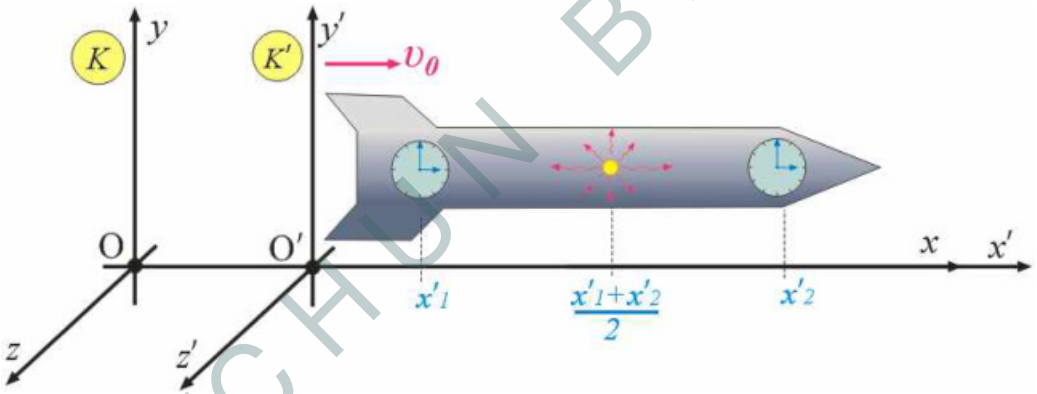
SINOV UCHUN BERILGAN

uchun Lorents almashtirishlariga asosan fazoning har bir nuqtasi hamda har bir ISS uchun alohida-alohida sinxronlashgan soatlar kerak bo‘ladi.

K' ksanoq sistemasining x_1' va x_2' nuqtalarida aynan bir t' vaqtda ikki voqea sodir bo‘lsin. Ikki voqeani aynan bir vaqtda sodir etish uchun K' sanoq sistemasida x_1' va x_2' nuqtalarining o‘rtasidagi $x_0' = \frac{x_1' + x_2'}{2}$ nuqtaga elektr kalitini o‘rnatamiz. Bu kalit ulanganda elektr signali x_1' va x_2' nuqtalarga bir vaqtda yetib keladi va bu soatlar sinxron ishlay boshlaydi. Aytaylik, ana shu soatlarning 12^{00} ga bong urish voqeasini K sistemadagi kuzatuvchi ham aynan bir 12^{00} vaqtida qayd qiladimi yoki bu voqealar K sanoq sistemasida turli paytlarda sodir bo‘ladimi?

– Lorents almashtirishlariga ko‘ra har bir voqeaning K sanoq sistemsiada sodir bo‘lish koordinatalari va vaqtlari quyidagicha bo‘ladi (21.1-rasm):

$$x_1 = \frac{x_1' + \vartheta_0 \cdot t'}{\sqrt{1 - \left(\frac{\vartheta_0}{c}\right)^2}}; \quad t_1 = \frac{t' + \frac{\vartheta_0}{c^2} \cdot x_1'}{\sqrt{1 - \left(\frac{\vartheta_0}{c}\right)^2}} \quad \text{va} \quad x_2 = \frac{x_2' + \vartheta_0 \cdot t'}{\sqrt{1 - \left(\frac{\vartheta_0}{c}\right)^2}}; \quad t_2 = \frac{t' + \frac{\vartheta_0}{c^2} \cdot x_2'}{\sqrt{1 - \left(\frac{\vartheta_0}{c}\right)^2}}.$$



21.1-rasm

Demak, yuqoridagi formuladan ko‘rinib turibdiki, K' sistemada turli nuqtalarda bir vaqtda sodir bo‘lgan voqealar K sistemada ham bir vaqtda sodir bo‘lmas ekan. K sistemadagi kuzatuvchi x_2' nuqtada sodir bo‘lgan voqeani x_1' nuqtadagi voqeadan ko‘ra kechikib qayd etadi. Bunda kechikish vaqti Δt quyidagicha bo‘ladi:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{\frac{\vartheta_0}{c^2} \cdot (x_2' - x_1')}{\sqrt{1 - \left(\frac{\vartheta_0}{c}\right)^2}} \qquad \textbf{(21.1)}$$

Demak, K sistemadagi kuzatuvchi birinchi voqeani ertaroq, ikkinchi voqeani esa Δt vaqt kechikib qayd etar ekan. Lekin, har ikkala voqea ham soat 12^{00} dan kechikib qayd etiladi. Chunki signal uzatishning eng katta tezligi c ga teng bo‘lib, biror masofa bosib o‘tish uchun albatta vaqt talab etadi. Masalan, birinchi signal 12^{10} da yetib kelsa, ikkinchi signal esa 12^{11} da yetib keladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Yuqoridagi formuladan ko‘rinib turibdiki, x_1' va x_2' nuqtalar orasidagi masofa qancha katta bo‘lsa, kechikish vaqti ham shuncha ortib ketar ekan. Kechikish vaqti $\Delta t=0$ bo‘lish uchun K' sistemada voqealar aynan bitta x' nuqtada bir vaqtda sodir bo‘lish kerak ekan. Shunda K sistemadagi kuzatuvchi ikkala voqeani ham aynan bir t vaqtda qayd etadi. Yoki bo‘lmasa K sistemadagi kuzatuvchi ikkala voqeani aynan bitta t vaqtda qayd etish uchun x_2' nuqtadagi voqea x_1' nuqtadagi voqeadan $\Delta t'$ muddat oldinroq sodir bo‘lish kerak. Shunda K sistemadagi kuzatuvchiga x_2' nuqtadagi voqea kechikmasdan keladi.

Endi ana shu oldinroq sodir bo‘lish vaqti $\Delta t'$ ni aniqlaylik. K sistemadagi kuzatuvchi ikkala voqeani bittta t vaqt onida qayd etdi deylik. Boshqacha aytganda, $t=t_1=t_2$ bo‘ladi. Bundan so‘ralgan kattalikni aniqlashimiz mumkin bo‘ladi.

$$t=\frac{t_1'+\frac{\vartheta_0}{c^2}\cdot x_1'}{\sqrt{1-\left(\frac{\vartheta_0}{c}\right)^2}}=\frac{t_2'+\frac{\vartheta_0}{c^2}\cdot x_2'}{\sqrt{1-\left(\frac{\vartheta_0}{c}\right)^2}};\quad\rightarrow\quad t_1'+\frac{\vartheta_0}{c^2}\cdot x_1'=t_2'+\frac{\vartheta_0}{c^2}\cdot x_2';\quad\rightarrow$$

$$\rightarrow\quad \Delta t'=t_1'-t_2'=\frac{\vartheta_0}{c^2}\left(x_2'-x_1'\right)$$

Demak, bunda $\Delta t'$ muddat quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\Delta t'=\frac{\vartheta_0}{c^2}\left(x_2'-x_1'\right) \qquad (21.2)$$

Shunday qilib bir vaqtlilik nisbiy tushuncha ekan. Ikki voqeaning bir vaqtda sodir bo‘lishi faqat voqealar sodir bo‘layotgan ISS uchun o‘rinli bo‘lib, boshqa ISSlari uchun esa bir vaqtlilik buziladi.

Vaqt oralig‘ining nisbiyligi:

Nyuton mexanikasi tasavvuriga ko‘ra vaqtning o‘tishi barcha ISSlarida aynan bir xildir, ya’ni vaqt o‘tishi absalyutdir. Nisbiylik nazariyasiga ko‘ra esa biror voqeaning davom etish vaqti turli ISSlarida turlicha bo‘ladi, ya’ni vaqt o‘tishi nisbiydir. Faraz qilaylik, harakatlanayotgan K' sistemaning ixtiyoriy x' nuqtasida biror voqea t_1' paytda boshlanib, t_2' paytda tugasin. Bunda voqea davomiyligi K' sistemadagi soat bo‘yicha $\tau_0=\Delta t'=t_2'-t_1'$ ga teng bo‘ladi. K' sistemada voqeaning boshlanishi va tugallanishi aynan bitta x' nuqtada sodir bo‘lmoqda. Qaysi ISSda voqealar aynan bitta nuqtada sodir bo‘lsa, o‘sha ISSda o‘lchangan vaqt ***xususiy vaqt*** deyiladi. Endi K' sistemadagi soat K sistemaga nisbatan ϑ_0 tezlik bilan harakatlanayotgani uchun K sistemadagi kuzatuvchi bu voqealarni t_1 paytda boshlanib, t_2 paytda tugaganligini qayd etadi. Natijada, voqea davomiyligi K sistemadagi soat bo‘yicha $\tau=\Delta t=t_2-t_1$ ga teng bo‘ladi. Bunda turli ISSlaridagi

SINOV UCHUN BERILGAN

soatlar bo‘yicha o‘lchangan voqea davomiyliklari aynan bir xilmi yoki ular bir-biridan farq qiladimi degan savol tug‘iladi.

K' sistemada o‘tgan xususiy vaqt τ_0 hamda K sistemada o‘tgan vaqt τ orasidagi bog‘lanish quyidagicha bo‘ladi:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-(\vartheta_0/c)^2}} = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-\beta^2}} \qquad (21.3)$$

Bu formulani ikki xil usulda isbotlash mumkin:

1-usul

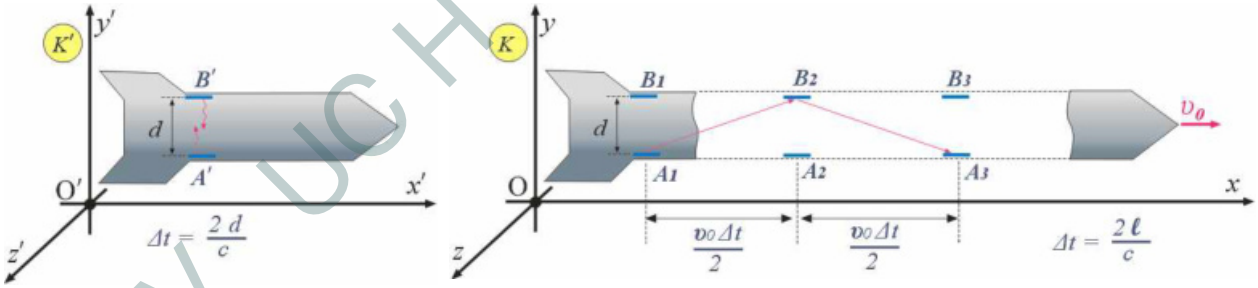
K' sistemaning ixtiyoriy x' nuqtasida voqelarning boshlanish va tugash vaqtlari t_1' va t_2' bo‘lsa, K sistemada esa bu voqealar t_1 paytda boshlanib, t_2 paytda tugaydi. Bizdan sistemalardagi voqea davomiyliklari $\tau_0 = \Delta t' = t_2' - t_1'$ va $\tau = \Delta t = t_2 - t_1$ orasidagi bog‘lanishni aniqlashimiz so‘ralgan. Lorents almashtirishlariga ko‘ra K sistemadagi kuzatuvchi voqea boshlanishi va tugashini

$$t_1 = \frac{t_1' + (\vartheta_0/c^2)\cdot x'}{\sqrt{1-(\vartheta_0/c)^2}} \quad \text{va} \quad t_2 = \frac{t_2' + (\vartheta_0/c^2)\cdot x'}{\sqrt{1-(\vartheta_0/c)^2}}$$

paytlarda qayt etadi. Natijada K sistemadagi soat bo‘yicha $\tau = \Delta t = t_2 - t_1 =$

$= \frac{t_2' + (\vartheta_0/c^2)\cdot x'}{\sqrt{1-(\vartheta_0/c)^2}} - \frac{t_1' + (\vartheta_0/c^2)\cdot x'}{\sqrt{1-(\vartheta_0/c)^2}} = \frac{t_2' - t_1'}{\sqrt{1-(\vartheta_0/c)^2}} = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-(\vartheta_0/c)^2}}$ vaqt o‘tgan bo‘ladi.

2-usul



a) *b)*

21.2-rasm

Aytaylik, kosmik kema Yerga nisbatan ϑ_0 tezlik bilan harakatlanayotgan bo‘lsin. K sistema Yerga, K' sistema esa kosmik kemaga bog‘langan ISS bo‘lsin. Kosmik kema ikkita yon devorida A' va B' nuqtalarda $(A'B'=d)$ ko‘zgular o‘rnatilgan bo‘lsin. Biror vaqt onida uchuvchi A' nuqtadan B' nuqtaga qaratib yorug‘lik uchquni yuborsin (masalan, fonarni bir yoqib o‘chirsin). Bu uchqunning narigi devordagi ko‘zgudan qaytib kelish vaqti $\tau_0 = \frac{2d}{c}$ ga teng bo‘ladi. Yerdagi kuzatuvchi esa A_1 nuqtadan yuborilgan uchqun B_1 nuqtadagi ko‘zgudan qaytib A_3 nuqtaga yetib kelganini qayd etadi. Natijada, u kosmik kema harakatini ham inobatga olib yorug‘likning narigi ko‘zgudan qaytib kelishda jami

SINOV UCHUN BERILGAN

$2\ell = 2\sqrt{\left(\frac{\vartheta_0 \tau}{2}\right)^2 + d^2}$ ga teng masofa o‘tganligini aniqlaydi. Demak, Yerdan turib kuzatganda yorug‘lik ko‘proq yo‘l bosib o‘tar ekan, ya’ni $2d<2\ell$ bo‘ladi. Yorug‘lik nuri $2d$ masofani ham c tezlik bilan, 2ℓ masofani ham c tezlik bilan o‘tsa, uzoqroq masofani o‘tish uchun uzoqroq vaqt sarflanish kerak degan fikr yuzaga keladi. Demak, yorug‘lik nuri qaysi ISSda eng kam yo‘l o‘tgan bo‘lsa, o‘sha ISSda turib o‘lchangan vaqt ham eng kichik bo‘lish kerak ekan, ya’ni xususiy vaqt eng kichik vaqtdir degan xulosa kelib chiqadi. Yerdagi kuzatuvchi uchun yorug‘lik nuri 2ℓ masofani o‘tish vaqti $\tau = \frac{2\ell}{c} = \frac{2\sqrt{(\vartheta_0 \tau / c)^2 + d^2}}{c}$ bo‘ladi. Bundan faydalanib so‘ralgan kattalikni aniqlash mumkin.

$$\left(\frac{c\tau}{2}\right)^2 = \left(\frac{\vartheta_0 \tau}{2}\right)^2 + d^2, \quad \rightarrow \quad \frac{c^2 - \vartheta_0^2}{4}\tau^2 = d^2, \quad \rightarrow \quad \frac{c^2 - \vartheta_0^2}{4}\tau^2 = \frac{c^2 \tau_0^2}{4}, \rightarrow$$

$$\rightarrow \quad \tau = \frac{c}{\sqrt{c^2 - \vartheta_0^2}}\tau_0 = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - (\vartheta_0 / c)^2}} = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

Shunday qilib, kosmik kema ichida uchqun berilish voqeasi va uni yana qayd qilish voqeasi aynan bitta A' nuqtada sodir bo‘lgani uchun bu sanoq sistemasida o‘tgan vat eng kichik (xususiy vaqt) bo‘ladi. Boshqa har qanday sanoq sistemasida xususiy vaqtdan ko‘proq vaqt o‘tar ekan.

Harakatlanayotgan ISSda (kosmik kemada) vaqt o‘tishining sekinlanishi sodir bo‘lar ekan. Yorug‘lik tezligiga qanchalik yaqin tezlikda harakatlansa, bu sekinlanish shuncha kuchayadi, ya’ni vaqt to‘xtab qolgandek bo‘ladi. Lekin bu sekinlanishni kosmik kemaning ichidagi uchuvchilar sezmaydi. Masalan, kosmik kema yorug‘lik tezligiga juda yaqin tezlikda harakatlanayotgan bo‘lsa, kosmanavt odatdagiday 1 soat mizg‘ib olgan vaqtda Yerda 100 yil, 1000 yil balki undan ham ko‘proq vaqt o‘tib butunlay boshqa era (muzlik erasi yoki global isish erasi va h.) boshlangan bo‘lar. Vaqt o‘tishidagi sekinlashish faqatgina mexanik hodisalargagina ta’sir qilmasdan, tabiatdagi barcha hodisalarga ta’sir qiladi. Tabiatdagi barcha jarayonlar fizik, ximik, modda almashinuv, fotosintez va hokoza jarayonlarning hammasi birday sekinlashadi.

Agar vaqtlar ma’lumbo‘lsa, u holda K' sistemaning tezligini aniqlash mumkin. Bundan oldin chiqarilgan uzunlikning nisbiyligi formulasidan foydalanamiz va algebraik almashtirishlar bajarib, so‘ralgan kattalikni aniqlaymiz.

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - (\vartheta_0 / c)^2}}, \quad \rightarrow \quad \left(\frac{\tau_0}{\tau}\right)^2 = 1 - \left(\frac{\vartheta_0}{c}\right)^2, \quad \rightarrow \quad \left(\frac{\vartheta_0}{c}\right)^2 = 1 - \left(\frac{\tau_0}{\tau}\right)^2, \quad \rightarrow \quad \vartheta_0 = \sqrt{1 - \left(\frac{\tau_0}{\tau}\right)^2}\, c$$

Demak, agar turli ISSlarida o‘tgan vaqtlar berilsa, K' sistemaning harakat tezligi quyidagicha bo‘lar ekan:

SINOV UCHUN BERILGAN

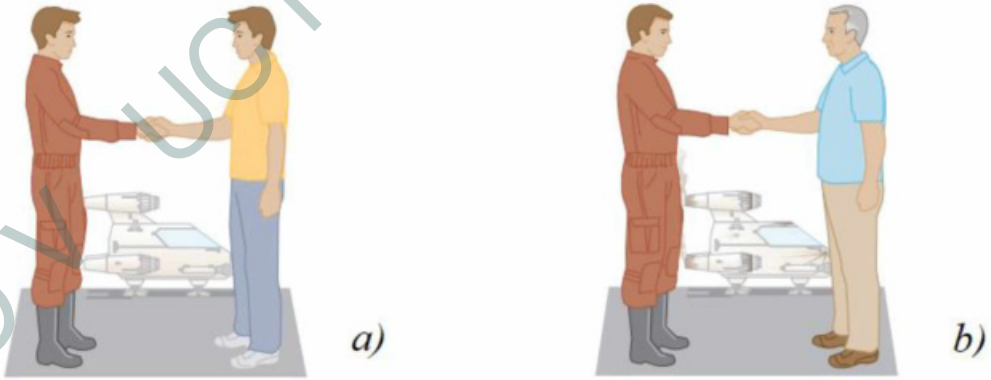
$$\vartheta_0 = \sqrt{1-\left(\frac{\tau_0}{\tau}\right)^2}\ c \qquad (21.4)$$

Egizaklar paradoksi:

Vaqt sekinlashishining ishonish qiyin bo‘lgan natijalaridan biri – bu *egizaklar paradoksi*dir. Faraz qiling, tajriba egizaklar – Hasan va Husan bilan o‘tkazilmoqda (21.3-rasm). Tabiatan Hasan judayam vazmin, kamtar bo‘lib, u sayohatlarni uncha xushlamaydi. Hasanning aksi bo‘lgan Husan esa quvnoq, hazilkash bo‘lib, sayohat va sarguzashtalarni juda sevadi. Egizaklar roppa-rosa 20 yoshga to‘lganida sarguzashtparastligi ustun kelgan Husan Yerdan $\ell=20$ *yorug‘lik yili* uzoqlikda joylashgan Yer-tipidagi X-planetaga kosmik sayohatga jo‘nab ketadi (eslatma uchun 1 yorug‘lik yili – yorug‘lik nurining 1 yilda bosib o‘tadigan masofasi bo‘lib, bu masofa taxminan *9,5 trillion* kilometrga teng masofadir). Undan tashqari Husanning kosmik kemasi $0{,}95\ c$ tezlikda harakatlana olish quvvatiga ega. Egizaklar 20 yoshga to‘lganini nishonlagach xayrlashishadi (21.3-a,rasm). Yerda qolgan Hasanning klassik hisob-kitob qilishicha Husan borib kelgunga qadar

$$\Delta t = \frac{2\ell}{\vartheta} = \frac{2\cdot(20\,yil\cdot c)}{0{,}95\cdot c} = \frac{40}{0{,}95}\,yil \approx 42\,yil$$

vaqt o‘tadi va ukasi Husanni 62 yoshga to‘lganda qayta ko‘rishi mumkin. Husan X-planetaga boradi va ko‘p vaqt o‘tkazmasdan darrov orqaga qaytadi. Sayohatchi Husanning ralyativistik hisob-kitob qilishicha esa X-planetaga borib yana Yerga qaytguncha



a) *b)*

21.3-rasm

$$\Delta t_0 = \sqrt{1-\left(\frac{\vartheta}{c}\right)^2}\cdot\Delta t \approx \sqrt{1-0{,}95^2}\cdot 42 \approx 13\ yil$$

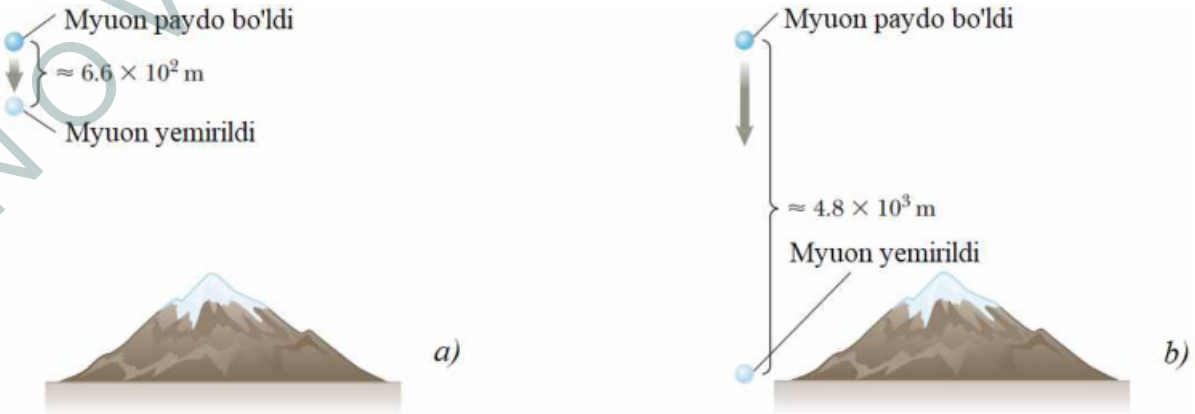
vaqt o‘tadi va akasi Hasanni 33 yoshga to‘lganda qayta ko‘rishi mumkin. Aka-uka uchrashganlarida ular dastlab bir-birlarini taniy olishmadi. Sababi, Yerda qolgan Hasan 62 yoshda bo‘lib, u juda o‘zgarib ketgan, sayohatchi Husan esa unchalik o‘zgarmagan va atigi 33 yoshda edi (21.3-b,rasm).

SINOV UCHUN BERILGAN

Bu yerda egizaklar judayam hayron qolarli, ajablanarli qiziq bir hodisaga, ya'ni paradoksga duch kelishdi. Bu paradoksning sababi juda oddiy – vaqtning sekinlashish hodisasidir. Husan kosmik sayohatni amalga oshirayotgan paytda o'zi bilmagan ravishda vaqtning sekinlashisshiga uchraydi va kosmik kemaga bog'langan sanoq sistemasida vaqt 3,2 marta sekinlashadi. Sayohat tugagunga qadar sayohatchi Husan 13 yoshga, Yerda qolgan akasi Hasan esa 42 yoshga keksayadi. Natijada ular yoshlari orasida 29 yosh farq paydo bo'ladi. Bu paradoksning yagona sababi – turli sanoq sistemalaridagi vaqt o'tish maromining turlicha bo'lishidir.

Vaqt sekinlashishining tajribaviy tasdig'i. Myuonning parchalanishi:

Vaqt sekinlashishi haqidagi nisbiylik nazariyasi o'z tasdig'ini to'la topishi uchun tajribada ham tekshirib ko'rilishi kerak edi. Vaqtning sekinlashishi juda ham real hodisa bo'lib, u juda ko'plab tajribada tasdiqlangan, shu jumladan tabiiy soatlar yordamida olingan o'lchashlar natijasida ham. Vaqt sekinlashishi to'g'risidagi shunday tajribalardan biri 1972 yili Amerikalik olimlar *J.C.Hafale* hamda *R.E.Keating*lar tomonidan e'lon qilingan. Raketalarga o'rnatilgan 4 ta seziy atom soatlarida o'lchangan vaqt oraliqlari Yer sanoq sistemasidagi atom soatidagi vaqt intervali bilan taqqoslandi. Olingan natijalarni maxsus nisbiylik nazariyasi bilan solishtirish uchun ko'plab faktorlar e'tiborga olindi. Bular yerga nisbatan tezlashish va sekinlashishni, raketa harakati yo'nalishlaridagi faqrlarni, Yer sirtida kuchliroq gravitatsiya tufayli vaqt sekinlashishini e'tiborga oluvchi faktorlar edi. *J.C.Hafale* hamda *R.E.Keating*lar o'zlarining qaydlar kitobida "AQSh dengiz Observatoriyasi atom soati ko'rsatgan vaqtga nisbatan raketalar sharqqa sayoyat vaqtida *59±10 ns* vaqt yo'qotdi, g'rbga sayohat vaqtida esa *273±7 ns* vaqt foyda qildi" deb yozadi. Olingan natijalar oldindan taxmin qilingan maxsus nisbiylik nazariyasi hisob-kitobi bilan yaxshi mos tushdi va bu moslik Yer bilan raketa orasidagi nisbiy harakati orqali tushuntirildi.



21.4-rasm

Vaqt o'tishining sekinlashish effekti faqat yorug'likning vakuumdagi tezligiga yaqin bo'lgan juda katta ϑ harakatlanish tezliklarida sezilarli bo'ladi. Masalan,

SINOV UCHUN BERILGAN

myuonlar (myu-mezonlar) bilan o‘tkazilgan tajribada shunday bo‘lishi tasdiqlandi. Myuon stabil bo‘lmagan elementar zarracha bo‘lib, uning masssi elektron massasidan 207 marta katta. Myuonning o‘rtacha xususiy yashash vaqti $\tau_0 \approx 2{,}2\ \mu ks$ (myuonga nisbatan tinch turgan inersial sanoq sistemasidagi soat bo‘yicha). Myuonlar atmosferaning yuqori qatlamlarida birlamchi kosmik nurlar ta‘sirida paydo bo‘ladi va Yerga nisbatan c ga yaqin bo‘lgan ϑ tezlik bilan harakatlanadi. Agar vaqt sekinlashi-shining relyativistik effekti bo‘lmaganida edi, myuon o‘zining yashash vaqtida yerdagi kuzatuvchiga nisbatan atmosfera tomonga o‘rtacha $\tau_0 c = 660\ m$ dan oshmaydigan yo‘lni bosib o‘tgan bo‘lar edi (21.4-a,rasm). Boshqacha aytganda, myuonlar yer sirtiga yetib kelolmagan bo‘lardi. Haqiqatda esa yer sirtiga o‘rnatilgan asboblar ularni qayd qiladi, chunki harakatlanayotgan myuonning yerdagi kuzatuvchining soati bo‘yicha o‘rtacha yashash vaqti

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-(\vartheta/c)^2}} >> \tau_0$$

bo‘ladi. Bu vaqtda myuon zarrasi bosib o‘tgan yo‘l esa $\ell = \tau\vartheta >> 660\ m$ bo‘ladi. Natijada, zarra yer sirtigacha yetib keladi va yerga o‘rnatilgan detektorlar zarrani qayd etadi. Masalan, myuonning tezligi $\vartheta = 0{,}99\ c$ bo‘lsa, u holda Lorens faktori $\gamma = 7{,}1$ ga, yerda o‘lchangan vaqt $\tau \approx 16 \mu s$ ga, bu vaqtda myuon yerga nisbatan o‘tgan masofa $\ell = 4800\ m$ ga teng bo‘ladi (21.4-b,rasm).

Uzunlik va hajmning nisbiyligi:

Lorents almashtirishlaridan kelib chiqadigan yana bir natija shuki, bir-biriga nisbatan harakatda bo‘lgan turli inersial sanoq sistemalarida jismning uzunliklari turlicha bo‘ladi. Harakatlanayotgan K' sanoq sistemasida (kosmik kemada) uzunligi ℓ_0 bo‘lgan sterjenning uzunligini tinch turgan K sanoq sistemasida (Yerda) turib o‘lchanganda ℓ chiqadi. Hisob-kitoblarning ko‘rsatishicha har doim $\ell < \ell_0$ bo‘lar ekan. Sterjen K' sanoq sistemasiga (kosmik kemaga) nisbatan tinch turibdi. Qaysi sanoq sistemasiga nisbatan sterjen tinch turgan bo‘lsa, o‘sha sanoq sistemasida o‘lchangan uzunlik ***xususiy uzunlik*** deyiladi va xususiy uzunlik eng uzun bo‘ladi. Boshqacha aytganda har qanday ISSda o‘lchangan uzunlik xususiy uzunlikdan qisqa chiqadi (21.5-rasm).

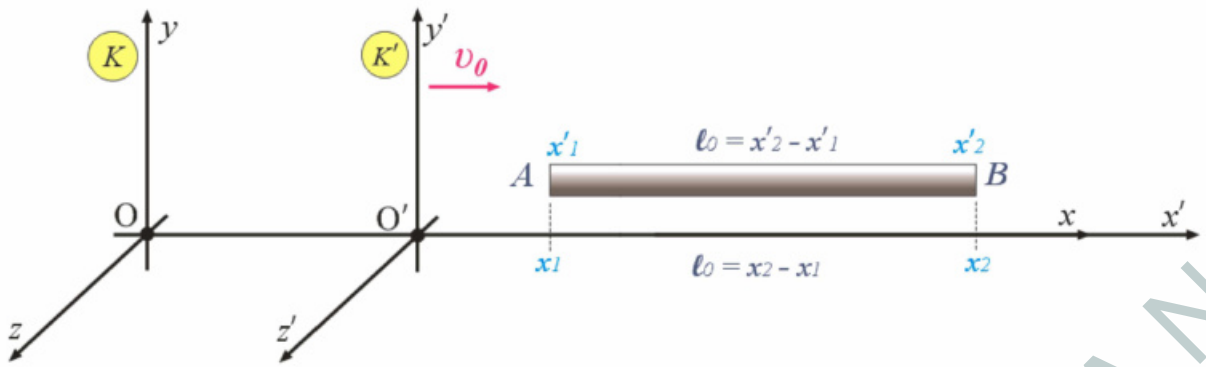
K' sistemada o‘lchangan xususiy uzunlik ℓ_0 hamda K sistemada o‘lchangan uzunlik ℓ orasidagi bog‘lanish quyidagicha bo‘ladi:

$$\ell = \ell_0 \sqrt{1-(\vartheta_0/c)^2} = \ell_0 \sqrt{1-\beta^2} \qquad (21.5)$$

Bu formulani ikki xil usulda isbotlash mumkin:

1-usul

SINOVDAN O‘TKAZISH UCHUN BERILGAN



21.5-rasm

K' sistemada ℓ_0 uzunlikdagi $A'B'$ sterjen Ox o‘qiga parallel joylashgshan bo‘lsin. Ixtiyoriy t' paytda bu sterjen uchlarining koordinatalari x_1' va x_2' bo‘lsa, K' sistemada sterjen uzunligi $\ell_0 = x_2' - x_1'$ bo‘ladi. Ushbu sterjenning K sistemadagi uzunligini topish so‘ralgan. K sistemadagi kuzatuvchi soatning t vaqtida sterjen uchlari x_1 va x_2 koordinatalarda ekanligini aniqlaydi (21.5-rasm). Lorens almashtirishlariga ko‘ra ikkala ISSda sterjen uchlari koordinatalari quyidagicha bog‘langan:

$$x_1' = \frac{x_1 - \vartheta_0 t}{\sqrt{1-\beta^2}}, \qquad x_2' = \frac{x_2 - \vartheta_0 t}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

Bularni ayirib

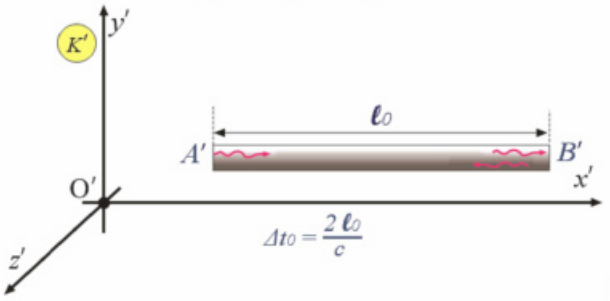
$$x_2' - x_1' = \frac{x_2 - \vartheta_0 t}{\sqrt{1-\beta^2}} - \frac{x_1 - \vartheta_0 t}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

ekanligi topiladi. Bundan esa so‘ralgan kattalikni aniqlash mumkin.

$$\ell_0 = \frac{x_2 - \vartheta_0 t}{\sqrt{1-\beta^2}} - \frac{x_1 - \vartheta_0 t}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{\ell}{\sqrt{1-\beta^2}}, \quad \rightarrow \quad \ell = \ell_0\sqrt{1-\beta^2} = \ell_0\sqrt{1-(\vartheta_0/c)^2}$$

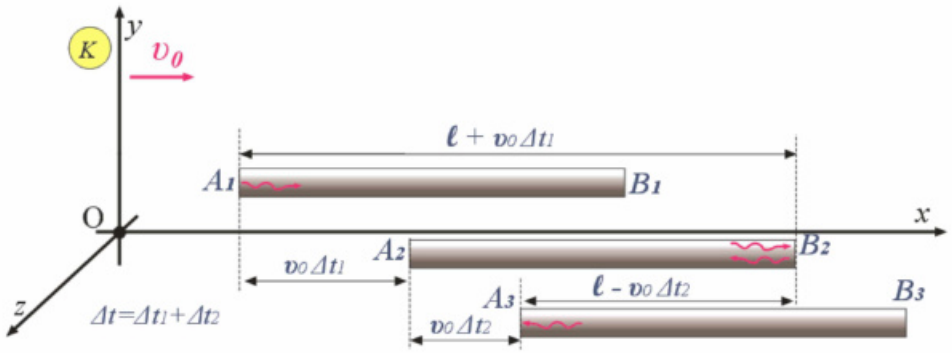
2-usul

Aytaylik, kosmik kema Yerga nisbatan ϑ_0 tezlik bilan harakatlanayotgan bo‘lsin. K sistema Yerga, K' sistema esa kosmik kemaga bog‘langan ISS bo‘lsin. K' sistemada uzunligi $\ell_0 = A'B'$ bo‘lgan gorizontal sterjan olaylik. Bu sterjenning A' uchidan ikkinchi uchiga tomon nur yo‘naltirilsa, bu nur B' nuqtaga o‘rnatilgan ko‘zgudan qaytib yana A' uchiga etib keladi. K' sistema, ya’ni kosmik kema ichidagi



a)

SINOV UCHUN BERILGAN



21.6-rasm

kuzatuvchi nurni sterjenning narigi uchidan borib qaytib kelguncha $\Delta t_0 = \frac{2\ell_0}{c}$ vaqt ketishini hisoblay oladi. K sistemadagi kuzatuvchi esa bu $\ell=AB$ uzunlikdagi sterjenni harakatlanayotganini ko‘radi. Nur A_1 nuqtadan nurlanganda sterjen A_1B_1 holatda, bu nur ikkinchi uchiga yetib kelib undan qaytganda A_2B_2 holatda va yana dastlabki uchiga qaytib kelganda esa A_3B_3 holatda bo‘ladi. Shuning uchun nur A_1 nuqtadan chiqib, B_2 nuqtaga yetib kelgunga qadar Δt_1 vaqt o‘tadi va bu orada sterjen $\vartheta_0\Delta t_1$ masofaga siljiydi. B_2 nuqtadagi ko‘zgudan orqaga qaytib yana A_3 nuqtaga qaytib kelgunga qadar Δt_2 vaqt o‘tadi va bu orada sterjen $\vartheta_0\Delta t_2$ masofaga siljiydi. Ana shularni bilgan holda tenglamalar sistemasi tuzamiz (21.6-rasm).

$$\begin{cases} c\,\Delta t_1 = \ell + \vartheta_0\Delta t_1 \\ c\,\Delta t_2 = \ell - \vartheta_0\Delta t_2 \end{cases}, \rightarrow \begin{cases} (c-\vartheta_0)\Delta t_1 = \ell \\ (c+\vartheta_0)\Delta t_2 = \ell \end{cases}, \rightarrow \begin{cases} \Delta t_1 = \dfrac{\ell}{c-\vartheta_0} \\ \Delta t_2 = \dfrac{\ell}{c+\vartheta_0} \end{cases}, \rightarrow$$

$$\rightarrow \begin{cases} \Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 = \dfrac{\ell}{c-\vartheta_0} + \dfrac{\ell}{c+\vartheta_0} = \dfrac{2\ell c}{c^2-\vartheta_0^2} \\ \Delta t_0 = \dfrac{2\ell_0}{c} \end{cases}$$

Endi vaqtning nisbiyligi

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1-(\vartheta_0/c)^2}}$$

formulasiga sistemada topilgan qiymatlarni qo‘yamiz. Natijada,

$$\frac{2\ell c}{c^2-\vartheta_0^2} = \frac{2\ell_0}{c}\cdot\frac{1}{\sqrt{1-(\vartheta_0/c)^2}}, \rightarrow \frac{\ell c^2}{c^2-\vartheta_0^2} = \frac{\ell_0}{\sqrt{1-(\vartheta_0/c)^2}}, \rightarrow \frac{\ell}{1-(\vartheta_0/c)^2} = \frac{\ell_0}{\sqrt{1-(\vartheta_0/c)^2}}, \rightarrow$$

$$\rightarrow \ell = \ell_0\sqrt{1-(\vartheta_0/c)^2}$$

formula kelib chiqadi.

Agar uzunliklar ma’lum bo‘lsa, u holda K' sistemaning tezligini aniqlash mumkin. Bundan oldin chiqarilgan uzunlikning nisbiyligi formulasidan foydalanamiz va algebraik almashtirishlar bajarib, so‘ralgan kattalikni aniqlaymiz.

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\ell_0=\frac{\ell}{\sqrt{1-(\vartheta_0/c)^2}},\ \rightarrow\ \left(\frac{\ell}{\ell_0}\right)^2=1-\left(\frac{\vartheta_0}{c}\right)^2,\ \rightarrow\ \left(\frac{\vartheta_0}{c}\right)^2=1-\left(\frac{\ell}{\ell_0}\right)^2,\ \rightarrow\ \vartheta_0=\sqrt{1-\left(\frac{\ell}{\ell_0}\right)^2}\,c$$

Demak, turli ISSlarida o‘lchangan uzunliklar berilsa, K' sistemaning harakat tezligi quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\vartheta_0=\sqrt{1-\left(\frac{\ell}{\ell_0}\right)^2}\,c \qquad (21.6)$$

Shuni eslatib o‘tish kerakki, uzunlikning qisqarishi faqat harakat yo‘nalishida sodir bo‘ladi. Boshqa yo‘nalishlarda esa hech qanday o‘zgarish sodir bo‘lmaydi. Yuqoridagi rasmlarda sterjen gorizontal holda joylashgan bo‘lgani uchun uzunlikning qisqarishi ham ana shu yo‘nalishlarda kuzatiladi. Demak, sterjenning harakat vaqtida ko‘ndalang kesimi yuzasi o‘zgarmay qolar ekan.

Agar hajmlar ma’lum bo‘lsa, u holda K' sistemaning tezligini aniqlash mumkin. Uzunlikning nisbiyligi formulasini har ikkala tomonini sterjen ko‘ndalang kesim yuzasiga ko‘paytirsak, hajmlar kelib chiqadi, ya’ni

$$\ell=\ell_0\sqrt{1-(\vartheta_0/c)^2}\ /\cdot S,\ \rightarrow\ V=V_0\sqrt{1-(\vartheta_0/c)^2}=V_0\sqrt{1-\beta^2}$$

bo‘ladi.

Demak, K va K' inersial sanoq sistemalarida hajmlar quyidagicha bog‘langan bo‘lar ekan:

$$V=V_0\sqrt{1-(\vartheta_0/c)^2}=V_0\sqrt{1-\beta^2} \qquad (21.7)$$

Yuqoridagi formuladan ko‘rinib turibdiki, uzunlik necha marta qisqarsa, hajm ham shuncha marta qisqarar ekan. Bu qisqarish sterjenlarda sodir bo‘lmasdan, balki barcha harkatlanayotgan jismlarda harakat yo‘nalishida kuzatiladi. Masalan, harakatlanganda aylana ellipsga, to‘g‘ri to‘rtburchak kvadrat yoki parallelogramga, qalam esa tangaga (qalinligi) aylanishi mumkin.

Mavzu yuzasidan savollar

1. *Soatlarni sinxronlashtirish deganda nimani tushunasiz va u qanday amalga oshiriladi?*
2. *Bir vaqtlilikning nisbiyligi haqida gapirib bering.*
3. *K sistemada voqealarning sodir bo‘lislaro orasidagi kechikish vaqti formulasini yozing.*
4. *Qanday shart bajarilganda K sistemadagi ikki voqeani ayni bir paytda qa’bul qiladi?*
5. *Vaqt oralig‘ining nisbiylik formulasini yozing. Xususiy vaqt nima? Vaqtlar berilanda tezlikni topish formulasini yozing.*
6. *Egizaklar paradoksi nima? Batafsil aytib bering.*
7. *Myuonning yemirilishidagi vaqt oralig‘ining nisbiyligi haqida aytib bering.*

SINOV UCHUN BERILGAN

8. Uzunlikning nisbiylik formulasini yozing. Xususiy uzunlik nima? Uzunliklarlar berilganda tezlikni topish formulasini yozing.
9.Hajmning nisbiylik formulasini yozib bering.

Masala yechish:

1. *Tinch holatdagi uzunligi 1 m bo'lgan chizg'ich biror sanoq tizimida 0,6c tezlik bilan harakatlansa, shu tizimda uning uzunligi qanday (cm) bo'ladi?*

A) 80 B) 84 C) 89 D) 90 E) 95

Berilgan:	Yechish:
$\ell_0 = 1m$ $\upsilon = 0{,}6c$	*Maxsus nisbiylik nazariyasi qonunlariga ko'ra jismning uzunligi xarakat tezligiga teskari mutonosib ya'ni tezligi ortishi bilan uning uzunligi qisqaradi. Bu bog'lanish* $\ell = \ell_0\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}$ *ko'rinishida bo'ladi.*
$l = ?$	

Bundan esa $\ell = 1\sqrt{1-\frac{0{,}36c^2}{c^2}} = 0{,}8\ m = 80\ sm$ *ekanligi kelib chiqadi.*

Javob: *A)*

2. *Agar Yerda 70 yil o'tsa, Yerga nisbatan 0,99c tezlik bilan harakatlanayotgan yulduzlararo uchuvchi kemada necha yil o'tadi?*
$c=3\cdot10^8 m/s.$

Berilgan:	Yechish:
$t_0 = 70yil$ $\upsilon = 0{,}99c$	*Nisbiylik nazariyasi qonunlariga binoan vaqt ham nisbiy tushuncha bo'lib u ham xarakat tezligiga bo'gliq yani yorug'lik tezligiga yaqin tezlik bilan xarakatlanyotgan sistemada vaqtning o'tishi tinch turgan sistemaga nisbatan sekinroq o'tadi. Shunga binoan harakatdagi sistemadagi vaqt tinch turgan sistemedagi vaqt bilan quydagicha bog'langan:*
$t = ?$	

$$t = t_0\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}$$

Bundan esa $t = 70 \cdot 0{,}141 \approx 10$ *yil degan natija chiqadi.*

Javob: *10 yil*

§ 22. RELYATIVISTIK TEZLIKLARNI QO'SHISH. RELYATIVISTIK NISBIY TEZLIK. RELYATIVISTIK DOPPLER EFFEKTI

Klassik mexanikada tezliklarni qo'shishda

$$\dot{\vartheta}_{nat} = \dot{\vartheta}_1 + \dot{\vartheta}_2$$

formulaga asosan, bir jismning boshqa jismga nisbatan nisbiy tezligini aniqlash esa

$$\dot{\vartheta}_{12} = \dot{\vartheta}_1 - \dot{\vartheta}_2$$

SINOV UCHUN BERILGAN

formulaga asosan aniqlanar edi. Lekin, katta tezliklarda bu primitiv formulalar ancha murakkab ko‘rinishlarga o‘tadi. Agar jismlar harakati fazoda berilgan bo‘lsa, ularning har bir o‘qdagi koordinatalari relyativistik tenglamalar asosida qo‘shiladi yoki ayriladi. Biz faqat *Ox* o‘qi bo‘ylab katta tezlikda harakatlanayotgan jismlar uchun relyativistik tezliklarni qo‘shish yoki relyativistik nisbiy tezlikni aniqlash formulalarini keltirib chiqaramiz.

Relyativistik tezliklarni qo‘shish:

K va *K′* inersial sanoq sistemalari berilgan bo‘lsin hamda *K′* sistema *K* sistemaga nisbatan ϑ_0 tezlik bilan harakatlanayotgan bo‘lsin. *K′* sistemada esa biror jism *Ox′* o‘qi yo‘nalishida ϑ' tezlik bilan harakatlanayotgan bo‘lsa, bu jism *K* sistemaga nisbatan qanday tezlik bilan harakat qiladi?

K sistemada elementar ko‘chish va elementar vaqt quyidagicha bo‘ladi:

$$dx = \frac{dx' + \vartheta_0 \cdot dt'}{\sqrt{1-(\vartheta_0 / c)^2}}, \qquad dt = \frac{dt' + \frac{\vartheta_0}{c^2} \cdot dx'}{\sqrt{1-(\vartheta_0 / c)^2}}$$

Agar $\vartheta = \frac{dx}{dt}$ va $\vartheta' = \frac{dx'}{dt'}$ ekanligini e’tiborga olsak, quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\vartheta = \frac{dx}{dt} = \frac{dx' + \vartheta_0 \cdot dt'}{dt' + \frac{\vartheta_0}{c^2} \cdot dx'} = \frac{dx'/dt' + \vartheta_0}{1 + \frac{\vartheta_0}{c^2} \cdot \frac{dx'}{dt'}} = \frac{\vartheta' + \vartheta_0}{1 + \frac{\vartheta_0 \cdot \vartheta'}{c^2}}$$

Demak, ϑ_0 tezlik bilan harakatlanayotgan *K′* sistemadagi jism *K′* sistemaga nisbatan ϑ' tezlik bilan harakatlansa, bu jismning *K* sistemadagi tezligi quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\vartheta = \frac{\vartheta_0 + \vartheta'}{1 + \frac{\vartheta_0 \vartheta'}{c^2}} \qquad \textbf{(22.1)}$$

Yuqoridagi formuladan ko‘rinib turibdiki, natijaviy tezlik Galiley almashtirishlariga ko‘ra chiqadigan $\vartheta_0 + \vartheta'$ tezlikdan ko‘ra kichikroq chiqar ekan.

Agar ϑ_0 tezlik bilan harakatlanayotgan *K′* sistemadagi jism *K′* sistemaga nisbatan ϑ' tezlik bilan *Ox′* o‘qiga qarama-qarshi yo‘nalishda harakatlansa, bu jismning *K* sistemadagi tezligi quyidagicha bo‘ladi:

$$\vartheta = \frac{\vartheta_0 - \vartheta'}{1 - \frac{\vartheta_0 \vartheta'}{c^2}} \qquad \textbf{(22.1a)}$$

Yuqoridagi formuladan ko‘rinib turibdiki, natijaviy tezlik Galiley almashtirishlariga ko‘ra chiqadigan $\vartheta_0 - \vartheta'$ tezlikdan ko‘ra kattaroq chiqar ekan.

Aytaylik, poyezdni relyativistik tezlikkacha tezlatilgan va uning tezligi *0,5c* bo‘lsin. Bu poyezd vagonlarining ichida *0,4c* tezlik bilan biror zarra harakatlanayotgan bo‘lsin. Shu zarraning harakat yo‘nalishi poyezd harakati bilan

SINOV UCHUN BERILGAN

bir xil hamda qarama-qarshi bo‘lgan hollar uchun zarraning yerga nisbatan natijaviy tezligini aniqlaylik.

1-hol: $$\vartheta = \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{1 + \frac{\vartheta_1 \vartheta_2}{c^2}} = \frac{0{,}5c + 0{,}4c}{1 + \frac{0{,}5c \cdot 0{,}4c}{c^2}} = \frac{0{,}9c}{1{,}2} = 0{,}75c; \quad \Rightarrow \quad \vartheta < \vartheta_1 + \vartheta_2$$

2-hol: $$\vartheta = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{1 - \frac{\vartheta_1 \vartheta_2}{c^2}} = \frac{0{,}5c - 0{,}4c}{1 - \frac{0{,}5c \cdot 0{,}4c}{c^2}} = \frac{0{,}1c}{0{,}8} = 0{,}125c; \quad \Rightarrow \quad \vartheta > \vartheta_1 - \vartheta_2$$

Relyativistik tezliklarni qo‘shish qoidasiga ko‘ra Eynshteynni ikkinchi postulatining to‘g‘riligini tekshirib ko‘raylik. Aytaylik, K sistema Yerga bog‘langan sanoq sistemasi, K' sistema esa ϑ_0 tezlik bilan harakatlanayotgan poyezdga bog‘langan sanoq sistemasi bo‘lsin. Poyezd old farasini yoqqanda faradan chiquvchi fotonlar poyezdga nisbatan c tezlikda uzoqlashadi. Ana shu fotonning Yerga nisbatan tezligi ham c ga tengligini tekshiraylik.

$$\vartheta = \frac{\vartheta_0 + \vartheta'}{1 + \frac{\vartheta_0 \vartheta'}{c^2}} = \frac{\vartheta_0 + c}{1 + \frac{\vartheta_0 c}{c^2}} = \frac{\vartheta_0 + c}{1 + \frac{\vartheta_0}{c}} = \frac{\vartheta_0 + c}{\vartheta_0 + c} c = c$$

Demak, shunday xulosa qilishimiz kerakki, moddiy nuqtaning absalyut tezligi hech qachon yorug‘lik tezligidan katta bo‘la olmas ekan.

Relyativistik tezliklarni qo‘shish formulasi umumiy bo‘lib, yorug‘lik tezligidan ancha kichik $\left(\vartheta_0 << c,\ \vartheta' << c\right)$ tezliklarda bu formula oddiy klassik ko‘rinishga o‘tadi.

$$\vartheta \approx \vartheta_0 + \vartheta' \quad yoki \quad \vartheta \approx \vartheta_0 - \vartheta' \qquad \textbf{(22.2)}$$

Shunday qilib, relyativistik mexanika keng qamrovli mohiyatga ega bo‘lib, jismning nisbatan kichik $\left(\vartheta << c\right)$ tezliklarida u Nyuton mexanikasi qonunlariga o‘tar ekan.

Relyativistik nisbiy tezlik:

K, K' va K'' ISS lari berilgan bo‘lsin. K sistema yerga bog‘langan sanoq sistemasi, K' va K'' sanoq sistemalari esa K' sistemaga nisbatan mos holda ϑ_1 va ϑ_2 ga teng yuqori tezliklar bilan harakatlanayotgan sanoq sistemalari bo‘lsin. Soddaroq bo‘lishi uchun uchala ISSlarining ham Ox o‘qlari mos tushib, K' va K'' sanoq sistemalarining harakatlari faqat shu yo‘nalishda sodir bo‘lyapti deylik. Bunda K' va K'' sanoq sistemalarining bir-biriga nisbatan tezliqi qanday bo‘ladi degan savol tug‘ilishi tabiiydir. Relyativistik nisbiy tezlik ham xuddi relyativistik tezliklarni qo‘shish qoidasi kabi aniqlanadi.

$$dx' = \frac{dx - \vartheta_1 \cdot dt}{\sqrt{1 - (\vartheta_1 / c)^2}}, \qquad dt' = \frac{dt - \frac{\vartheta_1}{c^2} \cdot dx}{\sqrt{1 - (\vartheta_1 / c)^2}}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Agar $\vartheta_2 = \frac{dx}{dt}$ va $\vartheta_{nis} = \vartheta' = \frac{dx'}{dt'}$ ekanligini e'tiborga olsak, quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\vartheta_{nis} = \frac{dx'}{dt'} = \frac{dx - \vartheta_1 \cdot dt}{dt - \frac{\vartheta_1}{c^2} \cdot dx} = \frac{\frac{dx}{dt} - \vartheta_0}{1 - \frac{\vartheta_1}{c^2} \cdot \frac{dx}{dt}} = \frac{\vartheta_2 - \vartheta_1}{1 - \frac{\vartheta_1 \vartheta_2}{c^2}}$$

Demak, K' va K'' sanoq sistemadalari K sanoq sistemasiga nisbatan ϑ_1 va ϑ_2 tezliklar bilan harakatlanayotgan bo‘lsa, u holda K'' sanoq sistemasining K' sanoq sistemasiga nisbatan nisbiy tezligi quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\vartheta_{nis} = \frac{\vartheta_2 - \vartheta_1}{1 - \frac{\vartheta_1 \vartheta_2}{c^2}} \qquad \textbf{(22.3a)}$$

Agar K' va K'' sanoq sistemadalari K sistemasiga nisbatan ϑ_1 va ϑ_2 ga teng tezliklar bilan Ox o‘qining qarama-qarshi o‘qlari bo‘yicha harakatlanayotgan bo‘lsalar, u holda K'' sanoq sistemasining K' sanoq sistemasiga nisbatan nisbiy tezligi quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\vartheta_{nis} = \frac{\vartheta_2 + \vartheta_1}{1 + \frac{\vartheta_1 \vartheta_2}{c^2}} \qquad \textbf{(22.3b)}$$

Endi Yerda turli tomonga ketayotgan ikki fotonning bir-biriga nisbatan tezligini topaylik.

$$\vartheta = \frac{\vartheta_0 + \vartheta'}{1 + \frac{\vartheta_0 \vartheta'}{c^2}} = \frac{c + c}{1 + \frac{cc}{c^2}} = \frac{2c}{1+1} = c$$

Demak, tabiatda hech bir tezlik c tezlikdan katta bo‘la olmas ekan.

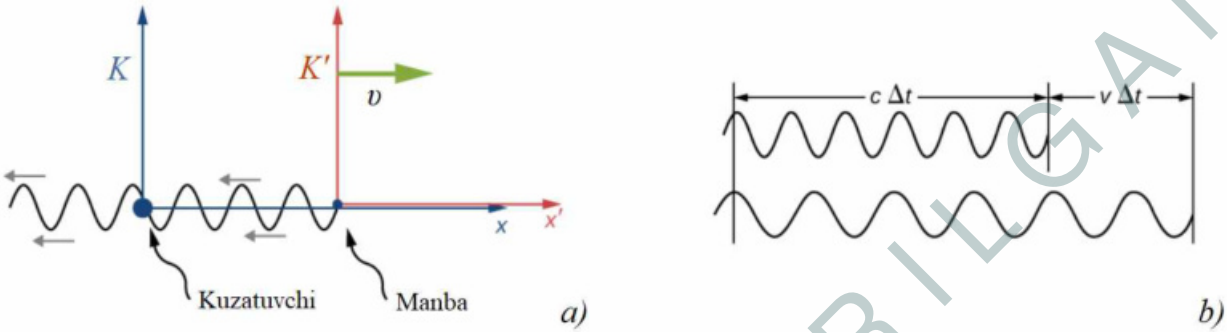
Relyativistik Doppler effekti. Qizilga va binafshaga siljish:

Biz tovush hodisalari bilan ro‘y bergan Doppler effektini bilamiz. Bunda tovush manbai hamda kuzatuvchi orasida nisbiy tezlik mavjud bo‘lganda kuzatuvchi qulog‘i tovush chastotasini oshiribb yoki kamaytirib qabul qiladi. Doppler effekti universal xususiyatga ega bo‘lib, bu hodisa tabiatdagi barcha turdagi to‘lqinlar bilan sodir bo‘lishi mumkin ekan. Bu hodisa nafaqat tovush to‘lqinlarida, balki suv yuzidagi to‘lqinlarda, seysmik to‘lqinlarda, barcha turdagi elektromagnit to‘lqinlarida, shuningdek yorug‘lik to‘lqinlarida ham sodir bo‘lishi mumkin. Faqat bunda yorug‘lik tezligi $c=3\cdot10^8$ *m/s=const* o ‘zgarmas bo‘lib, yorug‘lik manbasining yoki kuzatuvchining tezligi bu tezlikdan har doim kichik bo‘ladi.

Faraz qilaylik, K sanoq sistemasidagi kuzatuvchi bu sistemaga nisbatan ϑ tezlik bilan harakatlanayotgan K' sanoq sistemasidan kelayotgan yorug‘likni ko‘radi. Yorug‘likning to‘lqin uzunligi K' sanoq sistemasida turib o‘lchanishi

SINOV UCHUN BERILGAN

mumkin. Masalan, K' sanoq sistemasida yorug‘lik manbasi va ko‘zgu yordamida turg‘un to‘lqin hosil qilinadi va tugunlar orasidagi masofani o‘lchash orqali to‘lqin uzunligini aniqlash mumkin. Ushbu K' sanoq sistemasida o‘lchangan uzunlik haqiqiy uzunlik bo‘lib, K sanoq sistemasidagi kuzatuvchi o‘lchaganda esa to‘lqin uzunlik $\sqrt{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}}=\sqrt{1-\beta^2}$ marta o‘zgarishga uchraydi.



22.1-rasm

Agar yorug‘lik manbasi K sanoq sistemasida qo‘zg‘almas bo‘lganida edi, kuzatuvchi $c\Delta t$ uzunlikdagi to‘lqinlar frontini Δt vaqt o‘tgandan keyin ko‘rgan bo‘lar edi. Lekin, K sistemaning faqat K sistema ichida hisobga olingan K' sistemasiga nisbatan harakati tufayli kuzatuvchi to‘lqin frontini ba shuning uchun to‘lqin frontini 22.1-b,rasmda ko‘rsatilgandek

$$\frac{c\Delta t+\vartheta\Delta t}{c\Delta t}=1+\frac{\vartheta}{c}$$

marta cho‘zilganini ko‘ramiz. Yuqorida keltirilgan ikkita effekt natijasida quyidagi formulani olamiz.

$$\lambda=\lambda_0\left(1+\frac{\vartheta}{c}\right)\cdot\sqrt{\frac{1}{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}}}=\lambda_0\sqrt{\frac{\left(1+\frac{\vartheta}{c}\right)^2}{\left(1-\frac{\vartheta}{c}\right)\left(1+\frac{\vartheta}{c}\right)}}=\lambda_0\sqrt{\frac{1+\frac{\vartheta}{c}}{1-\frac{\vartheta}{c}}}=\lambda_0\sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}}$$

Bunda chastota o‘zgarishi quyidagicha aniqlanadi:

$$\lambda=\lambda_0\sqrt{\frac{1+\vartheta/c}{1-\vartheta/c}},\quad\rightarrow\quad\frac{c}{\nu}=\frac{c}{\nu_0}\sqrt{\frac{1-\vartheta/c}{1+\vartheta/c}},\quad\rightarrow\quad\nu=\nu_0\sqrt{\frac{1-\vartheta/c}{1+\vartheta/c}}=\nu_0\sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}}$$

To‘lqin uzunligi va chastotaning bunday o‘zgarishiga *Doppler siljishi* deyiladi.

Bu yerda: λ, ν – K sanoq sistemasidagi kuzatuvchi o‘lchagan to‘lqin uzunlik ωchastota; λ_0, ν_0– K' sistemasida turib o‘lchangan to‘lqin uzunlik va chastota.

Shunday qilib, 22.1-rasmdagi kabi yorug‘lik manbasi kuzatuvchidan ϑ tezlik bilan uzoqlashayotgan bo‘lsa, u holda to‘lqin uzunligi uzayishi va chastota qisqarishi quyidagi formula asosida hisoblanadi:

$$\lambda=\lambda_0\sqrt{\frac{1+\vartheta/c}{1-\vartheta/c}}=\lambda_0\sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}},\qquad\nu=\nu_0\sqrt{\frac{1-\vartheta/c}{1+\vartheta/c}}=\nu_0\sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}}\qquad\textbf{(22.4)}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Agar yorug‘lik manbasi kuzatuvchi tomonga yaqinlashayotgan bo‘lsa, u holda yuqoridagi formulada ϑ tezlik o‘rniga $-\vartheta$ tezlik olinadi. Buna to‘lqin uzunligi qisqarishi va chastota oshishi sodir bo‘ladi.

$$\lambda = \lambda_0\sqrt{\frac{1-\vartheta/c}{1+\vartheta/c}} = \lambda_0\sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}}, \qquad \nu = \nu_0\sqrt{\frac{1+\vartheta/c}{1-\vartheta/c}} = \nu_0\sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}} \qquad \textbf{(22.5)}$$

Umuman olganda har qanday elketromagnit to‘lqin manbai kuzatuvchidan uzoqlashganda to‘lqin uzunligi oshib, chastotasi kamayadi. Aksincha, to‘lqin manbai kuzatuvchiga yaqinlashganda to‘lqin uzunligi qisqarib, chastotasi oshadi. Yorug‘lik to‘lqinlarida esa bu Doppler siljishlarini *qizilga siljish* yoki *binafshaga siljish* deb ataladi. Qizilga siljish hodisasi birinchi bo‘lib 1924 yilda Amerikalik olim Edvin Xabllning astronomik kuzatuvlarida ochilgan. U uzoq galaktikalarga teleskop orqali qaraganda obektivning gardishida qizil ranglar paydo bo‘ldi. U dastlab buni linzalarning kamchiligi tufayli deb o‘yladi. Gardishlardagi qizarish barcha galaktikalarga qaraganda birday bo‘lmasdan, uzoqroq galaktikaga qaraganda qizarish kuchliroq sezilardi. Izlanish va hisob-kitoblar natijasida Xabll olamning kengayayotganini, batcha galaktikalar bir-birlaridan katta tezlikda uzoqlashib ketayotganini, bu tezlik uzoqroq galaktikalarda yanada kattaroq ekanini aniqladi.

Mavzu yuzasidan savollar

1. *Relyativistik tezliklarni qo‘shish qoidasini yozib bering.*
2. *K' sistemaning K sistemaga nisbatan harakati hamda kosmik kemaning K' sistemaga nisbatan harakat yo‘nalishlari o‘zaro qarama-qarshi bo‘lganda kemaning K sistemaga nisbatan natijaviy tezligi qanday aniqlanadi?*
3. *Relyativistik nisbiy tezlikni aniqlash formulasini zarrralar harakati bir tomonga va qarama-qarshi tomonga yo‘nalgan holat uchun yozing.*
4. *Relyativistik tezliklarni qo‘shish hamda relyativistik nisbiy tezlikni aniqlash qoidalari qanday farqlanadi?*
5. *Relyativistik Doppler effektini aytib bering, sababini tusuntiring.*
6. *Doppler effekti formulasini to‘lqin uzunlik hamda chastota uchun yozing.*
7. *Qizilga siljish nima? Binafshaga siljish nima? Ularning sababini tushuntiring.*

Masala yechish:

1. *Yerdan ikkita kosmik kema Yerga nisbatan har biri 0,5c tezlik bilan qarama-qarshi tomonga uchirildi. Birinchi kemaning ikkincnisiga nisbatan tezligi qanday?*

A) c B) 0 C) 0,8c D) 8c E) 0,5c

SINOV UCHUN BERILGAN

Berilgan:	*Yechish:*
$v_1 = 0{,}5c$ $v_2 = 0{,}5c$ $v_n = ?$	*Tezliklarni qo‘shishning relyativistik qonuniga ko‘ra* $v_n = \frac{v_1+v_2}{1+\frac{v_1 v_2}{c^2}} = 0{,}8c$ *ekanligi kelib chiqadi.*

Javob: *C)*

7. *Galaktika Yerdan 0,825 c tezlik bilan uzoqlashayapti deb taxmin qiling. Bu galaktika o‘zidan uzunligi 0,525 m bo‘lgan radioto‘lqinlar chiqaradi. Yerdagi kuzatuvchi bu to‘lqinni qanday uzunlikda qabul qiladi?*

Berilgan:	*Yechish:*
$\lambda_0 = 0{,}525m$ $v = 0{,}825c$ $\lambda = ?$	*So‘ralgan kattalikni Doppler effektiga ko‘ra aniqlaymiz.* $\lambda = \lambda_0\sqrt{\frac{1+\vartheta/c}{1-\vartheta/c}} = 0{,}525\cdot\sqrt{\frac{1+0{,}825}{1-0{,}825}} = 0{,}525\cdot\sqrt{\frac{1825}{175}} =$ $= 1{,}695\,m \approx 1{,}7\,m$ *Demak bunda to‘lqin uzunligi 3,29 marta uzayar ekan.*

Javob: *λ=1,7 m*

§ 23. MASSANING NISBIYLIGI. RELYATIBISTIK DINAMIKANING ASOSIY TENGLAMASI. MASSA, ENERGIYA VA IMPULS ORASIDAGI BOG‘LANISH. RELYATIVISTIK KINETIK ENERGIYA

Massa va zichlikning nisbiyligi:

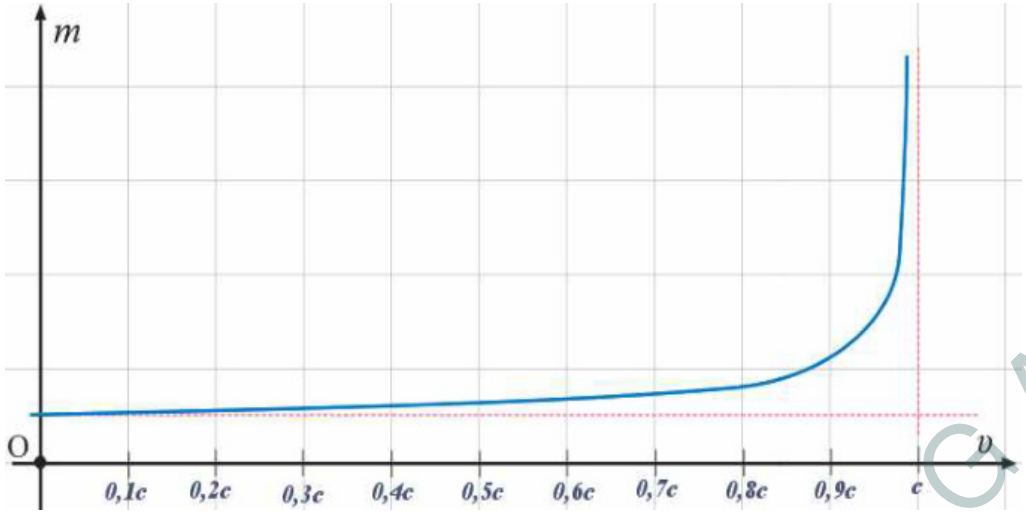
Hisob-kitoblarga ko‘ra jism tezligi oshgan sari uning massasi ham ortib borar ekan. jismning tinchlikdagi va harakatdagi massalari xuddi uzunlik va vaqtning nisbiyligi kabi tezlik orqali o‘zaro bog‘langan bo‘ladi.

Jismning K va K' sistemalardagi massalari orasidagi bog‘lanish quyidagicha bo‘ladi:

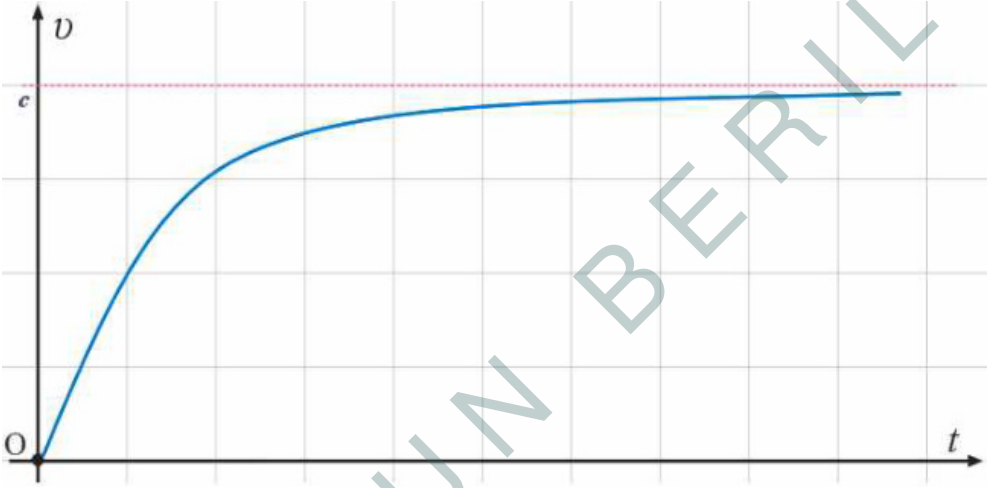
$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-(\vartheta/c)^2}} = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}} = \gamma m_0 \qquad \textbf{(23.1)}$$

Yuqoridagi formuladan $m=m(\vartheta)$ va $\vartheta=\vartheta(t)$ grafiklarni chizish mumkin (23.1-rasm). Yuqoridagi 23.1-a,rasmdan ko‘rinib turibdiki, jismning tezligi yorug‘lik tezligiga yaqinlashib borgan sari uning massasi cheksiz ortib borar ekan. Masalan, $\vartheta=0{,}7c$ tezlikda $m=1{,}4m_0$ ga, $\vartheta=0{,}8c$ tezlikda $m=1{,}666m_0$ ga, $\vartheta=0{,}9c$ tezlikda $m=2{,}294m_0$ ga, $\vartheta=0{,}99c$ tezlikda $m=7{,}089m_0$ ga, $\vartheta=0{,}999c$ tezlikda esa $m=22{,}37m_0$ ga teng bo‘ladi va hokoza. Demak, massa ortib borar ekan, bu og‘ir massani tezlashtirish yanada qiyinroq kechadi. Yuqoridagi 23.1-b,rasmdan ko‘rinib turibdiki, jism tezligi dastlab ancha past tezliklarda vaqtga chiziqli bog‘langan. Yorug‘lik tezligiga yaqinlashgan sari esa tezlikni oshirish mashaqqatli kechib, ancha uzoq vaqt oladi. Yorug‘lik tezligiga tenglashish esa cheksiz ko‘p vaqt oladi.

SINOV UCHUN BERILGAN



a)



b)

23.1-rasm

Jismning tinchlikdagi massasi eng kichik bo‘lib, uni ***xususiy massa*** deyiladi. Masalan, kosmik kema ichida turib o‘lchangan massa xususiy massa bo‘lib, uni Yerdan turib o‘lchanganda bu xususiy massadan har doim katta chiqadi.

Agar massalar ma’lumbo‘lsa, u holda K' sistemaning tezligini aniqlash mumkin. Massaning nisbiyligi formulasidan foydalanamiz va algebraik almashtirishlar bajarib, so‘ralgan kattalikni aniqlaymiz.

$$m=\frac{m_0}{\sqrt{1-(\vartheta/c)^2}},\ \rightarrow\ \left(\frac{m_0}{m}\right)^2=1-\left(\frac{\vartheta}{c}\right)^2,\ \rightarrow\ \left(\frac{\vartheta}{c}\right)^2=1-\left(\frac{m_0}{m}\right)^2,\ \rightarrow\ \vartheta=\sqrt{1-\left(\frac{m_0}{m}\right)^2}\,c$$

Demak, turli ISSlarida o‘lchangan massalar berilsa, K' sistemaning harakat tezligi quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\vartheta=\sqrt{1-\left(\frac{m_0}{m}\right)^2}\,c \qquad \textbf{(23.2)}$$

Tezlik ortganda jismning massasi ortar ekan demak, uning zichligi ham ortish kerak. Jism harakatlanayotganda uning massasi ortib hajmi esa kamayadi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Jismning tinchlikdagi zichligi $\rho_0 = \frac{m_0}{V_0}$ bo‘lsa, harakat paytida esa $\rho = \frac{m}{V}$ ga teng bo‘ladi. Massa uchun

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-(\vartheta/c)^2}}$$

formuladan, hajm uchun esa

$$V = V_0\sqrt{1-(\vartheta/c)^2}$$

formuladan foydalansak, so‘ralgan kattalikni topishimiz mumkin.

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{\frac{m_0}{\sqrt{1-(\vartheta/c)^2}}}{V_0\sqrt{1-(\vartheta/c)^2}} = \frac{m_0}{V_0\left(1-(\vartheta/c)^2\right)} = \frac{\rho_0}{1-(\vartheta/c)^2}$$

Shunday qilib, jismning K va K' sistemalardagi zichliklari orasidagi bog‘lanish quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\rho = \frac{\rho_0}{1-(\vartheta/c)^2} = \frac{\rho_0}{1-\beta^2} = \gamma^2\rho_0 \qquad \textbf{(23.3)}$$

Jismning tinchlikdagi zichligi eng kichik bo‘lib, uni ***xususiy zichlik*** deyiladi. Masalan, kosmik kema ichida turib o‘lchangan massa xususiy zichlik bo‘lib, uni Yerdan turib o‘lchanganda bu xususiy zichlikdan har doim katta chiqadi.

Agar zichliklar ma’lum bo‘lsa, u holda K' sistemaning tezligini aniqlash mumkin. Zichlikning nisbiyligi formulasidan foydalanamiz va algebraik almashtirishlar bajarib, so‘ralgan kattalikni aniqlaymiz.

$$\rho = \frac{\rho_0}{1-(\vartheta/c)^2},\ \rightarrow\ \frac{\rho_0}{\rho} = 1-\left(\frac{\vartheta}{c}\right)^2,\ \rightarrow\ \left(\frac{\vartheta}{c}\right)^2 = 1-\left(\frac{\rho_0}{\rho}\right)^2,\ \rightarrow\ \vartheta = \sqrt{1-\frac{\rho_0}{\rho}}\,c$$

Demak, turli ISSlarida o‘lchangan zichliklar berilsa, K' sistemaning harakat tezligi quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\vartheta_0 = \sqrt{1-\frac{\rho_0}{\rho}}\,c \qquad \textbf{(23.4)}$$

Shunday qilib, Lorens almashtirishlaridan kelib chiqadigan natijalardan foydalanib, vaqt oralig‘i, uzunlik, massa va zichlikning harakat tezligiga bog‘liqlik jadvalini tuzish mumkin bo‘lar ekan.

SINOV UCHUN BERILGAN

23.1-jadval

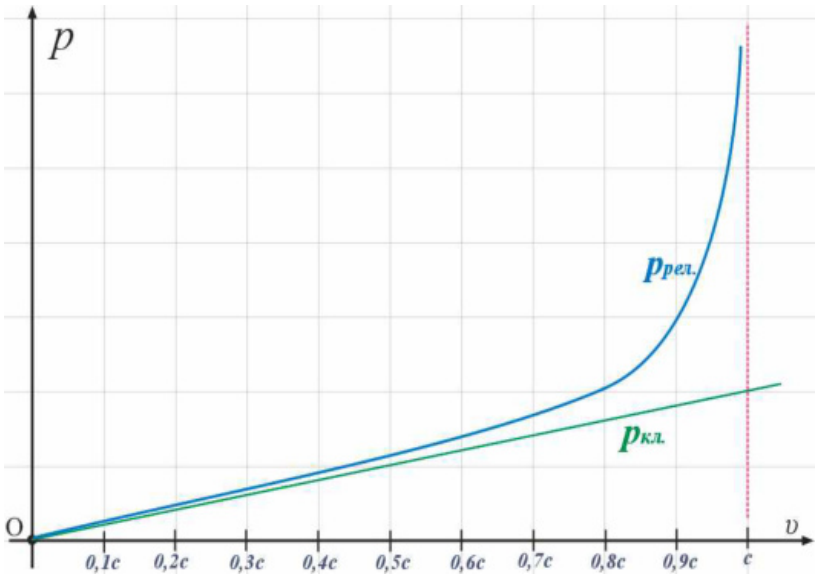
№	ϑ	γ	$\Delta t=\gamma\Delta t_0$	$\ell=\frac{\ell_0}{\gamma}$	$m=\gamma m_0$	$\rho=\gamma^2\rho_0$
1	*0,1c*	1,00504	$1{,}00504\cdot\Delta t_0$	$0{,}99498\cdot\ell_0$	$1{,}00504\cdot m_0$	$1{,}01010\cdot\rho_0$
2	*0,2c*	1,02062	$1{,}02062\cdot\Delta t_0$	$0{,}97979\cdot\ell_0$	$1{,}02062\cdot m_0$	$1{,}04166\cdot\rho_0$
3	*0,3c*	1,04828	$1{,}04828\cdot\Delta t_0$	$0{,}95394\cdot\ell_0$	$1{,}04828\cdot m_0$	$1{,}09889\cdot\rho_0$
4	*0,4c*	1,09109	$1{,}09109\cdot\Delta t_0$	$0{,}91651\cdot\ell_0$	$1{,}09109\cdot m_0$	$1{,}19048\cdot\rho_0$
5	*0,5c*	1,15470	$1{,}15470\cdot\Delta t_0$	$0{,}86603\cdot\ell_0$	$1{,}15470\cdot m_0$	$1{,}33333\cdot\rho_0$
6	*0,6c*	1,25000	$1{,}25000\cdot\Delta t_0$	$0{,}80000\cdot\ell_0$	$1{,}25000\cdot m_0$	$1{,}56250\cdot\rho_0$
7	*0,7c*	1,40028	$1{,}40028\cdot\Delta t_0$	$0{,}71414\cdot\ell_0$	$1{,}40028\cdot m_0$	$1{,}96078\cdot\rho_0$
8	*0,8c*	1,66667	$1{,}66667\cdot\Delta t_0$	$0{,}60000\cdot\ell_0$	$1{,}66667\cdot m_0$	$2{,}77778\cdot\rho_0$
9	*0,9c*	2,29415	$2{,}29415\cdot\Delta t_0$	$0{,}43590\cdot\ell_0$	$2{,}29415\cdot m_0$	$5{,}26289\cdot\rho_0$
10	*0,95c*	10,2564	$10{,}2564\cdot\Delta t_0$	$0{,}09750\cdot\ell_0$	$10{,}2564\cdot m_0$	$105{,}194\cdot\rho_0$
11	*0,98c*	25,2525	$25{,}2525\cdot\Delta t_0$	$0{,}03960\cdot\ell_0$	$25{,}2525\cdot m_0$	$637{,}688\cdot\rho_0$
12	*0,99*	50,2513	$50{,}2513\cdot\Delta t_0$	$0{,}19900\cdot\ell_0$	$50{,}2513\cdot m_0$	$2525{,}19\cdot\rho_0$

Relyativistik dinamikaning asosiy tenglamasi:

Jismning harakat tezligi yorug‘lik tezligiga yaqinlashganda uning massasi ortib ketar ekan, demak, uning impulsi ham ortish kerak degan fikr yuzaga keladi. Haqiqatan ham tezlik yorug‘lik tezligiga yaqinlashganda, jismning impulsi faqatgina tezlik oshishi hisobiga bo‘lmasdan, balki massa oshishi hisobbiga ham ortar ekan. Shunday qilib, jismning relyativistik impulsi quyidagi ko‘rinishda bo‘lar ekan:

$$p=\frac{m_0\vartheta}{\sqrt{1-(\vartheta/c)^2}} \qquad \textbf{(23.5)}$$

Jism impulsining klassik va relyativistik qoidalar bo‘yicha ortishi 23.2-rasmda keltirilgan. Rasmdan ko‘rinib turibdiki, Nyuton mexanikasi bo‘yicha hisoblaganda jism impulsi chekli $p=m_0c$ qiymatga, Relyativistik mexanika bo‘yicha esa cheksiz katta qiymatga ega bo‘lar ekan.



23.2-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Agar jism yoki zarraning relyativistik impulsi berilib, uning qaysi tezlikda harakatlanayotgani so‘ralsa, u quyidagicha aniqlanadi:

$$p=\frac{m_0\vartheta}{\sqrt{1-(\vartheta/c)^2}}=\frac{m_0\vartheta c}{\sqrt{c^2-\vartheta^2}},\quad\rightarrow\quad p^2c^2-p^2\vartheta^2=(m_0c)^2\vartheta^2,\quad\rightarrow$$

$$\rightarrow\quad p^2c^2=\left(p^2+(m_0c)^2\right)\vartheta^2,\quad\rightarrow\quad\vartheta=\frac{pc}{\sqrt{p^2+(m_0c)^2}}$$

Shunday qilib, relyativistik impulsi p ga teng bo‘lgan zarra yoki jismning harakat tezligi ushbu formula orqali aniqlanar ekan:

$$\vartheta=\frac{pc}{\sqrt{p^2+(m_0c)^2}} \qquad (23.6)$$

Nyuton mexanikasiga ko‘ra jism impulsining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi unga ta’sir etuvchi kuchga teng bo‘lar edi.

Relyativistik mexanikada ham xuddi shu qonuniyat saqlanib qoladi, lekin uning ko‘rinishi biroz boshqacharoq bo‘ladi

$$\bar{F}=\frac{d\bar{p}}{dt}=\frac{d}{dt}\left(\frac{m_0\bar{\vartheta}}{\sqrt{1-(\vartheta/c)^2}}\right)=\frac{d}{dt}\left(m_0\bar{\vartheta}\gamma\right) \qquad (23.7)$$

Yuqoridagi tenglama relyativistik mexanikaning asosiy tenglamasi deb ataladi. Relyativistik mexanikada jismning harakat tenglamasi xuddi ana shu tenglamadan keltirib chiqariladi.

Massa va energiya orasidagi bog‘lanish:

Massa va energiya orasidagi bog‘liqlik masalasini ko‘rib chiqaylik. Buning uchun yuqoridagi relyativistik dinamikaning asosiy tenglamasidagi hosilani topamiz. Ko‘paytmaning hosilasini topish qoidasi bo‘yicha qavsni ochib chiqamiz.

$$\dot{F}=\frac{d\dot{p}}{dt}=\frac{d}{dt}\left(\frac{m_0\dot{\vartheta}}{\sqrt{1-(\vartheta/c)^2}}\right)=\frac{m_0}{\sqrt{1-(\vartheta_0/c)^2}}\frac{d\dot{\vartheta}}{dt}+m_0\dot{\vartheta}\left(\left(1-\left(\frac{\vartheta}{c}\right)^2\right)^{-\frac{1}{2}}\right)'=$$

$$=\frac{m_0}{\sqrt{1-(\vartheta/c)^2}}\frac{d\dot{\vartheta}}{dt}+m_0\dot{\vartheta}\cdot\left(-\frac{1}{2}\right)\cdot\left(1-\left(\frac{\vartheta}{c}\right)^2\right)^{-\frac{3}{2}}\cdot\left(-\frac{2\vartheta}{c^2}\cdot\frac{d\vartheta}{dt}\right)=$$

$$=\frac{m_0}{\sqrt{1-(\vartheta/c)^2}}\frac{d\dot{\vartheta}}{dt}+\frac{m_0\vartheta\dot{\vartheta}}{c^2\sqrt{\left(1-(\vartheta/c)^2\right)^{3/2}}}\cdot\frac{d\vartheta}{dt}$$

Jism harakarlantirilganda unga kinetik energiya beriladi. Bu kinetik energiya esa kuchalrning bajargan ishiga tengdir.

SINOV UCHUN BERILGAN

$$dE_K = dA = \vec{F}\cdot d\vec{r} = \frac{m_0}{\sqrt{1-(\vartheta/c)^2}}\frac{d\dot{\vartheta}}{dt}d\vec{r} + \frac{m_0\vartheta\dot{\vartheta}}{c^2\sqrt{\left(1-(\vartheta/c)^2\right)^3}}\frac{d\vartheta}{dt}d\vec{r} =$$

$$= \frac{m_0}{\sqrt{1-(\vartheta/c)^2}}\frac{d\vec{r}}{dt}d\vec{\vartheta} + \frac{m_0\vartheta\vec{\vartheta}}{c^2\sqrt{\left(1-(\vartheta/c)^2\right)^3}}\frac{d\vec{r}}{dt}d\vartheta = \frac{m_0}{\sqrt{1-(\vartheta/c)^2}}\vec{\vartheta}d\vec{\vartheta} +$$

$$+ \frac{m_0\vartheta}{c^2\sqrt{\left(1-(\vartheta/c)^2\right)^3}}\vec{\vartheta}\vec{\vartheta}d\vartheta = \frac{m_0}{\sqrt{1-(\vartheta/c)^2}}\vartheta d\vartheta + \frac{m_0\vartheta^3}{c^2\sqrt{\left(1-(\vartheta/c)^2\right)^3}}d\vartheta =$$

$$= \frac{m_0\vartheta d\vartheta\left(c^2-\vartheta^2\right)+m_0\vartheta^3 d\vartheta}{c^2\sqrt{\left(1-(\vartheta/c)^2\right)^3}} = \frac{m_0\vartheta d\vartheta\left(c^2-\vartheta^2+\vartheta^2\right)}{c^2\sqrt{\left(1-(\vartheta/c)^2\right)^3}} = \frac{m_0}{\sqrt{\left(1-(\vartheta/c)^2\right)^3}}\vartheta d\vartheta$$

Hosil bo‘lgan ifoda kinetik energiya differensialidir. Uni integrallash orqali kinetik energiyani aniqlaymiz.

$$E_K = \int dE_K = \int_0^{\vartheta}\frac{m_0}{\sqrt{\left(1-(\vartheta/c)^2\right)^3}}\vartheta d\vartheta = \frac{m_0}{2}\int_0^{\vartheta}\frac{d\left(\vartheta^2\right)}{\sqrt{\left(1-(\vartheta/c)^2\right)^3}} = \frac{m_0c^2}{2}\int_0^{\vartheta}\frac{d\left(\frac{\vartheta^2}{c^2}\right)}{\sqrt{\left(1-(\vartheta/c)^2\right)^3}} =$$

$$= -\frac{m_0c^2}{2}\int_0^{\vartheta}\frac{d\left(1-\frac{\vartheta^2}{c^2}\right)}{\sqrt{\left(1-(\vartheta/c)^2\right)^3}} = \left|1-\frac{\vartheta^2}{c^2} = u\right| = -\frac{m_0c^2}{2}\int_1^{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}}\frac{du}{u^{3/2}} = -\frac{m_0c^2}{2}\left.\frac{u^{-\frac{3}{2}+1}}{-\frac{3}{2}+1}\right|_1^{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}} =$$

$$= m_0c^2\left.\frac{1}{\sqrt{u}}\right|_1^{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}} = m_0c^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}}}-1\right) = m_0c^2(\gamma-1)$$

Ko‘rib chiqqan holda bajarilgan ish rezlatilayotgan jism yoki zarraga kinetik energiya berdi. Natijada energiya osishi massa oshishiga olib keldi.

$$\Delta E_K = m_0c^2(\gamma-1) = \gamma m_0c^2 - m_0c^2 = mc^2 - m_0c^2 = (m-m_0)c^2 = \Delta m c^2$$

Tezlikni oshirganda uning massasi ham ortishi bilan tanishib chiqdik. Tezlik oshganda unga kinetik energiya beramiz. Demak, massa ortishi unga berilgan kinetik energiya bilan bog‘liq bo‘lishi mumkinmi degan savol tug‘iladi. Xuddi shuningdek, bu savol yadro va elementar zarralar fizikasida ham juda muhim. Uran yadrosi neytron bilan parchalanganda yangi yadrolar va bir nechta erkin neytron paydo bo‘ladi. Bunda juda katta issiqlik ajralib chiqadi. Hisob-kitoblarga ko‘ra yadro va neytronning to‘qnashuvgacha bo‘lgan massaslari yig‘indisi uran parchalangandan keyingi hosil bo‘lgan yadrolar va neytronlar massalari yig‘indisidan katta chiqar ekan. Bundan shunday xulosa qilish mumkinki, yadro

SINOV UCHUN BERILGAN

parchalanganda ajralib chiqqan energiya o‘zi bilan ma’lum massani ham olib ketar ekan. Aksincha, jismga energiya berilsa, uning massasi ortish kerak ekan.

Shunday qilib, massa va energiya orasidagi bog‘lanish quyidagi ko‘rinishda bo‘lar ekan:

$$\Delta E = \Delta m c^2 \qquad \textbf{(23.8)}$$

Bu yerda: Δm – energiya olgan jismning ortgan massasi, ΔE – jismga berilgan energiya bo‘lib, u qanday usulda berilishiga bog‘liq emas. Jism olgan ΔE energiya potensial energiya, kinetik energiya, erish issiqligi, bug‘lanish issiqligi, yonish issiqligi, isitilganda olgan issiqlik va hokoza bo‘lishi mumkin.

$$\Delta E = \frac{m\vartheta^2}{2},\quad \Delta E = m g h,\quad \Delta E = \frac{k x^2}{2},\quad \Delta E = \lambda m,\quad \Delta E = r m,\quad \Delta E = q m,\quad \Delta E = c m \Delta t$$

(23.9)

Yuqoridagi formuladan ko‘rinib turibdiki, to‘xtab targan avtomobil massasi yurganda kataroq, poldan tepaga ko‘tarilgan jismning massasi kattaroq, prujinaga mahkamlangan jism muvozonat vaziyatidan eng chetki vaziyatda bo‘lganda massasi kattaroq, muz erib suvga aylanganda massasi kattaroq, qaynagan suv bug‘ga aylanganda massasi kattaroq va hokoza bo‘lar ekan.

Jismga energiya ΔE berilganda u energiyaga proporsional holda qo‘shimcha Δm massa olar ekan, tinch turganda ham energiyaga ega emasmi degan savol tug‘iladi. Axir jism tinch turganda m_0 massaga egaku, nega endi E_0 energiyaga ega bo‘lmasin. Haqiqatan ham barcha jismlar tinch turganda ham yashirin holatdagi hali uyg‘onmagan energiyaga ega bo‘lib, u quyidagicha bo‘ladi:

$$E_0 = m_0 c^2 \qquad \textbf{(23.10)}$$

Yuqoridagi formuladan ko‘rinadiki, har qanday $m_0=1\ kg$ massali jism (kul, suv, tosh, metal, benzin, gaz, yog‘och, kislota va h.) $E_0 = 9\cdot 10^{16}\ J$ tinchlikdagi energiyaga ega. Bu energiya moddaning turidan qat’iy nazar unda mujassam bo‘lgan energiyadir. Ximiyaviy reaksiyalar paytida ajraladigan energiya tinchlikdagi energiyaning juda kam ulushini tashkil etadi. Masalan, yaxshi yonuvchi $m_0=1\ kg$ massali benzin yonganda undan $Q=46MJ$ energiya ajralib chiqib, bunda benzin o‘z massasidan atigi $\Delta m = 5{,}11\cdot 10^{-10}\ kg = 0{,}000511 mg$ qismini issiqlikka aylantirgan bo‘ladi. Yadro qurollari – vodorod bombasi, atom bombasi naqadar qiruvchi kuchga ega ekanligini har birimiz juda yaxshi bilamiz. Hisob-kitoblarga ko‘ra yadro reaksiyalari paytida ham ajraladigan energiya tinchlikdagi energiyaning ancha kam – taxminan $1/2000$ ulushini tashkil etar ekan. Agar jismni to‘la elektromagnit maydonga aylantirish iloji bo‘lsa, undan ana shunday $E_0 = 9\cdot 10^{16}\ J$ kattalikdagi energiya olish mumkin bo‘lar ekan. Ushbu elektromagnit maydonga aylanish hodisasi zarra va uning antizarrasi uchrashganda

SINOV UCHUN BERILGAN

sodir bo‘lib, bu hodisani anniglyatsiyalanish deyiladi. Masalan, elektron va uning antizarrasi pozitron uchrashganda har biri *0,511 MeV* dan bo‘lgan 2ta γ-kvantiga aylanar ekan, ya’ni zarralarning massalari to‘la nurlanar ekan.

Relyativistik kinetik energiya:

Jism kichkina tezliklarda harakatlanganda uning kinetik energiyasi $E_K=\frac{m\vartheta^2}{2}$ formula orqali aniqlanishi bizga ma’lum. Lekin bizni jism yorug‘lik tezligiga yaqin tezliklarda harakatlanganda uning kinetik energiya ifodasi qanday ko‘rinishda bo‘lishi qiziqtiradi. Ana shu savolga javob berishga harakat qilamiz.

Jismning tinchlikdagi energiyasi $E_0=m_0c^2$ ifoda bilan, relyativistik energiyasi esa

$$E=mc^2=\frac{m_0}{\sqrt{1-(\vartheta/c)^2}}c^2=\gamma m_0c^2$$

ifoda orqali aniqlanadi. Energiyaning saqlanish qonuniga muvofiq, bu energiyalar farqi jismni tezlashtirish uchun berilgan kinetik energiya bo‘lish kerak.

Jismning relyativistik kinetik energiyasi quyidagicha bo‘ladi:

$$E_K=E-E_0=m_0c^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-(\vartheta/c)^2}}-1\right)=m_0c^2(\gamma-1) \qquad (23.11)$$

Yuqoridagi formuladan jism tezligini yorug‘lik tezligigacha yaqinlashtirish juda katta energiya talab qilishi ko‘rinib turibdi. Masalan, jism tezligi $\upsilon=\frac{\sqrt{3}}{2}c\approx 0{,}866\,c$ bo‘lganda, uning massasi 2 marta ortadi. Bu tezlikka erishtirish uchun jismga $E_K=m_0c^2$ tinchlikdagi energiyasiga teng bo‘lgan energiya beriladi. Massasi $m_0=1\ kg$ bo‘lgan jismni ana shu tezlikka etkazish uchun $E_K=9\cdot10^{16}J$ energiya zarur bo‘lib, bu energiyani esa taxminan *2 mln.* tonna benzin yonganda olish mumkin bo‘lar ekan. Massasi $m_0=1\ kg$ bo‘lgan jism tezligini $\upsilon=\frac{2\sqrt{2}}{3}c\approx 0{,}9428c$ tezlikkacha yetkazish uchun esa taxminan *4 mln.* tonna benzin yonganda ajraladigan energiya kerak bo‘ladi. Jism tezligini yorug‘lik tezligigacha yetkazish uchun esa cheksiz katta energiya kerak bo‘ladi. Shuning uchun ham jism tezligini yorug‘lik tezligigacha yetkazish mumkin bo‘lmasdan, balki unga yaqinlashish mumkindir.

Ma‘lumki, har bir yangi yaratilgan nazariya oldingisini inkor etmasdan, balki uni to‘ldirishi kerak, ya’ni moslik prinsipi bajarilishi kerak. Xuddi shuningdek, kinetik energiya uchun ham bu prinsip bajarilishi kerak. Buning uchun biz sonlar yig‘indisining ixtiyoriy darajasi ko‘rinishidan ko‘phad ko‘rinishiga o‘tishga yordam beruvchi ushbu

$$(1+\alpha)^n=1+n\alpha+\frac{n(n-1)}{2!}\alpha^2+\frac{n(n-1)(n-2)}{3!}\alpha^3+\frac{n(n-1)(n-2)(n-3)}{4!}\alpha^4+\ldots$$

SINOV UCHUN BERILGAN

formualdan foydalanamiz. Yuqorida yozilgan formulaga asosan relyativistik kinetik energiya formulasida ushbu

$$\frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{\vartheta}{c}\right)^2}} \approx 1+\frac{\vartheta^2}{2c^2}+\frac{3\vartheta^4}{8c^4}+\ldots \qquad (*)$$

kasrni ko‘phadlar ko‘rinishida yozib olsak va past tezliklar uchun dastlabki ikkita hadni e’tiborga olsak, u holda relyarivistik kinetik energiya ushbu

$$E_K = m_0c^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-(\vartheta/c)^2}}-1\right) = m_0c^2\left(1+\frac{\vartheta^2}{2c^2}-1\right) = \frac{m_0\vartheta^2}{2}$$

klassik kinetik energiya ko‘rinishiga o‘tadi. Jismning yoki zarraning tezligi oshib, yorug‘lik tezligiga yaqinlashib borgan sari (*) formuladagi 3-hadni ham, yanada yaqinlashib borgan sari esa 4-hadni, 5-hadni va hokoza hadalarni e’tiborga olish kerak bo‘ladi.

Energiya va impuls orasidagi bog‘lanish:

Jism harakatlanganda u energiya olishi bilan bir qatorda impuls ham oladi. SHuning uchun jism olgan impuls va energiyasi orasidagi bog‘liqlikni ifodalovchi qandaydir biror tenglama bormi degan savol tug‘ilishi tabiiy. Ana shu bog‘liqlikni aniqlaymiz.

Jism harakatlanganda relyativistik energiyasi

$$E = mc^2 = \frac{m_0}{\sqrt{1-\left(\frac{\vartheta_0}{c}\right)^2}}c^2 = \gamma c^2$$

ga teng bo‘ladi. Bu ifodani kvadratga ko‘tarib, matematik almashtishglar natijasida $E^2-\frac{E^2\vartheta^2}{c^2}=m_0^2c^4$ ifodani, undan esa $E^2=m_0^2c^4+\frac{E^2\vartheta^2}{c^2}$ ifodani hosil qilamiz. Tenglikni chap qismidagi E ni mc^2 ga almashtirib, $E^2=m_0^2c^4+c^2(m\vartheta)^2$ ni olamiz. Bu yerda impuls $p=m\vartheta$ ekanini inobatga olsak, so‘ralgan E va p orasidagi munosobatni topamiz.

Shunday qilib, energiya va impuls orasidagi bog‘lanish quyidagicha bo‘lar ekan:

$$E=\sqrt{m_0^2c^4+p^2c^2}=\sqrt{E_0^2+(pc)^2} \qquad \textbf{(23.12)}$$

Bu formuladan jism impulsi quyidagicha bo‘ladi:

$$p=\frac{\sqrt{E^2-E_0^2}}{c} \qquad \textbf{(23.13)}$$

Agar yuqorida topilgan formulalarni yorug‘lik kvanti – foton uchun qo‘llasak, ajoyib natijalarga ega bo‘lamiz. Ma’lumki, foton tinchlikda massaga, demak

SINOV UCHUN BERILGAN

energiyaga ham ega emas, ya'ni foton uchun $m_0=0$, $E_0=0$ bo'ladi. Bularni inobatga olib, fotonning impulsini topishimiz mumkin.

$$E_f = pc \quad yoki \quad p_f = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \qquad (23.14)$$

Demak, fotonni energiyasi $E_f=h\nu$ va impulsi $p_f = \frac{h}{\lambda}$ bo'lgan zarracha kabi tasavvur qilish mumkin ekan.

Mavzu yuzasidan savollar

1. *Massaning nisbiylik formulasini yozing. Xususiy massa nima?Massalar berilanda tezlikni topish formulasini yozing.*
2. *Zichlikning nisbiylik formulasini yozing. Zichliklar berilanda tezlikni topish formulasini yozing.*
3. *Relyativistik dinamikaning asosiy tenglamasini yozing. Bunda jismni tezlatuvchi kuch qaysi kattaliklarga bog'liq?*
4. *Relyativistik impuls va klassik impulsning tezlikka bog'langan grafiklarini chizing.*
5. *Massa va energiya orasidagi bog'lanishni yozing. Tinchlikdagi energiya nima?*
6. *Relyativistik kinetik energiyani yozing va undan klassik kinetik energiyaning ifodasini keltirib chiqaring.*
7. *Relyativistik kinetik energiya va klassik kinetik energiyaning tezlikka bog'langan grafiklarini chizing.*
8. *Energiya va impuls orasidagi bog'lanishni yozing. Bu bog'lanish foton uchun qanday ko'rinishda bo'ladi?*

Masala yechish:

1. *0,5c tezlik bilan harakatlanayotgan jism zichligi tinch holatdagiga nisbatan qanday o'zgaradi? c- yoruglikning vakuumdagi tezligi.*

Berilgan:

$V=0{,}5c$

$\frac{\rho}{\rho_0} = ?$

Yechish:

Nisbiylik nazariyasi qonunlariga ko'ra jimning harakatdagi massasi uning tinchlikdagi massasi bilan quydagicha bog'langan $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ *bunda* $m = \rho Sl$ *va* $m_0 = \rho_0 Sl_0$ *ekaligini etiborga olsak*

$\rho l = \frac{\rho_0 l_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ *ifodaga ega bo'lamiz. Bunda* l *o'rniga* $l = l_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ *ifodani qo'yib* $\rho = \frac{\rho_0}{1-\frac{v^2}{c^2}}$ *ifodaga ega bo'lamiz buundan* $\rho = \frac{\rho_0}{1-\frac{v^2}{c^2}} = 1{,}3$ *marta ortishi kelib chiqadi.*

Javob: *1,3 marta oshadi*

SINOV UCHUN BERILGAN

2. *Elektronning kinetik energiyasi E_K=2 MeV. Klassik va relyativistik formulalardan foydalanib elektronning tezligini aniqlang.*

Berilgan:	*Yechish:*
E_K=2 MeV me=9,1·10^{-31} kg ϑ=?	*Kinetik energiyani SI sistemasiga o'tkazamiz.* $E_K = 2MeV = 2\cdot10^6 eV = 2\cdot10^6\cdot\left(1{,}6\cdot10^{-19}\ J\right) = 3{,}2\cdot10^{-13}\ J$ *Dastlab, kinetik energiyaning klassik formulasidan foydalanib tezlikni aniqlaymiz.*

$$E_K = \frac{m_e\vartheta^2}{2},\ \rightarrow\ \vartheta_{klas} = \sqrt{\frac{2E_K}{m_e}} = \sqrt{\frac{2\cdot3{,}2\cdot10^{-13}}{9{,}1\cdot10^{-31}}} = 8{,}39\cdot10^8\frac{m}{s}$$

Bu tezlik yorug'lik tezligidan ham kattaroqdir. Shuning uchun ham masala shartida klassik formuladan foydalanish noto'g'ridir. Endi kinetik energiyaning relyativistik formulasidan foydalanib tezlikni aniqlaydigan formulani keltirib chiqaramiz.

$$E_K = m_ec^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-(\vartheta/c)^2}}-1\right),\ \rightarrow\ \frac{1}{\sqrt{1-(\vartheta/c)^2}} = 1+\frac{E_K}{m_ec^2},\ \rightarrow\ 1-(\vartheta/c)^2 = \frac{1}{\left(1+\frac{E_K}{m_ec^2}\right)^2},\ \rightarrow$$

$$\rightarrow\left(\frac{\vartheta}{c}\right)^2 = 1-\frac{1}{\left(1+\frac{E_K}{m_ec^2}\right)^2},\ \rightarrow\ \vartheta = \sqrt{1-\frac{1}{\left(1+\frac{E_K}{m_ec^2}\right)^2}}\cdot c$$

$$\vartheta_{rel} = \sqrt{1-\frac{1}{\left(1+\frac{E_K}{m_ec^2}\right)^2}}\cdot c = \sqrt{1-\frac{1}{\left(1+\frac{3{,}2\cdot10^{-13}}{9{,}1\cdot10^{-31}\cdot9\cdot10^{16}}\right)^2}}\cdot3\cdot10^8 \approx 2{,}937\cdot10^8\ \frac{m}{s}$$

Javob:

3. *Quyosh nurlari yil davomida Yerga 5,4·10^{24} J energiya olib keladi. Agar Yer bu energiyani fazoga nurlamaganida 10 yil davomida uning massasi necha kg ortgan bo'lar edi?*

Berilgan:	*Yechish:*
E=5,4·10^{24} J Δm =?	*Nisbiylik prinsipiga ko'ra massa energiyaga ekvivalent kattalik bo'lib, jismlar energiya yutish bilan massasi ortadi va aksincha. Ular orasida* $E = \Delta mc^2$ *bog'lanish mavjud. Bunda* Δm *massaning o'zgarishi. Demak, 1 yil davomida Yer massasi* $\Delta m = \frac{E}{c^2} \approx 6\cdot10^7$ *kg ga ortar ekan. 10 yilda esa 6·10^{8}kg ga ortgan bo'lar edi.* ***Javob:*** *6·10^8 kg*

SINOV UCHUN BERILGAN

V BOBGA DOIR TESTLAR

1. Fazoda ikkita zarracha bir to‘g‘ri chiziq bo‘ylab bir-biri tomon *0,8c* va *0,9c* tezlik bilan uchmoqda. Ikkinchi zarrachaning birinchi zarrachaga nisbatan tezligini aniqlang. (c – yorug‘likning vakuumdagi tezligi.)

A) 0,8c B) c C) 1,7c D) 0,99c E) 0,1c

2. Tinchlikdagi massasi m bo‘lgan zarraning *0,6c* tezlik bilan harakatlanayotganidagi massasini toping.

A) $1{,}83m$ B) $1{,}67\ m$ C) $1{,}25\ m$ D) $2{,}78\ m$ E) $1{,}56\ m$

3. Tezligi *0,87c* bolgan elektronning massasi uning tinchlikdagi massasidan necha marta katta?

A) 2,0 B) 2,5 C) 4,0 D) 5,0 E) 10,0

4. Protonning tezligi *240000 km/s*. Uning massasi tinch holatdagi massasidan necha marta katta? Yorug‘likning bo‘shliqdagi tezligi *300000 km/s*.

A) 1,67 B) 0,60 C) 0,48 D) 2,24 E) 1,00

5. Raketa Yerdagi kuzatuvchiga nisbatan *0,9c* (c -yorug‘lik tezligi) tezlik bilan harakat qilmoqda. Unda zichligi *950 kg/m*^{3} bo‘lgan modda bor. Bu moddaning kuzatuvchiga nisbatan zichligi necha kg/m^3?

A) 9500 B) 950 C) 2500 *D)* 5000 E) 7500

6. Massasi *1 kg* bo‘lgan jismning to‘la energiyasi necha joulga teng?

A) $3\cdot10^9$ B) $3\cdot10^{16}$ C) $18\cdot10^{16}$ D) $9\cdot10^{24}$ E) $9\cdot10^{16}$

7. Quyoshning umumiy nurlanish quvvati *3,83 ·10*^{26} *W*. Shu nurlanish tufayli, Quyosh har sekundda necha kg massasini yo‘qotadi?

A) $22\cdot10^{11}$ B) $3{,}5\cdot10^8$ C) $1{,}7\cdot10^8$ D) $15\cdot10^{10}$ E) $4{,}3\cdot10^9$

8. Zarracha qanday tezlikda harakatlanganda, uning kinetik energiyasi tinchlikdagi energiyasiga teng bo‘ladi? *c* -yorug‘likning vakuumdagi tezligi.

A) 0,5c B) 0,87c C) 0,75c D) 0,25c E) TJY

9. Protonning kinetik energiyasi $0{,}5mc^2$ bo‘lsa, uning to‘la energiyasi qanaay? m_o – protonning tinchlikdagi massasi.

A) $1{,}5mc^2$ B) $0{,}5mc^2$ C) mc^2 D) $2mc^2$ E) $0{,}25mc^2$

10. Elektron *0,8c* tezlik bilan erkin harakat qilmoqda. Uning tinchlikdagi energiyasi *0,511 MeV* ga teng. Elektronning kinetik energiyasi qanday (MeV)?

A) 0,511 B) 0,341 C) 0,285 D) 0,1 E) TJY

SINOV UCHUN BERILGAN

11. Agar harakatlanayotgan elementar zarraning kinetik energiyasi tinchlikdagi energiyasidan *7* marta katta bo‘lsa, uning massasi tinchlikdagi massasidan necha marta katta bo‘ladi?

A) 5 B) 6 C) 7 D) 8 E) 9

12. Massasi *90 t* bo‘lgan yuk *10 m* balandlikka ko‘tarilganda, uning massasi qanday o‘zgaradi?

A) o‘zgarmaydi B) 10^{-10} kg kamayadi C) 10^{10} kg ortadi
D) $5\cdot10^{10}$ kg kamayadi E) $5\cdot10^{10}$ kg ortadi

13. *1 kg* suv *81 K* ga isitilganda, uning massasi qanchaga ortadi (kg)? *c=4200 J/(kg·K)*.

A) $3{,}78\cdot10^{-12}$ B)$2{,}8\cdot10^{-13}$ C) $8{,}1\cdot10^{-13}$ D) $3{,}78\cdot10^{-13}$ E) $4{,}2\cdot10^{-13}$

14. *1 kg* suv *90 K* isitilganda, massasi qanday o‘zgaradi? Suvning solishtirma issiqiik sig‘imi $4{,}210^{3}$ *J/(kg·K)*.

A) o‘zgarmaydi B) $42\cdot10^{-13}$ kg ortadi C) $42\cdot10^{-13}$ kg kamayadi.
D) $84\cdot10^{-13}$ kg ortadi E) $84\cdot10^{-13}$ kg kamayadi.

15. Jism qanday tezlik bilan harakatlanganda, uning massasi tinchlikdagi massasidan ikki marta ortadi?

A) 0,87c B) 0,9c C) 0,8c D) 0,72c E) 0,92c.

16. Biror ISS ga nisbatan ikkita jism bir xil relyativistik tezliklar bilan qarama-qarshi tomonlarga bir-birlaridan uzoqlashmoqdalar. Ularning bir-biriga nisbatan relyativistik nisbiy tezligi *0,6c* ga teng. Jismlarning har birining tezlik modullari qanday bo‘lgan?

A) 0,555c B) 0,777c C) 0,333c D) 0,363c E) 0,222c

17. *0,5c* tezlik bilan harakatlanayotgan zarraning kinetik energiyasi tinchlikdagi energiyasining necha foizini tashkil etadi?

A) 31 % B) 25,5 % C) 0,333c D) 15,5 % E) 18,5 %

18. *0,9c* tezlik bilan harakatlanayotgan elektronning kinetic energiyasi va impulsini aniqlang.

A) $E_K = 1{,}06\cdot10^{-16}\,J;\ p = 5{,}64\cdot10^{-24}\,kg\cdot m/s$

B) $E_K = 2{,}16\cdot10^{-15}\,J;\ p = 8{,}32\cdot10^{-20}\,kg\cdot m/s$

C) $E_K = 1{,}06\cdot10^{-10}\,J;\ p = 5{,}64\cdot10^{-19}\,kg\cdot m/s$

D) $E_K = 1{,}06\cdot10^{-13}\,J;\ p = 5{,}64\cdot10^{-22}\,kg\cdot m/s$

E) $E_K = 3{,}46\cdot10^{-19}\,J;\ p = 5{,}64\cdot10^{-31}\,kg\cdot m/s$

SINOV UCHUN BERILGAN

V BOBGA DOIR TOPSHIRIQLAR

1. Elektronning tezligi *180000 km/s*. Uning massasi tinch holatdagi massasidan necha marta katta? Yoruglikning bo‘shliqdagi tezligi *300000 km/s*.

2. Jism *0,89c* tezlik bilan harakatlanmoqda. Bunda uning zichligi qanday o‘zgaradi?

3. Tezligi *0,6c* bo‘lgan zarrachaning kinetik energiyasi uning tinchlikdagi energiyasidan necha marta kichik boladi?

4. Bikrligi *20 kN/m* bo‘lgan prujinani *30 cm* ga cho‘zganda, uning massasi qancnaga ortadi?

5. Massasi *20 kg* bo‘lgan azot o‘zgarmas bosimda *0* dan *200°C* gacha qizdirildi. Bunda azotning massasi qanchaga oshgan? Azotning o‘zgarmas bosimdagi solishtirma issiqiik sig‘imi *1,05kJ/(kg·K)*.

6. Ikki zarracha bir-biriga qarab Yerga nisbatan $\vartheta_1 = 0{,}5c$ va $\vartheta_2 = 0{,}8c$ tazlik bilan harakatlanmoqda. Ikkinchi zarra bilan bog‘langan sanoq sistemasida birinchi zarraning tezligi namaga teng?

7. Tinch turgan chizg‘ichning uzunligi $\ell_0 = 1m$. *0,6 c* tezlik bilan bo‘ylama yo‘nalishda harakatlanayotgan chizg‘ichning uzunligi qancha bo‘ladi?

8. Yerga nisbatan $\vartheta = 0{,}98c$ tezlik bilan harakatlanayotgan kosmik zarrachaning Yer soati bilan o‘lchangan umri t uning xususiy umri t_0 dan necha marta ortiq?

9. Yerga nisbatan $\vartheta = 0{,}33c$ tezlik bilan harakatlanayotgan raketada $\tau_0 = 50$ *yil* yil vaqt o‘tdi. Yerda necha yil vaqt o‘tgan?

10. $\vartheta = 2{,}4 \cdot 10^8 m/s$ tezlik bilan harakatlanayotgan protonning massasi qanday? Protonning tinchlikdagi massasi m_0=1 m.a.b. deb hisoblang.

11. Harakatdagi jismning bo‘ylama o‘lchami *n* marta qisqarishi uchun u qanday tezlikka erishsish kerak?

12. Kosmik nurlar tarkibidagi mezonlar yorug‘lik tezligining *95%* tezligida harakatlansa, mezon o‘lchaminig mo‘ylama qisqarishi qanday?

13. Beqaror zarracha yorug‘lik tazligining 99%ini tashkil etadi. Uning yashash vaqti Yerdagi kuzutuvchiga nigohida necha marta uzayadi?

14. Yerga tomon ϑ tezlik bilan harakatlanayotgan yulduz tomonidan nurlangan yorug‘lik Yerga c+ϑ tezlik bilan emas, balki *c* tezlik bilan yaqinlashishini isbot qiling.

SINOV UCHUN BERILGAN

15. Tezlatkich radioaktiv yadroga $1{,}2 \cdot 10^8 m/s$ tezlik beradi. Tezlatkichdan chiqish paytida yadro o‘z yo‘nalishida tezlatkichga nisbatan $2{,}25 \cdot 10^8 m/s$ tezlikka ega bo‘lgan elektron chiqaradi. Elektronning yadroga nisbatan tezligini aniqlang.

16. $\vartheta = 0{,}99c$ tezlik bilan harakatlanayotgan elektronning relyativistik massasi uning tinchlikdagi massasidan necha marta katta bo‘ladi?

17. Harakatdagi jismning relyativistik massasi uning tinchlikdagi massasiga nisbatan 20% ga ortdi. Bunda uning uzunligi necha marta qisqargann?

18. Elektron $2 \cdot 10^8$ *m/s* tezlik bilan harakatlanmoqda. Elektronning kinetik energiyasini klassik va relyativistik formulalar bo‘yicha hisoblab, natijalarni taqqoslang.

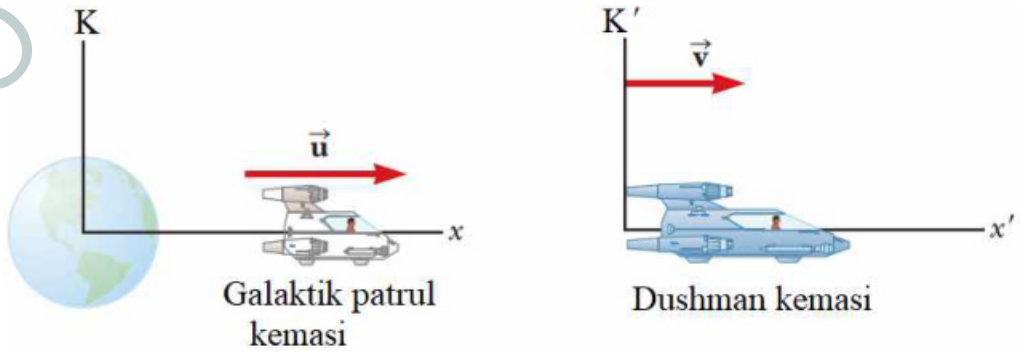
19. Energiyaning *1J* o‘zgarishi massaning qanday o‘zgarishiga olib keladi?

20. Massa elektronning tinch holdagi massasichalik o‘zgarishi uchun energiya qanday o‘zgarish kerak?

21. Neytron zarrasi kuzatuvchiga nisbatan tinch bo‘lganda *900 s* vaqt yashaydi, so‘ngra parachalanib ketadi. Agar neytron biror tezlikda harakatlanayotgan bo‘lsa, kuzatuvchi nazdida bu zarra *2065 s* vaqt yashaydi. Neytron qanday tezlikda harakatlanmoqda?

22. Agar relyativistik effektlar *1 %* dan oshmaslik kerak bo‘lsa, u holda Lorens faktori $\gamma = 1{,}01$ bo‘lshi kerak. Qanday nisbiy tezlikda $\gamma = 1{,}01$ bo‘ladi? Relyativistik effektlar *3 %* dan oshmaslik uchun nisbiy tezlik qanday bo‘lishi kerak?

23. Dushman kosmik kemasi Yerdan *0,8c* tezlik bilan uzoqlashmoqda. Galaktik patrul kemasi esa uni Yerga nisbatan *0,9c* tezlik bilan quvmoqda (pastdagi rasmga qarang). Yerdagi kuzatuvchi patrul kemasi dushman kemasini *0,1c* tezlik bilan quvib yetadi deb o‘ylaydi. Patrul kemasi ekipajlari dushman kemasini qanday tezlik bilan quvib yetyapmiz deb o‘ylaydi?



24. Ikki planeta biror sanoq sistemasiga nisbatan bir-biriga to‘qnashadigan trayektoriya bo‘ylab bir xil *0,25c* tezlik bilan yaqinlashmoqda. Birinchi planetadan ikkinchisiga kosmik kema uchirildi. Bu kosmik kemani ikkinchi planetadagi kuzatuvchi *0,75c* tezlik bilan yaqinlashayotganini qayd etadi. Kosmik kemaning

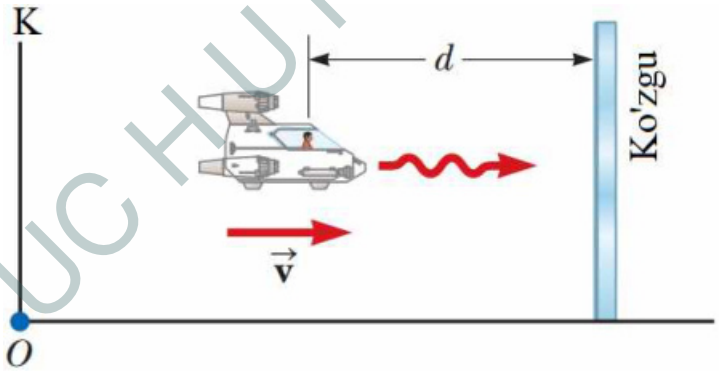
SINOV UCHUN BERILGAN

tanlangan sanoq sistemasidagi tezliqi qanday? Kosmik kema birinchi planetaga nisbatan qanday tezlikda uchirilgan?

25. Ikki planeta bir-biriga to‘qnashadigan trayektoriya bo‘ylab $0,25c$ ga teng nisbiy tezlik bilan yaqinlashmoqda. Birinchi planetadan ikkinchisiga kosmik kema uchirildi. Bu kosmik kemani ikkinchi planetadagi kuzatuvchi $0,75c$ tezlik bilan yaqinlashayotganini qayd etadi. Kosmik kema birinchi planetaga nisbatan qanday tezlikda uchirilgan?

26. Relyativistik tezlikda harakatlanayotgan ikkita kosmik kemadan biri ikkinchisiga dron uchiradi. Bu dron 1-kemadan $0,75c$ tezlikda uzoqlashib, ikkinchisiga $0,95\ c$ tezlik bilan yaqinlashadi. Kosmik kemalarning bir-biriga nisbatan tezligi qanday bo‘lgan?

27. Kosmik kemadagi kosmanavt ko‘zgu tomonga qarab rasmdagi K sanoq sistemasiga nisbatan $0,65c$ tezlik bilan harakatlanmoqda. Ko‘zgi K sanoq sistemasiga nisbatan tinch turibdi. Kosmanavt kemadan ko‘zgu tomonga yorug‘lik impulsini yuboradi va impuls ko‘zgudan orqaga kema tomonga qaytadi. Impuls yuborilgan vaqt momentida kema ko‘zgudan (K sistemadagi kuzatuvchi hisobi bo‘yicha) $d=5,66\cdot10^{10}\ m$ masofada edi. Impulsning umumiy sayr sayr vaqti K sistemadagi hamda kosmik kemadagi kuzatuvchilar nimaga teng?



28. Katta yo‘lda turadigan DAN xodimi foydalanadigan radar asbobining ishlashi Doppler siljishiga asoslangan bo‘lib, shu siljish tufayli avtomobillarning tezligini aniqlaydi. Mikroto‘lqinning radardan chiqish chastotasi $100\ GHz$ bo‘lib, qaytgan exosignal chastotasi esa bundan $15\ kHz$ ga kattaroq. Avtomobilning tezligi qanday bo‘lgan?

29. Agar protonning impulsi $4,48\cdot10^{-19}\ kg\cdot m/s$ ga teng bo‘lsa, uning tezligi anday? Protonning tinchlikdagi massasi $m_0=1,67\cdot10^{-27}\ kg$.

30. Buyuk portlash hodisasidan keyin $10^{68}\ J$ energiya hosil bo‘lgan deb baholanadi. Bu energiya bilan har birining massasi $4\cdot10^{30}\ kg$ bo‘lgan nechta yulduz hosil bo‘lishi mumkin?

SINOV UCHUN BERILGAN

ATOM, YADRO va ZARRALAR FIZIKASI

Qadimgi Yunon faylasufi Demokrit "Tabiatdagi barcha jismlar bo'linmas zarra–atomlardan tashkil topgan" deb aytgan edi. Uzoq vaqtlar davomida fanda atom–materiyaning bo'linmas qismi, "dunyo tuzilishining eng elementar g'ishtchalari" degan fikr hukmronlik qilib keldi. Atom grekcha "atomos" so'zidan olingan bo'lib, "bo'linmas" degan ma'noni anglatadi. Demokrit aytgan atom XIX asrning oxiriga qadar materiyaning oxirgi zarrasi hisoblangan. Atomning ichki tuzilishi haqidagi hozirgi, zamonaviy tasavvurlarga darhol kelingan emas. XIX asr oxirlariga kelganda esa bir qator mashhur tajribalar tufayli atomning murakkab tuzilishi to'g'risidagi fikr anchagina oydinlashib qoldi. Ulardan ba'zilariga to'xtalib o'tamiz:

1. 1896 yilda A.Bekkerel radioaktivlikni kashf etdi va radioaktiv nurlanishlarning fotoplastinkaga ta'sir etishini va ionlashini aniqladi.

2. 1898 yilda P.Kyuri va M.Skladovskaya Kyurilar uran tuzlarining ham radioaktiv xususiyatga ega ekanligini aniqladilar. Shuningdek, ular nurlanish uch xil ko'rinishda bo'lishi va bu nurlanish intensivligi tashqi ta'sirlarga bog'liq emasligini aniqladilar.

3. 1897 yil J.J.Tomson elektronni kashf etdi. 1903 yilda esa o'zining atom modelini tavsiya etdi.

4. 1900 yil Kyuri, E.Rezerford, F.Soddilar radioaktiv nurlanishlardan chiquvchi α-nur ikki marta ionlashgan, β–nur tez elektronlar oqimi, γ–nur esa qisqa elektromagnit to'lqin ekanligini aniqladilar.

5. 1911 yil Rezerford atomning yadro (planetar) modelini taklif etadi.

6. 1913 yilda Daniyalik fizik Nils Bor o'zining uchta postulatini ishlab chiqdi va klassik fizikani mikroolam fizikasiga qo'llab bo'lmasligini ko'rsatib berdi.

7. Bor postulatlarini tekshirish maqsadida Frank va Gers 1913 yilda tajriba o'tkazdi

Ushbu darslikda atom, yadro va zarralar bo'limini 3 qismga bo'lib o'rganamiz:

- *Atom fizikasi*
- *Yadro fizikasi*
- *Zarralar faizikasi*

SINOV UCHUN BERILGAN

VI BOB. ATOM FIZIKASI



Umumiy fizikaning so‘nggi bo‘limi sifatida o‘rganiladigan atom, yadro va zarralar fizika bo‘limi o‘z navbatida nomlanishidan ham ko‘rinib turganidek uch qismga bo‘linadi. Shulardan atom fizikasi qismi dastlabki bob sifatida o‘rganiladi. Bunga tarixiy rivojlanish bosqichi bo‘yicha XX asrning boshlarida o‘tkazilgan mashhur tajribalar natijasida eng avvalo atomning qa’riga yo‘l ochilgani sababdir. Natijada fizikada butunlay yangi yo‘nalish paydo bo‘ldi. Atom fizikasida tabiatdagi barcha jismlar va moddalarni tashkil qilgan molekulalarni ximiyaviy elementlar – atomlardan tashkil topgan deb o‘rganadi. Ushbu bobda atomlarning tuzilishi, har xil energetik sathlar, sathlardagi elektron qobiqlar va bu qobiqlardagi fizik kattaliklar qanday qiymatlar qabul qilishi o‘rganiladi.

§ 24. ATOM HAQIDA KLASSIK TASAVVURLARNING RIVOJLANISHI.

Atomning ichki tuzilishi haqidagi hozirgi, zamonaviy tasavvurlarga darhol kelingan emas. *XIX* asr oxirlariga kelganda esa bir qator mashhur tajribalar tufayli atomning murakkab tuzilishi to‘g‘risidagi fikr anchagina oydinlashib qoldi. Shulardan bir nechtasini yoritib o‘tamiz.

Spektral seriyalar:

Atom tuzilishini o‘rganishga jazm qilgan olimlar u haqida ma’lumot olish uchun asosiy diqqatni atom chiziqli spektrini o‘rganishga qaratganlar. Buning uchun esa spektr to‘lqin uzunliklarini imkoniyat boricha katta aniqlik bilan o‘lchash talab etilgan.

Bu o‘lchashlar esa odatda spektoroskop yordamida amalga oshirilgan. Birinchi o‘lchashni atom chiziqli spektri strukturasini o‘rgangan Fraungofer o‘tkazgan. Bunda u ko‘rish trubasining ikki yarmi, prizma va sigara qutisidan tashkil topgan spektroskopdan foydalangan. Keyingi o‘lchashlarda esa bu spektroskop anchagina takomillashtirilgan. Vaqt o‘tish bilan u o‘z o‘rnini difraksion panjaradan tashkil topgan spektoroskoplarga bo‘shatib berdi. Bunday asbob yordamida bir necha o‘n yilliklar davomida turli elementlarning 10 000 dan ortiq spektral chiziqlarining to‘lqin uzunliklari katta aniqlik bilan o‘lchandi.

Bu ishga birinchi bo‘lib Iogann Balmer qo‘l urdi va bu sonlar xaosida qandaydir sistemani mavjud ekanligini aniqladi. U vodorod atomi spektrining ko‘rinuvchi sohasidagi 4 ta spektral chiziq tartibsiz joylashmasdan, balki ularning joylashishi va to‘lqin uzunligi ma’lum bir qonuniyatga bo‘ysunishini aniqladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Balmer bu qonuniyatni spektral seriya deb atadi va uning ifodasini quyidagi ko‘rinishda yozdi:

$$\lambda = B\frac{n^2}{n^2-4} \qquad (24.1)$$

Bu erda: n – natural sonlar bo‘lib, u 3, 4, 5, 6 qiymatlarni qa’bul qiladi, B esa doimiy bo‘lib, $B = 3645{,}6\overset{0}{A}$ bo‘ladi.

Bu oddiygina munosobat shu darajada aniqki, uni quyidagi 24.1-jadvaldan ham bilib olish mumkin.

24.1-jadval

Chiziqlar	Angstremda o‘lchangan to‘lqin uzunlik	Balmer hisoblagan to‘lqin uzunlik	n
C	6562,1	6562,08	3
F	4860,74	4860,8	4
G	4340,1	4340	5
H	4101,2	4101,3	6

Bu jadvalning birinchi ustunida vodorod atomining spektral chiziqlariga Fraungofer tomonidan berilgan nomlar, ikkinchi ustunida esa shved fizigi Angstrem tomonidan o‘lchangan shu chiziqlarning to‘lqin uzunligi, uchinchi ustunida esa ushbu chiziqlarning Balmer formulasi asosida hisoblangan to‘lqin uzunligi, beshinchi ustunida esa Balmer formulasiga kirgan va chiziqlarning to‘lqin uzunliklarini hisoblashda ishlatilgan n natural sonlar keltirilgan.

Spektr chiziqlari to‘lqin uzunliklarining o‘lchangan va hisoblangan qiymatlari bir-biri bilan haddan tashqari mos tushadi. Bunday moslik tasodifiy bo‘lishi mumkin emas edi. Shu sababli uning bu kashfiyoti bir qator yangi tadqiqotlar seriyasiga olib keldi.

Bu kashfiyotdan boshlab atom haqidagi fanning davri boshlandi. 1886 yilda Runge Balmer formulasi to‘lqin uzunligi orqali emas, balki uning chastotasi orqali yanada aniqroq bo‘lishini ko‘rsatib o‘tdi va shu formulani quyidagi ko‘rinishda yozishni taklif qildi:

$$\nu = \frac{4c}{B}\left(\frac{1}{4}-\frac{1}{n^2}\right) \qquad (24.2)$$

1890-yilda esa shved fizigi Ridberg ushbu formulani quyidagicha yozdi:

$$\nu = cR_\lambda\left(\frac{1}{k^2}-\frac{1}{n^2}\right) \qquad (24.3)$$

Bu yerda: n va k – natural sonlardir. $R_\lambda = 10967759{,}37\ m^{-1}$ esa vodorod atomi uchun to‘lqinli Ridberg doimiysi deb ataldi (vodorod atomi uchun chastotali Ridberg doimiysi esa $R_\nu = R_\lambda \cdot c = 10967759{,}37\ m^{-1} \cdot 3\cdot 10^8\ m/s = 3{,}29032\cdot 10^{15}\ Gs$ bo‘ladi). Ushbu formula umumlashgan Balmer formulasi deyiladi. Agar $k=2$

SINOV UCHUN BERILGAN

bo‘lsa, vodorod atomi spektrining ko‘rinuvchi sohasini harakterlovchi, tajribada tasdiqlangan Balmer seriyasi, ya’ni Balmer formulasi hosil bo‘ladi. Bu formula yordamida *n=50* gacha bo‘lgan spektral chiziqlarning to‘lqin uzunliklari aniqlangan.

Keyingi tadqiqotlarda vodorod atomi spektrining ultrabinafsha sohasini xarakterlovchi spektral chiziqlarning chastotasi ham quyidagi qonuniyatga bo‘ysunishi aniqlandi:

$$\nu = cR_\lambda\left(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{n^2}\right) \qquad (24.4)$$

Bu yerda: *n=2, 3, 4, ...* qiymatlarni qa’bul qiladi. Ushbu ifoda Layman seriyasi deb ataldi.

Xuddi shunga o‘xshash vodorod atomi spektrining infraqizil sohasini xarakterlovchi spektral chiziqlarning chastotasi quyidagi qonuniyatlarga bo‘ysunishi aniqlandi:

$$\begin{aligned}
&\nu = cR_\lambda\left(\frac{1}{3^2}-\frac{1}{n^2}\right) \quad (n=4,5,6,7,8,...),\\
&\nu = cR_\lambda\left(\frac{1}{4^2}-\frac{1}{n^2}\right) \quad (n=5,6,7,8,....),\\
&\nu = cR_\lambda\left(\frac{1}{5^2}-\frac{1}{n^2}\right) \quad (n=6,7,8,....),\\
&\nu = cR_\lambda\left(\frac{1}{6^2}-\frac{1}{n^2}\right) \quad (n=7,8,....).
\end{aligned} \qquad (24.5)$$

Birinchi formula Pashen seriyasi, ikkinchi formula Breket seriyasi, uchinchi formula Pfund seriyasi va oxirgisi esa Xemfri seriyasi deyiladi.

Shundan so‘ng umumlashgan Balmer formulasini ikki sonning ayirmasi ko‘rinishida yozib olish taklif etildi va bu sonlarni spektral termlar deb ataldi:

$$\nu = \frac{cR_\lambda}{k^2}-\frac{cR_\lambda}{n^2} = T(k)-T(n) \qquad (24.6)$$

Ko‘rinishidan bu ifoda hech qanday ma’noga ega emasdek tuyuladi. *1908* yili shveysariya olimi Rits ushbu ifodani ma’nosini tushuntirib berdi. Ridberg ishini davom ettirgan Rits u asosida kombinatsion prinsipni ta’riflab berdi: istalgan atom spektridagi ixtiyoriy chiziq chastotasini ikki termning ayirmasi shaklida yozish mumkin. Bunday ayirmani spektral termni oddiy ko‘rinishda (xuddi vodorod atomidek) ifodalash mumkin bo‘lmaganida ham yozish mumkin bo‘ladi.

Bunday qaralganida umulashgan Balmer formulasidan kombinatsion prinsipga o‘tishda hech qanday foyda yo‘qdek ko‘rinadi. Lekin bunaqa emas. Bu yerda sonlar soni ancha qisqardi. Masalan, vodorodning *50* ta spektral chizig‘i chastotasini aniqlashda *50* ta emas, balki *10* ga yaqin spektral termlarni bilish yetarli bo‘ladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Demak, vodorod atomining tartibsiz spektral chiziqlar to‘plami tartibli spektral seriyalarga ajraldi. Ana endi ularni tushuntirish zarur edi. Bu ishni esa 1913 yili Bor amalga oshirdi. U vodorod atomining klassik nazariyasini ishlab chiqdi va spektral seriyalarning paydo bo‘lishini tushuntirib berdi. Shu bilan esa kvant nazariyaga asos qo‘yildi. Bundan esa kvant nazariyani boshlanishida spektral seriyalar katta o‘rin tutganligini ko‘rish mumkin bo‘ladi.

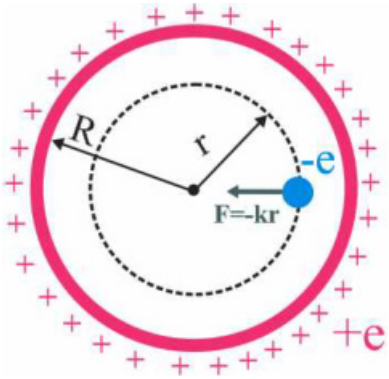
Tomsonning atom modeli:

1903 yilda E.Tomson atomning shunday bir modelini taklif etdiki, unga asosan atom musbat elektr bilan bir tekis to‘ldirilgan sferadan iborat bo‘lib, ichida elektron joylashgan bo‘ladi (24.1-rasm). Sferaning yig‘indi musbat zaryadi elektron zaryadiga teng bo‘lib, atom bir butun holda neytraldir. Tomson moleliga ko‘ra atom massasi uning butun hajmi bo‘yicha bir tekis taqsimlangan bo‘lib, atomning ichki qismida sirtidagidan ko‘ra kuchsizroq elektr maydoni ham mavjud.

Izolyatsiyalangan atom chiqarayotgan spektr xarakterini tushuntirish uchun nurlanayotgan atomdagi elektron garmonik tebranma harakat qiladi va demak, muvozonat holat atrofida $F=-\alpha\cdot r$ ko‘rinishdagi kvazielastik kuch bilan tutib turiladi deb faraz qilish lozim edi. Bunda r – elektronning muvozonat holatdan chetlanishi.

Bir tekis zaryadlangan sfera ichidagi maydon kuchlanganligi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi.

$$E(r)=k\frac{e}{R^3}\cdot r \quad (0\le r\le R) \qquad (24.7)$$



24.1-rasm

Bu yerda: e – sfera zaryadi, R – uning radiusi;

$k=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ $\left[\frac{N\cdot m^2}{Kl^2}\right]$ – proporsionallik koeffitsinenti;

$\varepsilon_0=8{,}85\cdot10^{-12}$ $\left[\frac{Kl^2}{N\cdot m^2}\right]$ – elektr doimiysi.

Demak, muvozonat holatidan r oraliqdagi turgan elektronga quyidagi kuch ta’sir qiladi.

$$F=(-e)E=-k\frac{e^2}{R^3}\cdot r=-\alpha r \qquad (24.8)$$

Bunday sharoitda muvozonat holatdan biror yo‘l bilan chiqarilgan elektron ν chastota bilan tebranadi.

$$\nu=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\alpha}{m_e}}=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k\,e^2}{m_e\,R^3}} \qquad (24.9)$$

Bu yerda: $m_e=9{,}1\cdot10^{-31}$ kg – elektron massasi.

Oxirgi munosobatdan atomning o‘lchamini aniqlash mumikn.

SINOV UCHUN BERILGAN

$$R = \sqrt[3]{\frac{k\,e^2}{4\pi^2\nu^2 m_e}} \qquad (24.10)$$

$\lambda=600\ nm$ to‘lqin uzunligiga (spektrning ko‘rinuvchi sohasi) $\nu=5\cdot10^{14}\ Gs$ chastota mos keladi.

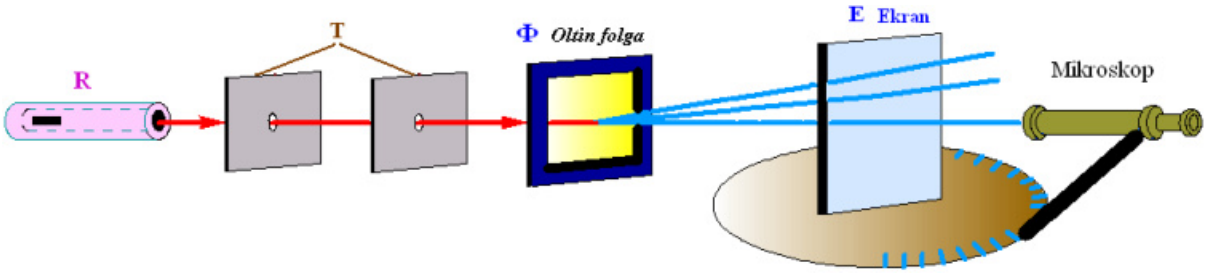
$$R = \sqrt[3]{\frac{9\cdot10^{9}\cdot\left(1{,}6\cdot10^{-19}\right)^2}{4\pi^2\cdot\left(5\cdot10^{14}\right)^2\cdot9{,}1\cdot10^{-31}}} = \sqrt[3]{\frac{2{,}304\cdot10^{-28}}{8{,}981}} = 2{,}95\cdot10^{-10}\,m \approx 3\,\overset{0}{A}$$

Olingan qiymat tartibi bo‘yicha atomning gazokinetik o‘lchamiga to‘g‘ri kelib, uni Tomson modelining tasdig‘i deb ham qarash mumkin edi. Lekin, keyinchalik bu modelning yaroqsizligi aniqlandi. Shuning uchun, hozirgi vaqtda u faqat atomlar tuzilishi haqidagi taraqqiyot zanjiridagi zvenolardan biri sifatida tarixiy ahamiyatga ega.

Rezerfordning α-zarralarning sochilishi bo‘yicha qilgan tajribalari:

Atomda musbat va manfiy zaryadlarning taqsimlanishini o‘rganish uchun atomning ichki sohasini “zondlash” zarur edi. Bunday “zondlash”ni Rezerford va uning xodimlari α-zarrachalarning yupqa qatlamli uchib o‘tayotganda yo‘nalishini o‘zgartirishini kuzatib amalga oshirdi. Rezerford o‘z tajribalarini o‘tkazgan paytda α-zarrachalar ikkilangan elementar musbat zaryadga ega ekanligi va o‘z zaryadini yo‘qotganda (o‘ziga ikkita elektron biriktiganda) neytral He atomiga aylanishi ma’lum edi. Radioaktiv moddadan α-zarrachalarning uchib chiqish tezligi $10^7\ m/s$ tartibida.

Tajriba quyidagicha amalga oshirildi (24.2-rasm). Qo‘rg‘oshin parchasidagi kovakga R radioaktiv modda kiritilgan bo‘lib, u α-zarralarning manbai bo‘lib xizmat qiladi. α-zarralar tashqariga faqat kichkina tirqish orqali chiqa oladi. α-zarralarning ingichka dastasi yo‘liga F yupqa metal zar (oltin folga) qo‘yilgan. α-zarrachalar folgadan o‘tganlarida turli α burchaklarga og‘adi. Sochilgan zarralar rux sulfid surtilgan E ekranga borib urilib ssintillyasiyalar (chaqnashlar) hosil qiladi. Bu chaqnashlar M mikroskop orqali kuzatiladi. Mikroskop bilan ekranni sochuvchi zar markazidan o‘tuvchi o‘q atrofida aylantirish va istalgan α burchakka o‘rnatish mumkin. α-zarralar havo molekulalari bilan to‘qnashmasligi uchun butun qurilma havosi so‘rib olingan g‘ilof ichiga joylashtirilgan.



24.2-rasm

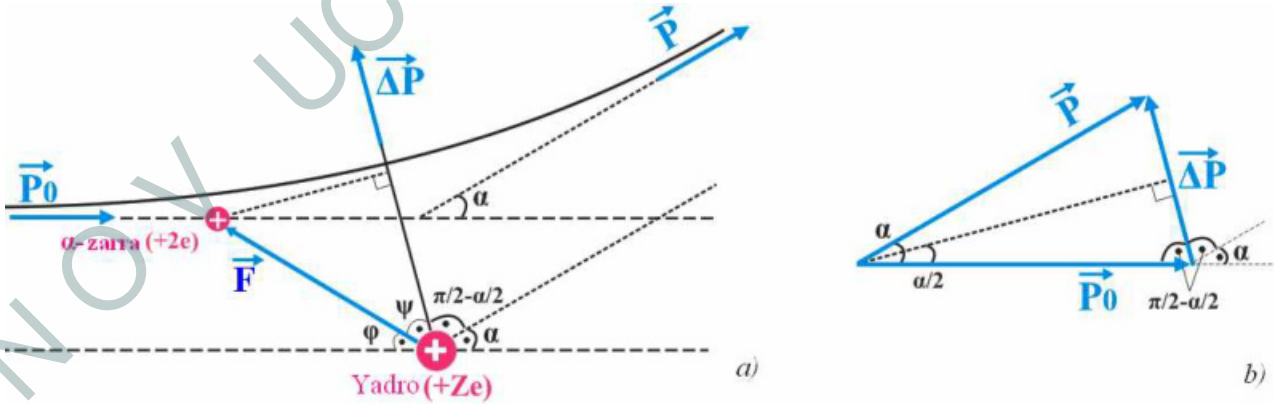
SINOV UCHUN BERILGAN

Ma’lum miqdordagi α-zarrachalar juda katta (deyarli 180^0) burchakka sochilganligi ma’lum bo‘ldi. Tajriba natijalarini tahlil qilib, Rezerford quyidagi xulosaga keldi: α-zarralarning bunday katta burchakka og‘ishi faqat atomning ichida juda kichik hajmda to‘plangan, juda katta massali zaryadning haddan tashqari kuchli elektr maydoni tufaylidir. Bu xulosaga asoslanib, 1911 yil Rezerford atomning yadro modelini taklif etadi. Uning tasavvuri bo‘yicha atom markazida Ze musbat zaryadli, o‘lchami 10^{-14} m dan oshmaydigan og‘ir yadro joylashgan, yadro atrofida atom egallagan butun hajm bo‘yicha z dona elektron bo‘lgan zaryadlar sistemasidan iborat. Atomning deyarli barcha massasi yadroda mujassamlashgan.

Rezerford bu tasavvurlarga ko‘ra α-zarralarning sochilish nazariyasini ishlab chiqdi, sochilgan zarralarning α burchak bo‘yicha taqsimlanish formulasini keltirib chiqardi. α-zarralar atom yadrolarining ta’siri tufayli og‘gan. Elektronlar bilan o‘zaro ta’sir natijasida katta og‘ish yuzaga kelish mumikn emas, chunki elektronning massasi α-zarranikidan taxminan 7500 marta kichik. Zarra yadro yaqinidan uchib o‘tayotganida unga quyidagi Kulon kuchi ta’sir qiladi.

$$F = \frac{2Z k e^2}{r^2} \ [N], \qquad k = 9 \cdot 10^9 \left[\frac{N \cdot m^2}{Kl^2} \right] \tag{24.11}$$

Zarraning bu holdagi trayektoriyasi asimptotalari o‘zaro α burchak hosil qiluvchi giperboladan iborat bo‘ladi. Yadrodan α-zarralarning boshlang‘ich yo‘nalishigacha bo‘lgan b masofa ***nishonga olish parametri*** deyiladi. Zarra yadroga qanchalik yaqin o‘tsa, (b qanchalik kichik bo‘lsa), uning shunchalik kuchli og‘ishi (α ning shunchalik katta bo‘lishi) tabiiy.



24.3-rasm

Impulsning saqlanish qonuniga ko‘ra zarraning yadroda sochilishidan avvalgi impulsi p_0, sochilib yadrodan uzoqlashgandagi impulsi p ga teng, ya’ni $p=p_0$ (24.3-a,b rasm). Rezerford impulsning saqlanish qonunidan foydalani, b va α lar orasidagi bog‘lanishni quyidagicha aniqladi, ya’ni α-zarraning sochilish burchagini aniqladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

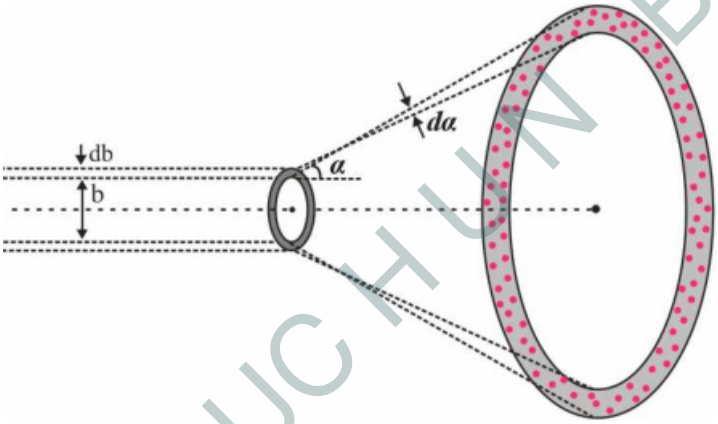
$$ctg\frac{\alpha}{2}=\frac{m_\alpha \vartheta^2}{2Z k e^2}\cdot b \qquad (24.12)$$

Sochuvchi modda qatlamini shunchalik yupqa deb qaraylikki, har bir zarra undan o‘tayotganida faqat bitta yadro yaqinidan uchib o‘tsin, ya’ni har bir zarra faqat bir marta sochilsin.

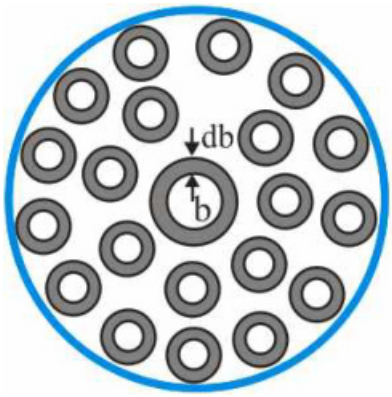
Zarra α va α-$d\alpha$ oralig‘idagi burchakka sochilishi uchun yadrolardan birining yaqinidan shunday trayektoriya bilan uchib o‘tsinki, uning nishonga olish parametri b va $b+db$ oralig‘iga to‘g‘ri kelsin (24.4-rasm). Bunda $d\alpha$ va db lar yuqoridagi formulaga ko‘ra quyidagicha bog‘langan:

$$-\frac{1}{\sin^2\frac{\alpha}{2}}\cdot\frac{d\alpha}{2}=\frac{m_\alpha \vartheta^2}{2Z K e^2}\cdot db \qquad (24.13)$$

Bu ifodadagi minus ishora b ning ortishi bilan $(db>0)$ α ning kamayishi natijasida paydo bo‘lgan. Kelgusida bizni faqat db ning α va $d\alpha$ ga bog‘liq funksiyasidagi absalyut qiymat qiziqtiradi. Shuning uchun, minus ishorani tushirib qoldirishimiz mumkin.



24.4-rasm



24.5-rasm

α-zarralar dastasining ko‘ndalang kesim yuzini S harfi bilan belgilaymiz. Unda sochuvchi folganing dasta yo‘lidagi atomlar soni $N_{at}=nSd$ bo‘ladi. n – atomlar konsen-tratsiyasi, d – folganing qalinligi. Agar α-zarralar dastasining qalinligi dastasining kesimi bo‘yicha bir tekis taqsimlangan bo‘lsa, yadrolarning birining yaqinidan b dan $b+db$ gacha nishonga olish parametrli trayektoriya bo‘yicha uchib o‘tuvchi (demak, $\alpha-d\alpha$ dan α gacha burchakka og‘uvchi) α-zarralarning nisbiy soni quyidagicha (24.5-rasm):

$$\frac{dN_\alpha}{N_\alpha}=\frac{N_{at}\cdot S_0}{S}=\frac{nSd\cdot 2\pi b db}{S}=nd\,2\pi b db \qquad (24.16)$$

Bu yerda: N_α – dastadagi jami α-zarralar soni;

dN_α – $\alpha-d\alpha$ dan α gacha burchak ostida sochiluvchi zarralar soni.

Hisob-kitoblar natijasida yuqoridagi formulani ushbu

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\frac{dN_\alpha}{N_\alpha} = n\,d\cdot\left(\frac{2ZKe^2}{m_\alpha\vartheta^2}\right)^2\cdot\frac{2\pi\sin\alpha\,d\alpha}{4\sin^4\frac{\alpha}{2}} \qquad (24.15)$$

ko‘rinishga keltiramiz.

Nihoyat, elementar fazoviy burchak

$$d\Omega = \frac{dS}{r^2} = \frac{2\pi b\,db}{r^2} = \frac{2\pi(r\sin\alpha)\cdot(r\,d\alpha)}{r^2} = 2\pi\sin\alpha\,d\alpha$$

ekanligini hisobga olsak, α-zarralarning nisbiy soni quyidagicha bo‘ladi:

$$\frac{dN_\alpha}{N_\alpha} = n\,d\cdot\left(\frac{2Zke^2}{m_\alpha\vartheta^2}\right)^2\cdot\frac{d\Omega}{4\sin^4\frac{\alpha}{2}} \qquad (24.17)$$

Bu ifoda α-zarralarning sochilishi uchun ***Rezerford formulasi*** deyiladi. 1913-yil Rezerford xodimlari bu formulani bir xil vaqt oralig‘ida turli α burchak ostida kuzatilgan ssintillya sonlarini hisoblash yo‘li bilan tekshirish o‘tkazdilar. Tajriba sharoitida (24.2-rasm) bir xil (E ekran yuzi va uning zardan uzoqligi bilan aniqlanadigan) fazoviy burchak oralig‘idagi α-zarralar hisoblandi. Shuning uchun, turli burchak ostida kuzatilgan ssintillyasiya soni Rezerford formulasiga asosan $1/\sin^4\frac{\alpha}{2}$ ga proporsional bo‘lishi kerak. Nazariyaning bu natijasi tajribada tasdiqlandi. Sochilishning folga qalinligi va α-zarraning tezligiga bog‘liqligi ham Rezerford formulasiga mos keldi.

α-zarra bilan atom yadrosi orasidagi Kulon ta’siriga asoslangan nazariyaning to‘g‘riligi hatto orqaga otib tashlangan α-zarra atomning musbat zaryadlangan sohaga kira olmasligini tasdiqlaydi (biz Tomson modelini ko‘rganimizda o‘zaro ta’sir kuch $2Zke^2/r^2$ o‘rniga $2Zke^2r/R^3$ bilan aniqlanishini ko‘rgandik). Shuningdek, aniq yadroga qarab yo‘nalgan α-zarra uning markazigacha shunday bir masofagacha yaqin kelishi mumkinki, uni α-zarraning kinetik energiyasini uning to‘liq to‘xtagan momentidagi yadro bilan o‘zaro ta’sir potensial energiyasiga tenglab topish mumkin.

$$\frac{m_\alpha\vartheta^2}{2} = \frac{2Zke^2}{r_{\min}} \qquad (24.18)$$

Bu yerda: r_{min} – α-zarra va yadro markazlari orasidagi minimum masofa;

$m_\alpha = 4\ m.a.b = 6{,}44\cdot10^{-27}\ kg$ – α-zarraning massasi.

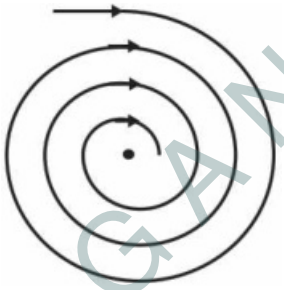
Masalani oltin zar uchun $Z=79$ va α-zarraning tezligi $\vartheta_\alpha = 10^7\ m/s$ bo‘lgan hol uchun ishlaylik.

$$r_{\min} = \frac{4Zke^2}{m_\alpha\vartheta^2} = \frac{4\cdot79\cdot9\cdot10^9\cdot2{,}56\cdot10^{-38}}{6{,}644\cdot10^{-27}\cdot10^{14}} \approx 1{,}1\cdot10^{-13}m$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Agar xuddi shu masalani alyuminiy uchun ($Z=13$) ishlasak, quyidagi echimga ega bo‘lamiz:

$$r_{\min}=\frac{4Zke^2}{m_\alpha \vartheta^2}=\frac{4\cdot 13\cdot 9\cdot 10^9\cdot 2{,}56\cdot 10^{-38}}{6{,}644\cdot 10^{-27}\cdot 10^{14}}\approx 1{,}8\cdot 10^{-14}\,m$$



24.6-rasm

Shunday qilib, α-zarralarning sochilishi bo‘yicha o‘tkazilgan tajribalarining natijasi Rezerford taklif etgan atomning yadro modeli foydasiga hal bo‘ldi. Lekin, yadro modeli klassik mexanika va elektroldinamika qonunlariga zid bo‘lib chiqdi. Harakatsiz turgan zaryadlar sistemasi turg‘un holatda bo‘la olmaydi. Shuning uchun ham Rezerford atomning statik modelidan voz kechib, elektronlar yadro atrofida berk traektoriya bo‘ylab aylanadi deb taxmin qilishga majbur bo‘ldi. Lekin, bu holda elektron tezlanish bilan harakat qiladi. Shu munosobat bilan klassik elektrodinamikaga asosan elektron uzluksiz ravishda elektromagnit to‘lqinlari (yorug‘lik) nurlab turishi lozim. Nurlanish jarayoni esa energiya sarflash bilan sodir bo‘ladi. Demak, elektron bora-bora elektronga qulab tushishi kerak (24.6-rasm). Nyuton va Maksvell qonunlariga asoslangan mutlaqo aniq hisoblashlar elektronning haddan tashqari qisqa (10^{-8} s) vaqt oralig‘ida yadrga qulashi lozim ekanini ko‘rsatdi. Natijada atom yo‘qolishi kerak. Lekin, ahvol bunday bo‘lmasdan, balki atom istalgancha uzoq vaqt turg‘undir.

Rezerford atomning planetar modelini yaratdi: elektronlar yadro atrofida xuddi planetalar Quyosh atrofida aylangani kabi aylanadilar. Bu model atomlarning barqarorligini tushuntirib bera olmadi. Lekin, shunday bo‘lsa-da uning ishlari olamshumul edi.

Mavzu yuzasidan savollar

1. *Balmer ko‘rinuvchi sohada 4ta spektr to‘lqin uzunligini aniqlash uchun qaysi formulani taklif etdi? Bunda B doimiyni nimaga teng deb oldi?*
2. *1886-yil Runge Balmer formulasini chastota orqali ifodalovchi qaysi formulani taklif etdi?*
3. *1890-yil shved fizigi Ridberg Runge formulasini yanada umumiyroq bo‘lgan qaysi ko‘rinishga keltirdi?*
4. *Laymen, Bakmer, Pashen, Breket, Pfund seriyalari uchun Ridberg formulasidan qaysi formulalar kelib chiqadi?*
5. *Tomson modelini tushuntirib bering. Atom o‘lchaminii aniqlashga imkon beradigan qaysi formulani keltirib chiqardi?*
6. *Tomson modelida elektronni qanday kuchtebranma harakatga keltiradi? Tomson modelining kamchiliklarini sanab bering.*
7. *Rezerfordning sochilish burchagini aniqlovchi formulasini yozing.*

SINOV UCHUN BERILGAN

8. α-zarralarning sochilishi uchun Rezerford formulasini yozing.
9. Rezerford modelining kamchiliklarini sanab bering.

Masala yechish:

1. *Vodorod atomining Layman seriyasi o'rinli bo'ladigan to'lqin uzunliklar oralig'ini toping.*

Berilgan:
$n=2...\infty$
$c=3\cdot10^8\ m/s$
$R_\lambda=10967759,37\ m^{-1}$
$\lambda=?$

Yechish:
Layman seriyasini toppish formulasidan foydalamiz.

$$\nu = cR_\lambda\left(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{n^2}\right)$$

Eng kichik chastota, ya'ni eng uzun to'lqin n=2 dan n=1 ga o'tishda hosil bo'ladi.

$$\nu_{\min}=\nu_{2\to1}=cR_\lambda\left(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{n^2}\right)=3\cdot10^8\ \frac{m}{s}\cdot10967759,37\,m^{-1}\left(1-\frac{1}{4}\right)=2,4677\cdot10^{15}\,Gs$$

$$\lambda_{\max}=\lambda_{2\to1}=\frac{c}{\nu_{2\to1}}=\frac{3\cdot10^8\ \frac{m}{s}}{2,4677\cdot10^{15}\,Gs}=1,2157\cdot10^{-7}\,m=1215,7\,\overset{0}{A}$$

Eng katta chastota, ya'ni eng qisqa to'lqin n=∞ dan n=1 ga o'tishda hosil bo'ladi.

$$\nu_{\min}=\nu_{2\to1}=cR_\lambda\left(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{n^2}\right)=3\cdot10^8\ \frac{m}{s}\cdot10967759,37\,m^{-1}\left(1-\frac{1}{\infty}\right)=3,2903\cdot10^{15}\,Gs$$

$$\lambda_{\max}=\lambda_{2\to1}=\frac{c}{\nu_{2\to1}}=\frac{3\cdot10^8\ \frac{m}{s}}{3,2903\cdot10^{15}\,Gs}=9,1176\cdot10^{-8}\,m=911,76\,\overset{0}{A}$$

Javob: $\lambda=\left[911,76\,\overset{0}{A}-1215,7\,\overset{0}{A}\right]$

2. *Tomsonning atom modelidan foydalangan holda 550 nm to'lqin uzunligidagi nurlanish chiqaradigan atomning radiusi necha angstrem ekanligi aniqlansin.*

Berilgan:
$\lambda=550\ nm$
$c=3\cdot10^8\ m/s$
$e=9\cdot10^9\ C$
$me=9,11\cdot10^{-31}\ kg$
$R=?$

Yechish:
Tomsonning atom o'lchami va atom chiqargan nur chastotasini bog'lovchi formulasidan foydalanamiz.

$$R=\sqrt[3]{\frac{k\,e^2}{4\pi^2\nu^2m_e}}=\sqrt[3]{\frac{k\,e^2}{4\pi^2(c/\lambda)^2m_e}}=\sqrt[3]{\frac{k}{m_e}\left(\frac{\lambda e}{2\pi c}\right)^2}$$

Kattaliklarni o'rniga sonlarni qo'yib hisob-kitob qilamiz.

$$R=\sqrt[3]{\frac{k}{m_e}\left(\frac{\lambda e}{2\pi c}\right)^2}=\sqrt[3]{\frac{9\cdot10^9\ \frac{N\cdot m^2}{C^2}}{9,11\cdot10^{-31}kg}\left(\frac{5,5\cdot10^{-7}m\cdot1,6\cdot10^{-19}C}{2\cdot3,1416\cdot3\cdot10^8\ \frac{m}{s}}\right)^2}=2,782\cdot10^{-10}m=2,782\,\overset{0}{A}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Javob: *R=2,782 Å*

3. *Rezarford tajribasi yordamia $3\cdot10^7$ m/s tezlikda harakatlanayotgan α-zarralarning oltin folgada sochilishi kuzatilmoqda. Bunda yadroning qanday o'lchamini olamz?*

Berilgan:	*Yechish:*
$\vartheta=3\cdot10^7$ m/s $\rho=19300$ kg/m³ $m_\alpha=6{,}68\cdot10^{-27}$ kg $Z=79$ $R=?$	*α-zarraning kinetik energiyasi oltin yadrosining elektr maydoniga qarshi yurib yadroga yaqinlashishda ish bajarishga sarf bo'ladi.* $\frac{m_\alpha\vartheta^2}{2}=\frac{2Zke^2}{r_{\min}}$

Bundan so'ralgan kattalikni aniqlaymiz.

$$r_{\min}=\frac{4Zke^2}{m_\alpha\vartheta^2}=\frac{4\cdot79\cdot9\cdot10^9\frac{N\cdot m^2}{C^2}\cdot\left(1{,}6\cdot10^{-19}C\right)^2}{6{,}68\cdot10^{-27}kg\cdot\left(3\cdot10^7\frac{m}{s}\right)^2}=1{,}21\cdot10^{-14}m$$

Javob: *528·k [Hz]*

§ 25. BOR POSTULATLARI VA ULARDAN KELIB CHIQADIGAN NATIJALAR

Bor postulatlari:

Atomning Rezerford taklif etgan modelida klassik mexanika va elektrodinamika bilan birga na atomning turg'un ekanligini va na atom spektrining xarakterini tushuntirishga qodir emasligi aniqlandi. Atom nazariyasida nihoyatda mushkul vaziyatdan qutulish yo'lini 1913 yilda Daniyalik buyuk fizik Nils Bor tabiatdagi jarayonlar haqidagi kvant tasavvurlarni yanada rivojlantirish natijasida ko'rsatib berdi.

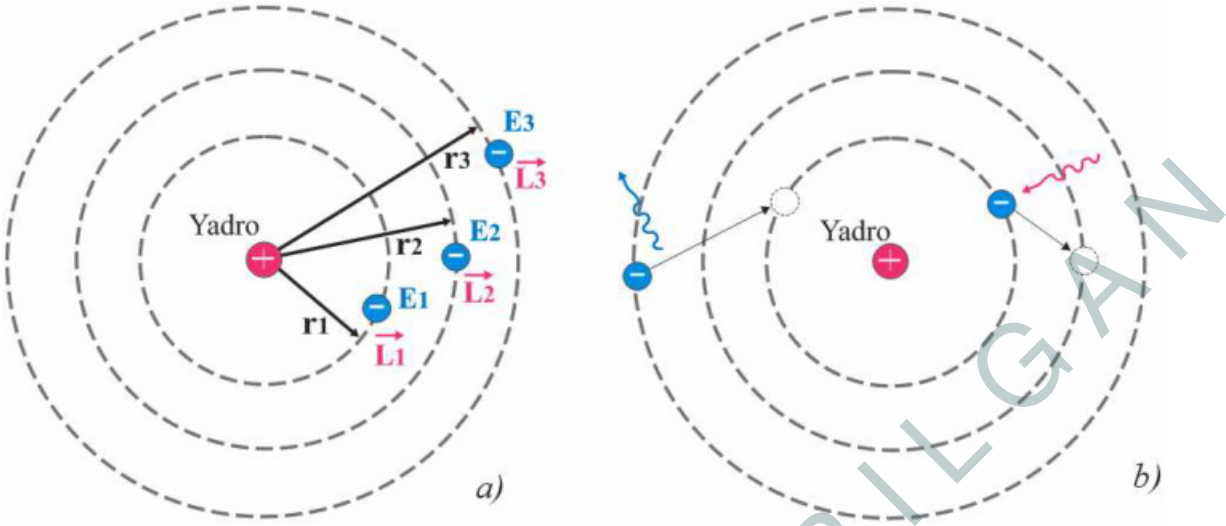
Eynshteyn Bor qilgan bu kashfiyotni "tafakkur olamidagi eng oliy qobiliyat mevasi" deb baholagan. Turli-tuman tajriba dalillariga asoslangan holda Bor buyuk bir ichki hissiyot tufayli masalaning mohiyatini oldindan to'g'ri aniqlay oldi.

Biroq Bor atomning izchil nazariyasini bera olmadi. U yangi nazariyaning asosiy qoidalarini postulatlar tarzida ifodaladi. Shu bilan birga Bor klassik fizika qonunlarini ham shaksiz rad etgani yo'q. Klassik fizika yo'l qo'yadigan ba'zi urinish-harakatlarga chek qo'ydi xolos.

Shunga qaramay, Bor nazariyasining muvaffaqiyatlari ajoyib edi va u nazariyani rivojlantirishning to'g'ri yo'lini topgan edi. Bu yo'l keyinchalik mikrozarralar harakatining mukammal nazariyasi–kvant mexanikasining yaratilishiga olib keldi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Borning qilgan farazi u ta’riflagan quyidagi uchta postulatda o‘z mazmunini topdi (25.1-rasm).



25.1-rasm

Birinchi postulat:

Atom sistemasi har biriga muayyan E_n energiya mos keladigan alohida statsionar yoki kvant holatlardagina bo‘la oladi. Atom statsionar holatning o‘zida nur chiqarmaydi yoki yutmaydi.

Bu postulat klassik mexanikaga tamoman ziddir. Klassik mexanikaga ko‘ra harakatlanayotgan elektronning energiyasi har qanday bo‘lishi mumkin. Klassik mexanika nuqtai-nazaridan mumkin bo‘lgan cheksiz ko‘p elektron orbitalaridan haqiqatda ba’zi kvant shartlarni qanoatlantiruvchi diskret orbitalargina mavjud bo‘la oladi. Bu postulat Maksvell elektrodinamikasiga ham ziddir, chunki bu postulatga ko‘ra elektronlar elektromagnit to‘lqin chiqarmasdan ham tezlanish bilan harakatlanishi mumkin.

Ikkinchi postulat:

Atom katta energiyali E_m statsionar holatdan kam energiyali E_n statsionar holatga o‘tganda yorug‘lik nurlanadi. Nurlangan fotonning energiyasi statsionar holatlar energiyalarining farqiga teng.

$$h\nu = E_m - E_n \qquad \textbf{(25.1)}$$

Nurlanayotgan chiziq chastotasi quyidagicha bo‘ladi:

$$\nu = \frac{E_m - E_n}{h} \qquad \textbf{(25.1a)}$$

Nur yutilganda elektron kam energiyali statsionar holatdan katta energiyali statsionar holatga o‘tadi va aksincha nur chiqarganda tepadan pastga tushadi.

Ikkinchi postulat Maksvell elektrodinamikasiga ziddir, chunki bu postulatga ko‘ra, yorug‘likning nurlanish chastotasi elektron harkatlarining xususiyatlarini emas, balki atom energiyasining o‘zgarishini bildiradi.

Uchinchi postulat:

SINOV UCHUN BERILGAN

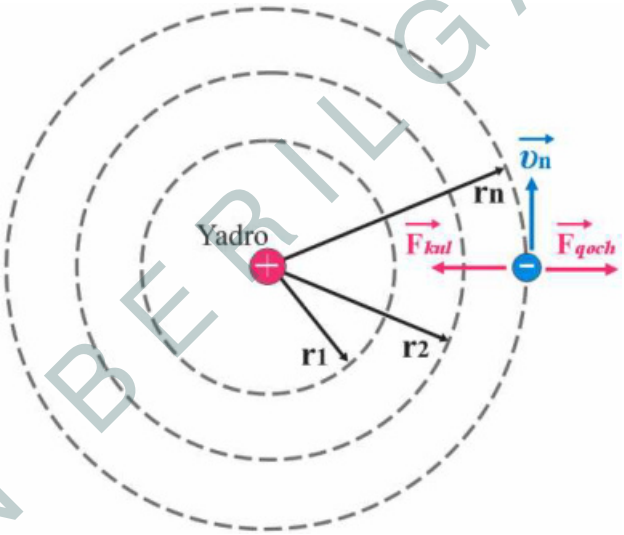
Atomdagi elektronning impuls momenti diskret qiymatlarga ega.

$$L = n\hbar \quad yoki \quad m\vartheta r = n\hbar \qquad [kg\cdot m/s = J\cdot s] \qquad (25.2)$$

Bu postulat ham klassik mexanika qonunlariga zid. Chunki, klassik mexanikaga ko‘ra aylanma harkat qilayotgan jismning impuls momenti ixtiyoriy qiymatlarga ega bo‘lishi mumkin. Uchinchi postulatga ko‘ra esa impuls momenti cheksiz ko‘p qiymatlardan faqatgina tanlangan qiymatlarnigina, ya’ni $\hbar$ ga karrali qiymatlarnigina qa’bul qilishi mumkin ekan.

Bor postulatlaridan kelib chiqadigan natijalar:

Agar atomning energiyasi minimal bo‘lsa, elektron yadroga eng yaqin birinchi orbita bo‘ylab harakat qiladi. Atomning bu holatini ***qo‘zg‘almagan holat*** yoki ***asosiy holat*** deyiladi. Bu holda elektron yadro bilan eng mustahkam bog‘langan bo‘ladi. Atom qo‘shimcha energiya qabul qilganda qo‘zg‘algan holatga o‘tadi. Bu vaqtda uning elektroni birinch orbitadan boshqa, yadrodan uzoqroq orbitalarning biriga o‘tib, o‘sha yerda harakat qiladi. Qo‘zg‘algan atomning energiyasi qo‘zg‘almagan atomning energiyasidan ortiqdir. Lekin, atomning qo‘zg‘algan holati nixoyatda qisqa muddatlidir. Sekundning yuz milliondan bir ulushi qadar kichik vaqt oralig‘ida quyiroq biror orbitaga yoki asosiy orbitaga o‘tadi (25.2-rasm).



25.2-rasm

Bor nazariyasining uchinchi postulatiga muvofiq kvantlangan orbita bo‘ylab xarakat qilayotgan elektronning impuls momenti $L = m\vartheta r$ kattalik jihatidan $\hbar = h/(2\pi)$ ga karrali bo‘ladi.

$$m\vartheta r = n\frac{h}{2\pi} \qquad (25.3)$$

Vodorod atomi uchun Bor nazariyasidan juda ko‘p natijaviy formulalar keltirib chiqarish mumkin. Chalkashliklarga yo‘l qo‘ymaslik uchun har bir formulani raqamlab boramiz.

1) Elektronning ixtiyoriy energetik sathdagi aylanish radiusini hisoblab topish mumkin.

3-postulatga ko‘ra impuls moment kvantlangan, ya’ni $L = m\vartheta r = n\frac{h}{2\pi} = n\hbar$.

Bundan tezlik $\vartheta = \frac{n\hbar}{r m_e}$ (*) bo‘ladi. Elektron orbita bo‘ylab harakatlanayotganda,

SINOV UCHUN BERILGAN

markazdan qochuvchi kuch kulon kuchiga teng bo‘ladi. $\frac{m_e \vartheta^2}{r} = \frac{k e^2}{r^2}$. Bunga (*)ni qo‘yamiz.

$$\frac{m_e}{r}\frac{n^2\hbar^2}{r^2 m_e^2} = \frac{k e^2}{r^2}, \quad \rightarrow \quad r = n^2 \frac{\hbar^2}{k m_e e^2} = n^2 r_{1.H}$$

Bu yerda:

$$r_{1H} = \frac{\hbar^2}{k m_e e^2} = \frac{\left(1{,}05456 \cdot 10^{-34}\right)^2}{9 \cdot 10^9 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot \left(1{,}602 \cdot 10^{-19}\right)^2} = 5{,}291 \cdot 10^{-10}\, m = 5{,}291\, \overset{0}{A}$$

elektronning $n=1$ uyg‘onmagan holatdagi 1-statsionar orbita radiusi.

Demak, vodorod atomidagi elektronning n-energetik sathdagi aylanish radiusi r quyidagicha bo‘lar ekan ($a = r_{1H}$ –uyg‘onmagan vodorod atomida elektronning aylanish radiusi):

$$r = n^2\, r_{1.H}, \qquad a = r_{1.H} = \frac{\hbar^2}{k m_e e^2} = 0{,}5291 \quad \left[\overset{0}{A}\right] \tag{25.4}$$

2) Elektronning ixtiyoriy energetik sathdagi aylanish tezligini hisoblab topish mumkin.

(25.4) formulani (*) ga qo‘yib, elektronning ixtiyoriy n-statsionar orbitadagi tezligini topamiz.

$$\vartheta = \frac{n\hbar}{r m_e} = \frac{n\hbar}{n^2 a m_e} = \frac{1}{n} \cdot \frac{\hbar}{a m_e} = \frac{\vartheta_{1.H}}{n}$$

Bu yerda:

$$\vartheta_{1.H} = \frac{\hbar}{a m_e} = \frac{\hbar}{m_e} \cdot \frac{k m_e e^2}{\hbar^2} == \frac{k e^2}{\hbar} \frac{9 \cdot 10^9 \cdot \left(1{,}602 \cdot 10^{-19}\right)^2}{1{,}05456 \cdot 10^{-34}} = 2190266{,}624\, m/s \approx 2190{,}27\ km/s$$

qiymat uyg‘onmagan elektron uchun aylanish.

Demak, vodorod atomidagi elektronning n-energetik sathdagi aylanish tezligi ϑ quyidagicha bo‘lar ekan ($\vartheta_{1.H}$ –uyg‘onmagan vodorod atomida elektronning aylanish tezligi):

$$\vartheta = \frac{\upsilon_{1H}}{n}, \qquad \vartheta_{1H} = \frac{k e^2}{\hbar} \approx 2190{,}27 \quad \left[km/s\right] \tag{25.5}$$

3.1) Elektronning ixtiyoriy energetik sathdagi aylanish chastotasini hisoblab topish mumkin.

Elektronning aylanish chastotasi $\vartheta = 2\pi\nu r$ formuladan topiladi, ya’ni

$$\nu = \frac{\vartheta}{2\pi r} = \frac{\vartheta_{1H}/n}{2\pi n^2 a} = \frac{1}{n^3} \cdot \frac{\vartheta_{1H}}{2\pi a} = \frac{\nu_{1.H}}{n^3}$$

bo‘ladi. Bu yerda elektronning uyg‘onmagan holatdagi aylanish chastotasi

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\nu_{1.H}=\frac{\vartheta_{1H}}{2\pi a}=\frac{\frac{k e^2}{\hbar}}{2\pi\cdot\frac{\hbar^2}{k m_e e^2}}=\frac{m_e k^2 e^4}{2\pi\hbar^3}=\frac{9{,}1\cdot10^{-31}\cdot\left(9\cdot10^9\right)^2\cdot\left(1{,}602\cdot10^{-19}\right)^4}{2\cdot3{,}1416\cdot\left(1{,}05456\cdot10^{-34}\right)^3}=6{,}58846\cdot10^{15}\ Hz$$

bo‘ladi.

Demak, vodorod atomidagi elektronning *n*-energetik sathdagi aylanish chastotasi ν quyidagicha bo‘lar ekan ($\nu_{1.H}$ – uyg‘onmagan vodorod atomida elektronning aylanish chastotasi):

$$\nu=\frac{\nu_{1.H}}{n^3},\quad \nu_{1.H}=\frac{m_e k^2 e^4}{2\pi\hbar^3}=2R_\nu=6{,}58846\cdot10^{15}\quad [Hz] \tag{25.6}$$

3.2) Elektronning ixtiyoriy energetik sathdagi aylanish davrini hisoblab topish mumkin.

Buni $T=1/\nu$ va (25.6) formulalardan foydalanib topish mumkin bo‘ladi.

Demak, vodorod atomidagi elektronning *n*-energetik sathdagi aylanish davri T quyidagicha bo‘lar ekan ($T_{1.H}$ – uyg‘onmagan vodorod atomida elektronning aylanish davri):

$$T=n^3T_{1H},\quad T_{1H}=\frac{2\pi\hbar^3}{m_e k^2 e^4}=\frac{1}{2R_\nu}=1{,}517805\cdot10^{-16}\quad [s] \tag{25.7}$$

3.3) Elektronning ixtiyoriy energetik sathdagi burchak tezligini hisoblab topish mumkin.

Buni $\omega=2\pi\nu$ va (25.6) formulalardan foydalanib topish mumkin bo‘ladi.

Demak, vodorod atomidagi elektronning *n*-energetik sathdagi burchak tezligi ω quyidagicha bo‘lar ekan ($\omega_{1.H}$ – uyg‘onmagan vodorod atomida elektronning burchak tezligi):

$$\omega=\frac{\omega_{1.H}}{n^3},\quad \omega_{1.H}=\frac{m_e k^2 e^4}{\hbar^3}=4\pi R_\nu=4{,}139661\cdot10^{16}\quad \left[\frac{rad}{s}\right] \tag{25.8}$$

4.1) Vodorod atomidagi elektronning ixtiyoriy energetik sathdagi kinetik energiyani hisoblab topish mumkin.

Vodorod atomidagi elektronning ixtiyoriy *n*-sathdagi kinetik energiyasini topish uchun hammamizga ma’lum bo‘lgan formuladan foydalanamiz.

$$E_K=\frac{m_e\vartheta^2}{2}=\frac{m_e}{2}\cdot\left(\frac{\vartheta_1}{n}\right)^2=\frac{1}{n^2}\cdot\frac{m_e\vartheta_1^2}{2}=\frac{E_{K1.H}}{n^2}$$

Bu yerda:

$$E_{K1.H}=\frac{m_e\vartheta_{1.H}^2}{2}=\frac{m_e}{2}\cdot\left(\frac{k e^2}{\hbar}\right)^2=\frac{m_e k^2 e^4}{2\hbar^2}=\frac{9{,}1\cdot10^{-31}\cdot\left(9\cdot10^9\right)^2\left(1{,}602\cdot10^{-19}\right)^4}{2\left(1{,}05456\cdot10^{-34}\right)^2}=$$

$$=21{,}827568\cdot10^{-19}\ J=13{,}6252\ [eV]$$

elektronning 1-orbitadagi kinetik energiyasi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Demak, vodorod atomidagi elektronning *n*-energetik sathdagi kinetik energiyasi E_K quyidagicha bo‘lar ekan ($E_{K1.H}$ – uyg‘onmagan vodorod atomida elektronning kinetik energiyasi):

$$E_K = \frac{E_{K1.H}}{n^2}, \quad E_{K1.H} = \frac{m_e k^2 e^4}{2\hbar^2} = 13,6252 \ [eV] \qquad (25.9)$$

4.2) Vodorod atomidagi elektronning ixtiyoriy energetik sathdagi potensial energiyani hisoblab topish mumkin.

Vodorod atomidagi elektronning ixtiyoriy *n*-sathdagi potensial energiyasini topish uchun hammamizga ma’lum bo‘lgan formuladan foydalanamiz.

$$E_P = -\frac{k e^2}{r} = -\frac{k e^2}{n^2 a} = \frac{1}{n^2} \cdot \frac{k e^2}{a} = \frac{E_{P1.H}}{n^2}$$

Bu yerda

$$E_{P1.H} = -\frac{k e^2}{a} = -\frac{k e^2}{\frac{\hbar^2}{k m_e e^2}} = -\frac{m_e k^2 e^4}{\hbar^2} = -\frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot \left(9 \cdot 10^9\right)^2 \left(1,602 \cdot 10^{-19}\right)^4}{\left(1,05456 \cdot 10^{-34}\right)^2} =$$

$$= 43,655136 \cdot 10^{-19} \ J = -27,2504 \ [eV]$$

elektronning *1*-orbitadagi potensial energiyasi.

Demak, vodorod atomidagi elektronning ixtiyoriy *n*-energetik sathdagi potensial energiyasi E_P quyidagicha bo‘lar ekan ($E_{P1.H}$ – uyg‘onmagan vodorod atomida elektronning potensial energiyasi):

$$E_P = \frac{E_{P1.H}}{n^2}, \quad E_{P1.H} = -\frac{m_e k^2 e^4}{\hbar^2} = -27,2504 \ [eV] \qquad (25.10)$$

4.3) Elektronning ixtiyoriy energetik sathdagi to‘la energiyasini hisoblab topish mumkin.

Elektronning umumiy energiyasini uning kinetik va potensial energiyalari yig‘indisi tashkil etadi. Uyg‘onmagan orbitada to‘la energiya

$$E_1 = E_{K1.H} + E_{P1.H} = \frac{m_e k^2 e^4}{2\hbar^2} - \frac{m_e k^2 e^4}{\hbar^2} = -\frac{m_e k^2 e^4}{2\hbar^2} = -E_{K1.H} = -13,6252 \, eV$$

bo‘ladi. Ixtiyoriy sathda esa

$$E = E_K + E_P = \frac{1}{n^2} E_{K1.H} + \frac{1}{n^2} E_{P1.H} = \frac{1}{n^2}\left(E_{K1.H} + E_{P1.H}\right) = \frac{1}{n^2} \cdot E_{1.H}$$

bo‘ladi.

Demak, vodorod atomidagi elektronning *n*-energetik sathdagi umumiy energiyasi *E* quyidagicha bo‘lar ekan ($E_{1.H}$ – uyg‘onmagan vodorod atomida elektronning umumiy energiyasi):

$$E = \frac{E_{1.H}}{n^2}, \quad E_{1.H} = -\frac{m_e k^2 e^4}{2\hbar^2} = -13,6252 \ [eV] \qquad (25.11)$$

SINOV UCHUN BERILGAN

5) Yuqoridagi (25.9), (25.10), (25.11) ifodalardan kinetik energiya miqdor jihatidan umumiy energiyaga teng ekanligi hamda potensial energiya esa umumiy energiyadan 2 marta katta ekanligi kelib chiqadi.

$$\begin{cases} E_K = -E = -\frac{1}{2}E_P \\ E_P = 2E = -2E_K \end{cases} \qquad (25.12)$$

(4) va *(5)* ifodalardan quyidagi xulosalarga kelish mumkin:

Atom energiya yutganda elektron quyi energetik sathdan yuqori energetik sathga o‘tadi.

Elektron quyi orbitadan yuqori orbitaga o‘tganda, elektronning kinetik energiyasi kamayadi, potensial energiyasi oshadi, umumiy energiyasi ham oshadi.

6.1) Vodorod atomidagi elektronning ixtiyoriy energetik sathdan boshqasiga o‘tganda nurlanadigan to‘lqin chastotasini hisoblab topish mumkin.

Borning *2*-postulatiga ko‘ra chiqarilgan yoki yutilgan yorug‘lik kvanti statsionar holatlardagi energiyalari farqiga teng, ya’ni $h\nu=E_m-E_n$ bo‘ladi. Bundan nurlangan kvant chastotasi

$$\nu = \frac{E_m - E_n}{h} = \frac{\frac{E_1}{m^2} - \frac{E_1}{n^2}}{h} = \frac{E_1}{h}\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right) = \frac{-\frac{m_e k^2 e^4}{2\hbar^2}}{h}\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right) =$$

$$= \frac{m_e k^2 e^4}{4\pi\hbar^3} \cdot \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right) = R_{\nu H} \cdot \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right)$$

Bu yerda: $R_{\nu H} = \frac{m_e k^2 e^4}{4\pi\hbar^3} = 3,29423 \cdot 10^{15}\, Gs -$ vodorod atomi uchun chastotali Ridberg doimiysi deyiladi.

Demak, vodorod atomida elektron yuqorigi *m*-sathdan quyi *n*-sathga o‘tganda nurlanadigan fotonning chastotasi $\nu_{m\to n}$ quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\nu_{m\to n} = \frac{|E_1|}{h}\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right) = R_{\nu H}\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right) \quad [Hz] \qquad (25.12)$$

Yuqoridagi formulani oldingi paragrafda ham yozgan edik. Lekin unda Ridberg formulasi sonlarni tanlashlar orqali hosil qilingan bo‘lsa, ushbu mavzuda esa nazariy yo‘l bilan isbotlab keltirib chiqardik.

Xususan, n sathning berilgan qiymatlarida har xil o‘tishlar biror turdagi seriyalar jamlanmasini hosil qiladi. Vodorod atomi uchun seriyalarni sanab o‘tamiz (25.3-rasm).

Layman seriyasi

$$\nu = R_{\nu H}\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{m^2}\right), \qquad m = 2, 3, 4, 5, \ldots$$

Balmer seriyasi

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\nu = R_{\nu H}\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2}\right), \quad m = 3,4,5,6,\ldots$$

Pashen seriyasi

$$\nu = R_{\nu H}\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{m^2}\right), \quad m = 4,5,6,7,\ \ldots$$

Breket seriyasi

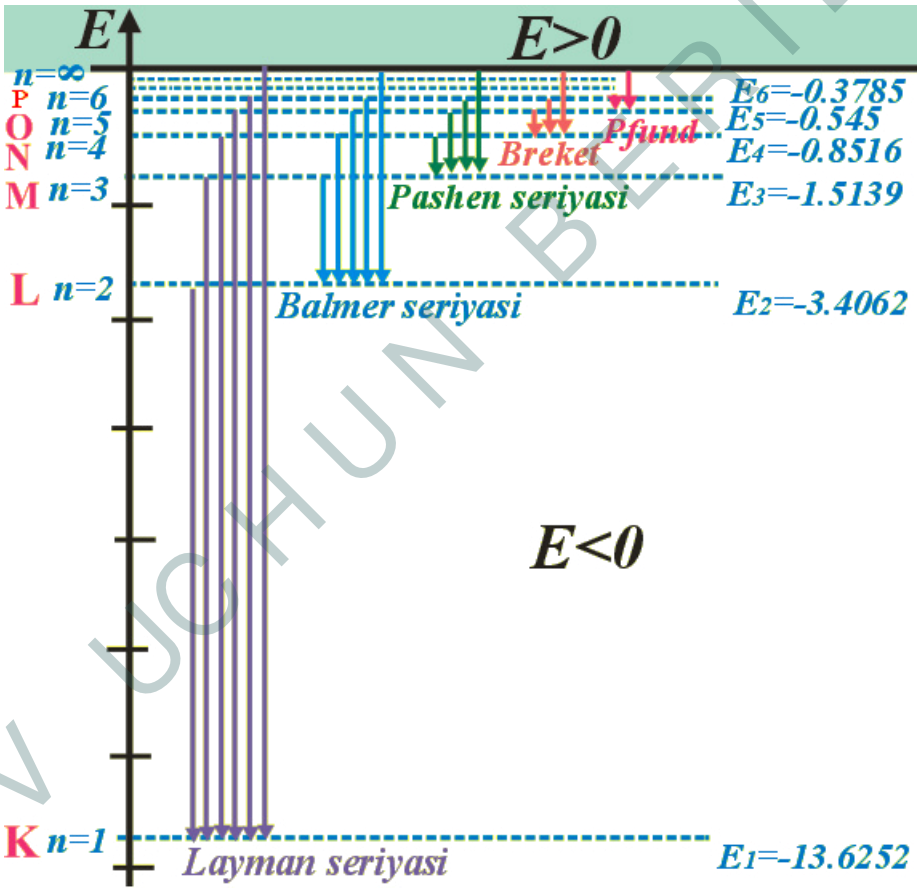
$$\nu = R_{\nu H}\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{m^2}\right), \quad m = \ 5,\ 6,7,8,\ldots$$

Pfund seriyasi

$$\nu = R_{\nu H}\left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{m^2}\right), \quad m = 6,7,8,9,\ldots$$

Xemfri seriyasi

$$\nu = R_{\nu H}\left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{m^2}\right), \quad m = 6,7,8,9,\ldots$$



25.3-rasm

6.2) Elektronning ixtiyoriy energetik sathdan boshqasiga o‘tganda nurlanadigan to‘lqin uzunligini hisoblab topish mumkin.

Buni chastota va to‘lqin uzunlik orasidagi $c=\lambda\nu$ bog‘lanish va (25.12) ifodalardan foydalanib osongina aniqlash mumkin.

Demak, vodorod atomida elektron yuqorigi m-sathdan quyi n-sathga o‘tganda nurlanadigan fotonning to‘lqin uzunligi $\lambda_{m\to n}$ quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\frac{1}{\lambda_{m\to n}} = \frac{|E_1|}{hc}\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right) = \frac{R_{\nu H}}{c}\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right) = R_{\lambda H}\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right) \quad \left[m^{-1}\right] \qquad \textbf{(25.13)}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Bu yerda: $R_{\lambda H} = \frac{R_{\nu H}}{c} = 10980766{,}12\ m^{-1}$ – to‘lqin uzunlikli Ridberg doimiysi.

Biz yuqorida keltirib chiqargan vodorod atomi seriyalari uchun chastotalar va to‘lqin uzunliklari (25.12) va (25.13) formulalar yordamida quyidagi jadvalni tuzish mumkin:

25.1-jadval

Laymen seriyasi								
	2→1	3→1	4→1	5→1	6→1	7→1	8→1	∞→1
ν [THz]	2470,67	2928,2	3088,34	3162,46	3202,72	3227	3242,75	3294,23
λ [*n*m]	121,42	102,45	97,14	94,863	94,2	93,67	92,514	91,068
Balmer seriyasi								
		3→2	4→2	5→2	6→2	7→2	8→2	∞→2
ν [THz]		457,53	617,67	691,79	732,05	756,33	772,08	823,56
λ [*n*m]		655,7	485,7	433,66	409,81	396,65	388,56	364,27
Pashen seriyasi								
			4→3	5→3	6→3	7→3	8→3	∞→3
ν [THz]			160,14	234,25	274,52	298,8	314,55	366,025
λ [*n*m]			1873,36	1280,7	1092,8	1004	953,74	819,61
Breket seriyasi								
				5→4	6→4	7→4	8→4	∞→4
ν [THz]				74,12	114,383	138,66	154,417	205,89
λ [*n*m]				4047,5	2622,8	2163,6	1642,8	1457,1
Pfund seriyasi								
					6→5	7→5	8→5	∞→5
ν [THz]					40,263	64,54	80,297	131,769
λ [*n*m]					7451	4648,3	3736,1	2276,71
Xemfri seriyasi								
						7→6	8→6	∞→6
ν [THz]						24,277	40,03	915,064
λ [*n*m]						12357,4	7494,4	3278,46

7) (25.12) va (25.13) formulalardan foydalanib, vodorod atomi uchun chastotali va to‘lqinli Ridberg doimiylari qiymatlarini hisoblash formulalarini hosil qilish mumkin.

Vodorod atomi uchun chastotali va to‘lqinli Ridberg doimiylari quyidagicha bo‘ladi:

$$R_{\nu H} = \frac{m_e k^2 e^4}{4\pi\hbar^3} = 3{,}29423 \cdot 10^{15}\ [Hz]\ ,\quad R_{\lambda H} = \frac{R_\nu}{c} = \frac{m_e k^2 e^4}{4\pi c\hbar^3} = 10980767{,}12\ \ [m^{-1}] \qquad \textbf{(25.14)}$$

8) Nurlanish chastotasini har bir holatga mos kelgan spektral termlar ayirmasi shaklida ham ifodalash mumkin.

SINOV UCHUN BERILGAN

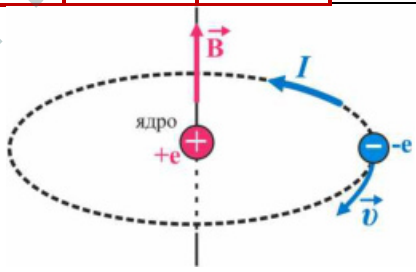
$$\nu_{m\to n} = \frac{R_{\nu H}}{n^2} - \frac{R_{\nu H}}{m^2} = T(n) - T(m) \quad [Hz] \qquad \textbf{(25.15)}$$

Ixtiyoriy n-Bor orbitasiga mos keluvchi spekral term chatotasi $T(n) = \frac{R_{\nu H}}{n^2}$ formula yordamida, to‘lqin son esa $T(n) = \frac{R_{\lambda H}}{n^2}$ formula yordamida aniqlanib, har bir statsionar orbita uchun spektral term chastota va to‘lqin sonlar quyidagi jadvalda berilgan.

25.2-jadval

Spektral term	*T(1)*	*T(2)*	*T(3)*	*T(4)*	*T(5)*	*T(6)*	*T(7)*	*T(8)*
Chastota (TGz)	3294,23	823,5575	366,0255	205,8893	131,7692	91,5064	67,2292	51,4723
To‘lqin son (m^{-1})	10980767	2745191	1220085	686298	439231	305021	224097	171574

9) Ma’lumki, jism egri chiziqli traektoriya bo‘ylab har qanday harakat qilganda markazga intilma tezlanish hosil bo‘ladi. Shuningdek, elektron ham yadro atrofida aylanayotganda yadro tomonga yo‘nalgan markazga intilma tezlanish hosil bo‘ladi. Xo‘sh, bu markazga intilma tezlanishning qiymati qanday bo‘ladi degan savol tug‘iladi (25.4-rasm).



25.4-rasm

Ixtiyoriy Bor orbitasida aylanayotgan elektronning markazga intilma tezlanishi

$$a_n = \frac{\vartheta^2}{r} = \frac{\left(\frac{\vartheta_1}{n}\right)^2}{n^2 r_1} = \frac{1}{n^4}\frac{\vartheta_1^2}{r_1} = \frac{a_{n1.H}}{n^4}$$

bo‘ladi. Bu yerda

$$a_{n1.H} = \frac{\vartheta_{1H}^2}{r_{1H}} = \frac{\left(\frac{k e^2}{\hbar}\right)^2}{\frac{\hbar^2}{k m_e e^2}} = \frac{m_e k^3 e^6}{\hbar^4} = \frac{9{,}1\cdot 10^{-31}\cdot\left(9\cdot 10^9\right)^2\cdot\left(1{,}602\cdot 10^{-19}\right)^6}{\left(1{,}05456\cdot 10^{-34}\right)^4} = 9{,}067\cdot 10^{22}\,\frac{m}{s^2}$$

uyg‘onmagan vodorod atomidagi elektronning markazga intilma tezlanishi.

Demak, vodorod atomida ixtiyoriy n-Bor orbitasida hosil bo‘ladigan markazga intilma tezlanishning qiymati quyidagicha bo‘lar ekan (a_{n1H} – uyg‘onmagan vodorod atomida elektronning markazga intilma tezlanishi):

$$a_n = \frac{a_{n1.H}}{n^4}, \qquad a_{n1.H} = k m_e \left(\frac{4\pi^2 k e^3}{h^2}\right)^2 = 9{,}067\cdot 10^{22} \left[\frac{m}{s^2}\right] \qquad \textbf{(25.16)}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

25.3-jadval

Kattaliklar / Bor orbitasi	1	2	3	4	5	6	7
1. Impuls momenti *($\cdot 10^{-34}$ J·s)*	1,05456	2,1091	3,1636	4,2182	5,273	6,3273	7,3819
2.Orbita radiusi *(Å)*	0,5291	2,1164	4,7619	8,4556	13,227	19,047	25,925
3.CHiziqli tezlik *(km/s)*	2190,27	1095,51	730,09	547,56	438,05	365,04	312,89
4.1.Aylanish chastotasi *(T Gs)*	6588,46	823,56	244,02	102,94	52,707	31,478	19,823
4.2.Aylanish davri *($\cdot 10^{-15}$ s)*	0,15178	1,2142	4,098	9,714	18,972	32,784	52,06
4.3.Burchak tezlik *($\cdot 10^{15}$ rad/s)*	41,3966	5,1745	1,5332	0,6468	0,3312	0,1916	0,1212
5.1.Kinetik energiya *(eV)*	13,6252	3,4063	1,5139	0,8515	0,545	0,3785	0,2781
5.2.Potensial energiya *(eV)*	-27,2504	-6,8126	-3,0278	-1,7030	-1,09	-0,757	-0,5561
5.3.To‘la energiya *(eV)*	-13,6252	-3,4063	-1,5139	-0,8515	-0,545	-0,3785	-0,2781
6. Impuls *($\cdot 10^{-24}$ kg·m/s)*	1,99314	0,9966	0,6644	0,4983	0,3986	0,3322	0,2847
7.Markazga int.tezl. *($\cdot 10^{21}$ m/s^2)*	90,67	5,6668	1,1194	0,3542	0,145	0,07	0,0378

Shunday qilib, biz yuqorida vodorod atomi uchun Bor postulatlaridan keltirib chiqarilgan 9ta formulaning barchasidan foydalanib, dastlabki sakkizta Bor orbitasi uchun hisoblangan kattaliklarni 25.3-jadvalda keltiramiz.

Bor postulatlaridan yana ko‘plab natijalar keltirib chiqarish mumkin. Masalan, ixtiyoriy Bor orbitasidagi aylanma tok kuchi, bu tok kuchidan hosil bo‘ladigan magnit induksiyasi va magnit momenti va boshqa kattaliklarni aniqlashga yordam beradigan xususiy formulalarni hosil qilish mumkin.

Bor nazariyasiga ko‘ra aniqlangan spektrlardagi to‘lqin uzunliklar tajriba natijalari bilan juda yuqori aniqlikda mos keldi. Bor nazariyasining to‘g‘ri ekanligi, ya’ni atomda kvant holatlarning mavjudligi keyinchalik Frank va Gers o‘tkazgan tajribalari natijasida o‘z isbotini topdi.

Bor nazariyasi Vodorod atomi va uning izotoplarining spektrlarini to‘la tushuntirib bera oldi. Lekin, davriy sistemaning shundoqqina 2-katagida turuvchi Geliy atomini ham tushuntirib bera olmadi. Keyinchalik ma’lum bo‘ldiki, Bor nazariyasi faqatgina vodorod va vodorodsimon atomlar uchungina o‘rinli ekan.

Mavzu yuzasidan savollar

1. *Bor postulatlarini aytib bering va formulalarini yozing.*
2. *Uyg‘onmagan holat uchun Bor radiusi,bu holatdagi elektronning tezligi, chastotasi, davri, burchak tezligi, markazga intilma tezlanishini ifodalovchi formulalarni va ularning son qiymatlarini yozib bering.*
3. *Ixtiyoriy uyg‘ongan holat uchun Bor radiusi, bu holatdagi elektronning tezligi, chastotasi, davri, burchak tezligi, markazga intilma tezlanishini ifodalovchi formulalarni yozib bering*
4. *Uyg‘onmagan holat uchun vodorod atomidagi elektronning kinetik energiyasi, potensial energiyasi va to‘la energiyasini ifodalovchi formulalarni va ularning son qiymatlarini yozib bering.*
5. *Ixtiyoriy uyg‘ongan holat uchun vodorod atomidagi elektronning kinetik energiyasi, potensial energiyasi va to‘la energiyasini ifodalovchi formulalarni yozib bering.*
6. *Vodorod atomida bir statsionar orbitadan boshqasiga o‘tganda yutiladigan yoki*

SINOV UCHUN BERILGAN

chiqariladigan foton chastotasini aniqlovchi formulani yozib bering. Bunda to'lqin uzunlik qanday aniqlanadi.

7. *Laymen, Balmer, Pashen, Breket va Pfund seriyalarini hisoblashga imkon beruvchi formulalarni yozing.*
8. *Vodorod atomi uchun chastotali Ridberg doimiysini aniqlovchi formulani va uning son qiymatini yozib bering.*
9. *Vodorod atomi uchun to'lqin uzunlikli Ridberg doimiysini aniqlovchi formulani va uning son qiymatini yozib bering.*

Masala yechish:

1. *Agar atom impulsi $1{,}5\cdot10^{-27}$ kg·m/s bo'lgan fotonni yutsa, uning energiyasi qanchaga ortadi (J)?*

A)$1{,}5\cdot10^{-19}$ B) $4{,}5\cdot10^{-19}$ C) $3\cdot10^{-19}$ D) $1{,}5\cdot10^{-19}$ E) $4{,}5\cdot10^{-19}$

Berilgan:

$P = 1{,}5\cdot10^{-27} kg\frac{m}{s}$

$\Delta E = ?$

Yechish:

Elekton bir energetik holatdan ikkinchisiga o'tganda chiqaradigan energiyasi ΔE unga mos keluvchi foton impulsi orasidagi bo'glanish $E = mc^2 = Pc$ bundan $\Delta E = 4{,}5\cdot10^{-19}\ J$

Javob: $\Delta E = 4{,}5\cdot10^{-19}\ J$

2. *Vodorod atomi uchun to'rtinchi orbitaga mos keluvchi energiyani toping (eV).*

Berilgan:

$E_0 = 13{,}6\ eV$

$E_4 = ?$

Yechish:

Vodorod atomi uchun energiya sathlari bo'yicha energiya taqsimotiga ko'ra Echish: elekton bir energetic holatdan ikkinchisiga o'tganda chiqaradigan energiyasi ΔE unga mos keluvchi foton impulsi $E = mc^2 = Pc$ dan $E_n = \frac{E_0}{n} = -3{,}4\ eV$ kelib chiqadi.

Javob: *-3,4 eV*

3. *Vodorod atomi spektrining qisqa to'lqinli chegarasi λ=910 A°. G'alayonlanmagan vodorod atomidan E=15,5 eV energiyali foton urib chiqargan elektronning yadrodan uzoqdagi tezligi qanday (km/s)?*

Berilgan:

$\lambda = 9{,}1nm$

$E_f = 2{,}48\cdot10^{-18}\ J$

$v = ?$

Yechish:

Atom atrofida orbitada aylanayotgan elektronning ionlanish energiyasi $E = h\nu = \frac{ch}{\lambda}$ga teng. foton energiyasining elektronni ajratib olishdan ortgan qismi elektronning kinetik energiyasiga aylanadi, yani $E_k = E_f - \frac{ch}{\lambda}$ bo'ladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

bundan $v = \sqrt{\frac{2(E_f\lambda - ch)}{m\lambda}} = 810\frac{km}{s}$ *bo'ladi.*

Javob: *A) 810 km/s*

§26. MODDALARNING KORPUSKULYAR-TO'LQIN DUALIZMI. DE-BROYL TO'LQINI.

De-broyl to'lqini:

Yorug'likni elektromagnit to'lqini deb o'rganayotganimizda u zarra bo'lib chiqdi, ya'ni to'lqin o'zida korpuskulyar xususiyatni namoyon qildi. Endi zarra deb atagan elementar zarralarimiz to'qin emasmikan? Boshqacha aytganda, tabiat simmetriyaga moyil bo'lgani uchun korpuskulyar-to'lqin dualizmi (ikki yoqlamaligi) faqat nurlanishlarga tegishli bo'lmasdan, balki zarralarga ham tegishlidir degan savol Lui de-Broylni qiziqtirib qo'ydi. 1924-yilda u yangi gipotezani ilgari surdi. Unga ko'ra: ***tabiat simmetriyaga moyil bo'lganligi uchun modda zarralarining faqat korpuskulyar xususiyatlari emas, balki to'lqin xususiyatlari ham sodir bo'lishi kerak***. Boshqacha aytganda, de-Broyl gipotezasiga asosan, korpuskulyar-to'lqin dualizmi elektromagnit nurlanish uchun ham, modda zarralari uchun ham tegishlidir. U holda elektromagnit nurlanish fotoni uchun o'rinli bo'lgan bo'lgan quyidagi

$$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

munosobatni modda zarralari uchun ham qo'llash mumkin. Shuning uchun, impulsi $p=m\vartheta$ bo'lgan zarraning harakatlanish jarayonida uzunligi

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m\vartheta} \qquad (27.1)$$

bo'lgan to'lqinning xususiyatlari namoyon bo'lishi kerak, degan xulosa kelib chiqadi. Yuqoridagi formulani *de-Broyl formulasi* deb, λ ni esa *de-Broyl to'lqin uzunligi* deb atash odat tusiga kirdi. De-Broyl g'oyasi bilan tanishgach Eynshteyn "Agar de-Broyl haq bo'lsa, elektronlar bilan difraksiya hodisasi kuzatilish kerak" dedi.

Haqiqatan ham, ko'p o'tmasdan 1927-yilda Devison va Jermerlar elektronlar bilan tajriba o'tqazgach, de-Broyl g'oyasi to'g'ri ekanligi tasdiqlandi. Breg tomonidan elektron nurining kristallarda sinishi aniqlandi. Undan keyin boshqa olimlar α-zarralar, vodorod va boshqa engil atomlar bilan o'tkazgan tajribalarida ham difraksiya hodisasi ro'y berdi va korpuskulyar-to'lqin dualizmi butun tabiatga, ya'ni materiyaning modda va maydon ko'rinishlariga tegishli ekanligi tan olindi. Demak, Lui de-Broyl aytganidek korpuskulyar-to'lqin dualizmi universal xarakterga ega ekan.

SINOV UCHUN BERILGAN

Umuman olganda, yuqoridagi formula faqat elektronlar yoki elementar zarralar uchun emas, balki barcha jismlar uchun ham o‘rinlidir. U holda nima uchun kundalik turmushda uchraydigan jismlar harakatida, masalan, otilgan toshning haraktida to‘lqinsimonlik yoki difraksion xalqalar kuzatilmaydi?-degan savol tug‘iladi. Bu savolga javob berish uchun og‘irlik kuchi ta’sirida Yer sirti tomon harakatlanayotgan chang zarrasi *($m=10^{-9}$ kg, $\upsilon=10^{-3}$ m/s)* ning de-Broyl to‘lqinini hisoblaylik.

$$\lambda_{Broyl}=\frac{h}{m\vartheta}=\frac{6,626\cdot10^{-34}\,J\cdot s}{10^{-9}kg\cdot10^{-3}\,m/s}=6,626\cdot10^{-22}\,m$$

Optikadan ma’lumki, to‘lqinning uzunligi to‘siq yoki tirqishning o‘lchami bilan solishtirarli darajada bo‘lgandagina to‘lqin xususiyatlar (geometrik soya tomonga og‘ish) namoyon bo‘ladi.Chang zarrasining de-Broyl to‘lqini 10^{-22} m xususiy o‘lchami 10^{-5} m dan juda kichik. Shuning uchun, bunday sharoitlarda to‘lqin xususiyatlar namoyon bo‘lmaydi. Chang zarrasi qanchalik kichik bo‘lmasin, baribir uning massasi va o‘lchami elektron va boshqa elementar zarralar massasi va o‘lchamidan juda katta, ya’ni chang zarrasi makrojismdir. Shuning uchun ham massasi katta bo‘lgan makrojismlar bizning ongimizda faqat korpuskulyar tasavvur hosil qiladi. Boshqacha aytganda, makrojismlar to‘lqin xususiyatini oshkor etmasdan, balki yashirin tutadilar.

De-broyl to‘lqining fizik ma’nosi:

De-Broyl to‘lqinlari engil massali jismlar, harakatida ya’ni mikroob’ektlar, elementar zarralar harakatida yaqqol sezilishi, makrojismlar harakatida esa de-Broyl to‘lqinlari o‘zini pinhon tutishi aytib o‘tildi. Lekin, baribir har bir mikro yoki makrojism harakatida ozmi-ko‘pmi qaysidir darajada to‘lqinsimonlik namoyon bo‘lar ekan. Shunday ekan, de-Broyl to‘lqini mavjud bo‘lsa, uning ko‘rinishi qanday degan savol tug‘ilishi tabiiy. Biz odatda, to‘lqin deganda suv yuzida chayqalayotgan to‘lqin, tarang tortilgan shnurdagi to‘lqin yoki goh zichlashib goh siyraklashuvchi bo‘ylama tovush to‘lqinlari, bir so‘z bilan aytganda mexanik to‘lqinlari ko‘z o‘ngimizda gavdalanadi. Shunday bo‘lishi tabiiydir. Chunki, dunyoga kelishimizdan tortib butun hayot yo‘limiz toki dunyodan o‘tgunimizgacha sodir bo‘lgan barcha voqealar mexanik voqealardir, makrojismlar harakati bilan bog‘liq voqelardir. Boshqacha aytganda, biz mexanik hodisalar ichida yashaymiz va ongimiz shu hodisalarga to‘la moslashgan. Mexanik to‘lqinlarda tashqi ta’sir shu ta’sir berilgan nuqtadan boshlab qo‘shni nuqtlarga (molekuladan qo‘shni molekulalarga) biror $\upsilon=\lambda\nu$ tezlik bilan uzatiladi va shu tezlik bilan to‘lqin tarqalishi sodir bo‘ladi. De-Broyl to‘lqini esa – bu bitta zarraning harakatidan yuzaga keladigan to‘lqindir. De-Broyl to‘lqinida qo‘shni zarralar degan gap bo‘maydi, har bir zarra o‘zining de-Broyl to‘lqinini hosil qiladi. Shuning uchun ham de-Broyl to‘lqinini biror mexanik to‘lqinga qiyos qilish, uning o‘xshashini mexanik olamdan

SINOV UCHUN BERILGAN

izlash noo‘rindir. Elementar zarralar makroolamdagi biror mexanik jismga o‘xshamagani bois, bu zarralarning harakati ham tasavvurimizdagi mexanik jismlar harakatiga o‘xshamaydi.

De-Broyl to‘lqinini nurlanish, ya’ni elektromagnit to‘lqinga o‘xshatish, qiyoslash mumkinmi? – Yo‘q. Chunki, elektromagnit to‘lqini o‘zgaruvchan elektr va magnit maydonlarining fazoda tarqalishidir. Elektromagnit to‘lqinini harakatida tezlanish bo‘lgan zaryadli zarra hosil qiladi. Agar zaryadli zarra, masalan elektron $\upsilon=at$ qonuniyat bo‘yicha tekis tezlashayotgan bo‘lsa, uning tarqatadigan elektromagnit to‘lqin uzunligi $\lambda=const$ bo‘ladi, de-Broyl to‘lqini uzunligi esa $\lambda=\frac{h}{m\vartheta}=\frac{h}{mat}$ qonuniyat bo‘yicha tobora kichrayib boradi. Agar o‘sha elektron to‘g‘ri chiziqli tekis harakatlanayotgan bo‘lsa $\left(\vec{\vartheta}=const\right)$, u elektromagnit to‘lqin tarqatmaydi, lekin $\lambda=\frac{h}{m\vartheta}=const$ uzunlikdagi o‘zgarmas de-Broyl to‘lqini mavjud bo‘ladi. Agar zaryadsiz zarra, masalan neytron garchi tezlanishli harakat qilayotgan bo‘lsa ham, u zaryadsiz bo‘lgani uchun elektromagnit to‘lqin tarqatmaydi, lekin $\lambda=\frac{h}{m\vartheta}=\frac{h}{mat}$ o‘zgaruvchan uzunlikdagi de-Broyl to‘lqini esa mavjud bo‘ladi. Demak, elektromagnit va de-Broyl to‘lqinlari orasida hech qanday bog‘liqlik yo‘q ekan.

1926 yilda M.Born elektromagnit nurlanish hamda harakatlanayotgan mikrozarralar dualistik xislatlarining umumiyligiga asoslangan holda de-Broyl to‘lqinining fizik ma’nosini statistik tarzda izohlab berdi. Fazoning biror nuqtasiga fotonlarning tushishi ehtimolligi ayni nuqtadagi yorug‘lik to‘lqini amplitudasining kvadrati $\left|E_m\right|^2$ bilan aniqlanar edi. Ana shunga qiyosan, M.Born harakatlanayotgan mikrozarra hosil qilgan de-Broyl to‘lqinini quyidagicha izohlaydi:

Mikrozarra harakti bilan bog‘liq bo‘lgan de-Broyl to‘lqini amplitudasining kvadrati fazoning ayni nuqtasida mikrozarrani qayd qilish ehtimolligini xarakterlaydi.

Demak, elektronlar difraksiyasi o‘tkazilgan tajribalarda ekranning maksimumi kuzatilgan sohalardagi nuqtalarda de-Broyl to‘lqini amplitudasining kvadrati maksimal qiymatga erishadi (bu joyda fotoplyonka eng ko‘p kuyadi). Aksincha, ekranning minimumi kuzatilgan sohalardagi nuqtalarda de-Broyl to‘lqini amplitudasining kvadrati minimal qiymatga erishadi (bu joyda fotoplyonka eng kam kuyadi). Shunga ko‘ra aytish mumkinki, de-Broyl to‘lqini – bu axborot to‘lqinidir. Bu to‘lqin o‘zi bilan zarrani uchratish mumkinligi yoki ehtimoli haqida ma’lumot tashiydi. De-Broyl to‘lqini hech qaysi bir moddiy to‘lqinga o‘xshamaydi.

Turli hollarda de-Broyl to‘lqinini aniqlash:

SINOV UCHUN BERILGAN

Yuqorida hosil qilgan $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m\vartheta}$ formula barcha tezliklar uchun de-Broyl to‘lqinining umumiy ifodasidir. Agar zarraning tezligi yorug‘lik tezligidan juda kichik $\upsilon << c$ bo‘lsa, zarraning harakatdagi massasi tinchlikdagi massasiga deyarli teng $m \approx m_0$ deb olish mumkin. Agar tezlik yorug‘lik tezligiga yaqin tezlik bo‘lsa, zarra massasi relyativistik massaga aylanadi, ya’ni zarra massasi $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-(\vartheta/c)^2}}$ qonuniyat bo‘yicha oshishini e’tibordan chetda qoldirmaslik kerak. Turli xil masalalarning berilishiga qarab $\lambda = \frac{h}{p}$ formuladan boshqa xususiy formulalar hosil qilish mumkin. Quyida biz bir necha xususiy hollarga to‘xtalib o‘tamiz. Chalkashliklarga yo‘l qo‘ymaslik uchun har bir formulani raqamlab boramiz.

1) Zarraning kichik tezlikdagi kinetik energiyasi ma’lum bo‘lsa, uning de-Broyl to‘lqini qanday bo‘lishini aniqlaylik. Kinetik energiya impuls orqali

$$W_K = \frac{m\vartheta^2}{2} = \frac{(m\vartheta)^2}{2m} = \frac{p^2}{2m}$$

bo‘ladi. Bundan impulsni kinetik energiya orqali

$$p = \sqrt{2mW_K}$$

deb ifodalash mumkin. Bundan de-Broyl to‘lqin uzunligi

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mW_K}}$$

natija kelib chiqadi.

Demak, agar m massali zarraning kinetik energiyasi W_K berilgan bo‘lsa, de-Broyl to‘lqin uzunligi quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\boxed{\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mW_k}}} \qquad \textbf{(27.2)}$$

2) Issiqlik harakatida ishtirok etayotgan molekula yoki atomning de-Broyl to‘lqini qanday bo‘lishini aniqlaylik. Zarraning ilgarilanma harakatdagi kinetik energiyasi

$$W_K = \frac{3}{2}kT$$

ekanini hisobga olsak, de-Broyl formulasi

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0W_K}} = \frac{h}{\sqrt{2m_0\frac{3}{2}kT}} = \frac{h}{\sqrt{3m_0kT}}$$

ko‘rinishni oladi. Bu yerda: $k=1{,}38\cdot10^{-23}$ $[J/K]$–Bolsman doimiysi.

Demak, agar T temperaturadagi m_0 massali atom yoki molekula issiqlik harakatida o‘rtacha kvadratik tezlik bilan harakatlanayotgan bo‘lsa, uning de-Broyl to‘lqin uzunligi quyidagicha bo‘lar ekan:

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{3 m_0 k T}} \qquad (27.3)$$

Agar yuqoridagi formulada molekula yoki atomning massasini nisbiy atom massasi orqali $m_0 = M_r \cdot 1 m.a.b. = 1,6605 \cdot 10^{-27} kg \cdot M_r$ deb olsak, u holda quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{3 m_0 k T}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} J \cdot s}{\sqrt{3 \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27} kg \cdot M_r \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} J / K \cdot T}} = \frac{25,27}{\sqrt{M_r \cdot T}} \ {}^0\!A$$

3) Elektr maydonida kichik tezliklargacha tezlashtirilgan zaryadli zarraning de-Broyl to‘lqini qanday bo‘lishini aniqlaylik. Buni elektr maydonida tezlashayotgan elektron, proton va α-zarralar misolida ko‘rib chiqamiz.

3.1) Dastlab, elektronning de-Broyl to‘lqin uzunligini aniqlaymiz. Katod va anod orasida hosil qilingan tezlatuvchi elektr maydonida elektr maydonining bajargan $A=eU$ ishi elektronning kinetik energiya $W_K = \frac{m\vartheta^2}{2}$ga aylanadi, ya’ni $eU=W_K$ bo‘ladi. Bundan esa

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2 m_e W_K}} = \frac{h}{\sqrt{2 m_e eU}} = \frac{h}{\sqrt{2 m_e e}} \cdot \frac{1}{\sqrt{U}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} J \cdot s}{\sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} kg \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} Kl}} \cdot \frac{1}{\sqrt{U}} \approx \frac{12,279}{\sqrt{U}} \ {}^0\!A$$

natija kelib chiqadi.

Shunday qilib, agar katod va anod orasida kichik tezliklargacha tezlatilgan elektron U potensiallar farqini bosib o‘tsa, uning de-Broyl to‘lqin uzunligi quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2 m_e eU}} \approx \frac{12,279}{\sqrt{U}} \ {}^0\!A \qquad (27.4a)$$

3.2) Endi protonning de-Broyl to‘lqin uzunligini aniqlaymiz. Elektr maydonining protonni tezlatishda bajargan $A=eU$ ishi protonning kinetik energiya $W_K = \frac{m\vartheta^2}{2}$ siga aylanadi, ya’ni $eU=W_K$ bo‘ladi. Bundan esa

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2 m_p K}} = \frac{h}{\sqrt{2 m_p eU}} = \frac{h}{\sqrt{2 m_p e}} \cdot \frac{1}{\sqrt{U}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{U}} = \frac{0,28656}{\sqrt{U}} \ {}^0\!A$$

kelib chiqadi.

Demak, agar elektr maydonida kichik tezliklargacha tezlatilgan proton U potensiallar farqini bosib o‘tsa, uning de-Broyl to‘lqin uzunligi quyidagicha bo‘ladi:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2 m_p eU}} \approx \frac{0,28656}{\sqrt{U}} \ {}^0\!A \qquad (27.4b)$$

SINOV UCHUN BERILGAN

3.3) Endi esa α-zarraning de-Broyl to‘lqin uzunligini aniqlaymiz. Elektr maydonining α-zarrani tezlatishda bajargan $A=eU$ ishi α-zarraning kinetik energiya $W_K=\frac{m_\alpha \vartheta^2}{2}$ siga aylanadi, ya’ni $eU=W_K$ bo‘ladi. Bundan esa

$$\lambda=\frac{h}{\sqrt{2m_\alpha K}}=\frac{h}{\sqrt{2m_\alpha 2eU}}=\frac{h}{\sqrt{2m_\alpha e}}\cdot\frac{1}{\sqrt{U}}=\frac{6{,}626\cdot10^{-34}}{\sqrt{4\cdot6{,}644\cdot10^{-27}\cdot1{,}602\cdot10^{-19}}}\cdot\frac{1}{\sqrt{U}}=\frac{0{,}1013\ \overset{0}{A}}{\sqrt{U}}$$

kelib chiqadi.

Agar elektr maydonida kichik tezliklargacha tezlatilgan α-zarra U potensiallar farqini bosib o‘tsa, uning de-Broyl to‘lqin uzunligi quyidagicha bo‘ladi:

$$\lambda=\frac{h}{\sqrt{2m_\alpha eU}}\approx\frac{0{,}1013\ \overset{0}{A}}{\sqrt{U}} \qquad \textbf{(27.4c)}$$

4) Agar zarrani juda katta tezliklargacha tezlatilsa, uning tezligi relyativistik tezlik deb ataladai. Relyativistik tezlikda harakatlanayotgan zarraning de-Broyl to‘lqin uzunligini hisoblaylik. Energiya va impuls orasidagi bog‘lanish $W=\sqrt{(pc)^2+\left(m_0c^2\right)^2}$ dan impulsni topamiz.

$$W^2-\left(m_0c^2\right)^2=p^2c^2;\ \rightarrow\ \left(W-m_0c^2\right)\cdot\left(W+m_0c^2\right)=p^2c^2,\ \rightarrow$$

$$W_K\cdot\left(W_K+2m_0c^2\right)=p^2c^2,\ \rightarrow\ p=\frac{\sqrt{W_K\cdot\left(W_K+2m_0c^2\right)}}{c}$$

Topilgan impulsning qiymatidan foydalanib, relyativistik de-Broyl to‘lqin uzunligini topamiz.

$$\lambda=\frac{h}{p}=\frac{hc}{\sqrt{W_K\cdot\left(W_K+2m_0c^2\right)}}$$

Demak, zarraning relyativistik de-Broyl to‘lqin uzunligi quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\lambda=\frac{hc}{\sqrt{W_K\left(W_K+2m_0c^2\right)}}\quad[m] \qquad \textbf{(27.5)}$$

5.1) Agar siklotronda tezlatilgan elektron U potensiallar farqini bosib o‘tsa, u holda siklotronning tezlatuvchi elektr maydonida elektr maydonining bajargan $A=eU$ ishi elektronning kinetik energiyasiga aylanadi, $eU=W_K$ bo‘ladi. Bundan esa

$$\lambda=\frac{hc}{\sqrt{W_K\cdot\left(W_K+2m_0c^2\right)}}=\frac{hc}{\sqrt{eU\left(eU+2m_ec^2\right)}}$$

kelib chiqadi.

Demak, elektronning relyativistik de-Broyl to‘lqin uzunligi quyidagicha bo‘lar ekan:

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{eU\left(eU + 2m_e c^2\right)}} \quad [m] \qquad \textbf{(27.6a)}$$

5.2) Agar siklotronda tezlatilgan elektron U potensiallar farqini bosib o‘tsa, u holda siklotronning tezlatuvchi elektr maydonida elektr maydonining bajargan $A=eU$ ishi elektronning kinetik energiyasiga aylanadi, $eU=W_K$ bo‘ladi. Bundan esa

$$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{W_K \cdot \left(W_K + 2m_0 c^2\right)}} = \frac{hc}{\sqrt{eU\left(eU + 2m_p c^2\right)}}$$

kelib chiqadi.

Demak, siklotronda tezlatilgan protonning relyativistik de-Broyl to‘lqin uzunligi quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{eU\left(eU + 2m_p c^2\right)}} \quad [m] \qquad \textbf{(27.6b)}$$

5.3) Agar siklotronda tezlatilgan elektron U potensiallar farqini bosib o‘tsa, u holda siklotronning tezlatuvchi elektr maydonida elektr maydonining bajargan $A=eU$ ishi elektronning kinetik energiyasiga aylanadi, $eU=W_K$ bo‘ladi. Bundan esa

$$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{W_K \cdot \left(W_K + 2m_0 c^2\right)}} = \frac{hc}{\sqrt{eU\left(eU + 2m_\alpha c^2\right)}}$$

kelib chiqadi.

Demak, siklotronda tezlatilgan protonning relyativistik de-Broyl to‘lqin uzunligi quyidagicha bo‘lar ekan:

$$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{eU\left(eU + 2m_\alpha c^2\right)}} \quad [m] \qquad \textbf{(27.6c)}$$

De-Broyl to‘lqinidan foydalanib, yana ko‘pab xususiy formulalarni keltirib chiqarish mumkin. De-Broyl to‘lqinini o‘rganish orqali bilimlarimizni yana bir pog‘ona oshirib oldik. Galdagi vazifa esa makrodunyo hodisalariga moslashgan tasavvurlarimizni ham biroz kengaytirib, mikrodunyoga va mikrodunyo zarralari harakatining o‘zida to‘lqinsimonlikni namoyon qilishiga moslashtirishdir.

Mavzu yuzasidan savollar

1. *De-Broyl to‘lqinini aniqlovchi matematik ifodani yozing.*
2. *De-Broyl to‘lqinini qaysi olimlar tajribada tekshirganlar?*
3. *De-Broyl to‘lqini mexanik yoki elektromagnit to‘lqinga o‘xshaydimi? U qanday to‘lqin?*
4. *Issiqlik harakatidagi atom yoki molekulaning de-Broyl to‘lqin uzunligini aniqlovchi formulani yozing.*

SINOV UCHUN BERILGAN

5. *Kichik tezlikda harakatlanayotgan zarraning kinetik energiyasi ma'lum bo'lganda uning de-Broyl to'lqini qanday aniqlanadi?*
6. *Kichik tezliklargacha tezlatilgan zarra biror U potensiallar farqini bosib o'tsa, uning de-Broyl to'lqini qanday aniqlanadi?*
7. *Relyativistik tezlikda harakatlanayotgan zarraning kinetik energiyasi ma'lum bo'lganda uning de-Broyl to'lqini qanday aniqlanadi?*
8. *Relyativistik tezliklargacha tezlatilgan zarra biror U potensiallar farqini bosib o'tsa, uning de-Broyl to'lqini qanday aniqlanadi?*

Masala yechish:

1. *Impulsi $2{,}21\cdot10^{-24}$ kg·m/s bo'lgan zarraning de-Broyl to'lqin uzunligini aniqlang (Å). Plank doimiysini $h=6{,}63\cdot10^{-34}$ J·s deb oling.*

Berilgan:	Yechish:
$p=2{,}21\cdot10^{-34}$ kg·m/s $h=6{,}63\cdot10^{-34}$ J·s	De-Broyl to'lqin uzunligini topish formulasidan foydalanib hisoblaymiz.
$\lambda=?$	$\lambda=\frac{h}{p}=\frac{6{,}63\cdot10^{-34}\,J\cdot s}{2{,}21\cdot10^{-24}\,kg\cdot m/s}=3\cdot10^{-10}\,m=3\,\overset{0}{A}$

Javob: $\lambda=3\cdot10^{-10}\,m=3\,\overset{0}{A}$

2. *Normal sharoitdagi azot molekulasining de-Broyl to'lqin uzunligi azot molekulasining xususiy o'lchamidan necha marta farq qiladi? Molekulalar o'rta kvadratik tezlik biolan harakatlanyapti deb hisoblang. Azot molekulasining xususiy o'lchamibni 2,6 Å deb, Plank doimiysini $h=6{,}626\cdot10^{-34}$ J·s deb oling.*

Berilgan:	Yechish:
$M=28\cdot10^{-3}$ kg/mol $T=273$ K $d=2{,}6$ Å $h=6{,}63\cdot10^{-34}$ J·s	Molekula massasini hamda o'rta kvadratik tezlik formulasini yozamiz. $m_0=\frac{M}{N_A},\quad \bar{\vartheta}=\sqrt{\frac{3RT}{M}}$
$d/\lambda=?$	Bulardan foydalanib molekulaning impulsini aniqlaydigan formulani keltirib chiqaramiz va hisoblaymiz.

$$p=m_0\bar{\vartheta}=\frac{M}{N_A}\cdot\sqrt{\frac{3RT}{M}}=\frac{\sqrt{3RMT}}{N_A}=\frac{\sqrt{3\cdot8{,}31\frac{J}{mol\cdot K}\cdot28\cdot10^{-3}\frac{kg}{mol}\cdot273\,K}}{6\cdot10^{23}\frac{1}{mol}}=$$

$$=2{,}3\cdot10^{-23}\,kg\cdot m/s$$

Endi de-Broyl to'lqin uzunligini hisoblaymiz.

$$\lambda=\frac{h}{p}=\frac{6{,}626\cdot10^{-34}\,J\cdot s}{2{,}3\cdot10^{-23}\,kg\cdot m/s}=2{,}88\cdot10^{-11}\,m=0{,}288\,\overset{0}{A}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Azot molekulasining xususiy o‘lchami de-Broyl to‘lqin uzunligidan necha marta farq qilishini aniqlaymiz.

$$\frac{d}{\lambda}=\frac{2,6\overset{0}{A}}{0,288\overset{0}{A}}\approx 9$$

Javob: *d/λ=9 marta farq qiladi*

3 *Elektronning kinetik energiyasi: a) 10 keV; b) 1 MeV bo‘lgan hollar uchun de-Broyl to‘lqin uzunliklar hisoblansin. Plank doimiysini h=6,626·10^{-34} J·s deb oling.*

Berilgan:	*Yechish:*
a) E_k=10 keV *b) E_k= 1 MeV* *c=3·10^8 m/s* *m_e=9,1110^{-31} kg* *h=6,626·10^{-34} J·s*	*Eng avvalo Eynshteynning massa va energiya orasidagi bog‘lanish formulasiga asosan elektronning tinchlikdagi energiyasini elektron-voltlarda hisoblaymiz.* $E_0=m_ec^2=9,11\cdot10^{-31}kg\cdot\left(3\cdot10^8\frac{m}{s}\right)^2=81,33\cdot10^{-15}J\approx510keV$
λ=?	*Endi masalani har bir sahrt uchun ishlaymiz.*

a) Bu holda elektronning kinetik energiyasi tinchlikdagi energiyadan ancha kichik bo‘lgani uchun relyativistik effektlar kuzatilmaydi. Shuning uchun bu shart uchun elektronni klassik zarra deb olamiz.

$$\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}=\frac{6,626\cdot10^{-34}J\cdot s}{\sqrt{2\cdot9,11\cdot10^{-31}kg\cdot1,6\cdot10^{-15}J}}=1,23\cdot10^{-11}m$$

b) Bu holda esa elektronning kinetik energiyasi tinchlikdagi energiyadan katta bo‘lgani uchun relyativistik effektlar kuzatiladi. Shuning uchun bu shart uchun elektronni relyativistik zarra deb olamiz.

$$\lambda=\frac{h}{p}=\frac{hc}{\sqrt{E_K\left(E_K+2m_ec^2\right)}}=\frac{hc}{\sqrt{E_K\left(E_K+2E_0\right)}}=$$

$$=\frac{6,626\cdot10^{-34}J\cdot s\cdot3\cdot10^8\frac{m}{s}}{\sqrt{1,6\cdot10^{-13}J\cdot\left(1,6\cdot10^{-13}J+2\cdot81,33\cdot10^{-15}J\right)}}=8,76\cdot10^{-12}m$$

Javob: *a) 1,23·10^{-11} m; b) 8,76·10^{-12} m*

§ 27. KVANT SONLARI HAMDA ATOM VA MOLEKULALARNING ELEKTRON BULUTLARI HAQIDA TUSHUNCHA.

Kvant sonlari haqida tushuncha:

Tarixan olganda atom fizikasi juda yosh bo‘lib, u XX asrning boshlaridan boshlab rivojlana boshlandi. Lekin, kimyo fani ikki asr oldin rivojlana boshlagan. Kimyo tilida atomning holati davriy sistemada guruhlar, davrlar, elektron pog‘onalar va elektron pog‘onachalar asosida tavsiflanadi. Hozirgi zamon atom

SINOV UCHUN BERILGAN

fizikasi hamda kvant fizikasi tasavvurlariga ko‘ra atomlarda elektronning holati klassik tasavvurlarga mutlaqo zid bo‘lgan kvant kattaliklar asosida tushuntiriladi. Kvant kattaliklari 4 xil bo‘lib, ular quyidagilar:

1) *bosh kvant soni;* ***2)*** *orbital kvant soni;* ***3)*** *magnit kvant soni;* ***4)*** *spin kvant soni*.

Endi bu kvant kattaliklarining har biri nimani anglatishi haqida qisqacha to‘xtalib o‘tamiz.

1) *Bosh kvant soni:* Bu kvant soni atomdagi elektronning energiyasini xarakterlaydi va bu energiya vodorod atomi uchun ushbu

$$E_n = -\frac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2 n^2} = -\frac{13,6252}{n^2}\ [eV] \qquad \textbf{(28.1)}$$

formula orqali, davriy sistemadagi boshqa vodorodsimon atomlar uchun esa ushbu

$$E_n = -\frac{m_e e^4 Z^2}{8\varepsilon_0^2 h^2 n^2} = -13,6252\frac{Z^2}{n^2}\ [eV] \qquad \textbf{(28.1a)}$$

formula orqali aniqlanadi.

Bu yerda: $h = 6,626\cdot 10^{-34}\,[J\cdot s]$ – Plank doimiysi, $E_{1H} = -13,6252\,[eV]$ – uyg‘onmagan bodorod atomidagi elektronning energiyasi, $\varepsilon_0 = 8,85\cdot 10^{-12}\left[\frac{C^2}{Nm^2}\right]$ – elektr doimiysi, $m_e = 9,109\cdot 10^{-31}\,[kg]$ – elektornning massasi, $e = -1,602\cdot 10^{-19}\,[C]$ – elektronning elektr zaryadi, Z–tartib raqami. Yuqoridagi eng muhim kattalik n – bosh kvant soni deb atalib, u elektronning atomdagi energiyasini xarakterlaydi. Bosh kvan soni n natural sonlarni qabul qiladi, ya’ni

$$n = 1,2,3,4,... \qquad \textbf{(28.2)}$$

qiymatlar qabul qiladi.

Masalan, vodorod atomida elektron uyg‘onmagan $n=1$ sathda $E_1 = -13,6252\,[eV]$, $n=2$ sathda $E_2 = -\frac{13,6252}{4}\,[eV]$, $n=3$ sathda $E_3 = -\frac{13,6252}{9}\,[eV]$ va hokoza energiyalarga ega bo‘ladi.

2) *Orbital kvant soni:* Ma’lumki, atomlarda elektronlar yadro atrofida aylanma harakat qiladi va bu harakat impuls momentini vujudga keltiradi. Eslatib o‘tamiz, impuls momenti elektronning impulsi va aylanish radiusi ko‘paytmasi $(L = p_e r = m_e \vartheta r)$ ga teng vektor kattalikdir. Orbital kvant soni atomdagi elektronning orbitaviy impuls momentini xarakterlaydi. Impuls momenti terminini ba’zan harakat miqdori momenti yoki qisqacha mexanik moment deb ham ataladi. Elektronning impuls momenti ushbu

SINOV UCHUN BERILGAN

$$L = \sqrt{\ell(\ell+1)}\,\hbar \quad \left[kg \cdot m^2 / s\right] \tag{28.3}$$

formula orqali aniqlanadi.

Bu yerda: $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1{,}0545 \cdot 10^{-34}\left[J \cdot s\right]$ – chiziqchali Plank doimiysi. Yuqoridagi eng muhim kattalik ℓ – orbital kvant soni deb atalib, u elektronning atomdagi yadro atrofida aylanishidan hosil bo‘ladigan orbital impuls momentini xarakterlaydi. Orbital kvan soni ℓ ushbu

$$\ell = 0,1,2,3,4,...,n-1 \tag{28.3a}$$

gacha bo‘lgan qiymatlar qabul qiladi.

Masalan, atomda elektron uyg‘onmagan n=1 sathda $\ell=0$ qiymat qabul qilib, impuls moment $L=0$ bo‘ladi. n=2 sathda $\ell=0$ va $\ell=1$ qiymatlar qabul qilib, impuls momentlar ham mos holda $L=0$ va $L = \sqrt{2}\,\hbar$ bo‘ladi. n=3 sathda esa $\ell=0$, $\ell=1$ va $\ell=2$ qiymatlar qabul qilib, impuls momentlar ham mos holda $L = 0$, $L = \sqrt{2}\,\hbar$ va $L = \sqrt{6}\,\hbar$ bo‘ladi va hokoza.

Elektronning yadro atrofidagi harakati faqatgina impuls momentini hosil qilmasdan, balki magnit momemtni ham hosil qiladi. Bunga sabab elektron zaryadli zarra bo‘lgani uchun uning harakati aylanma tokni hosil qiladi va $\mu = IS = \pi r^2 e\nu$ formulaga asosan orbital magnit momentga ega bo‘ladi. Orbital magnit moment $\frac{\mu}{L} = \frac{e}{2m_e}$ formuladan aniqlanadi.

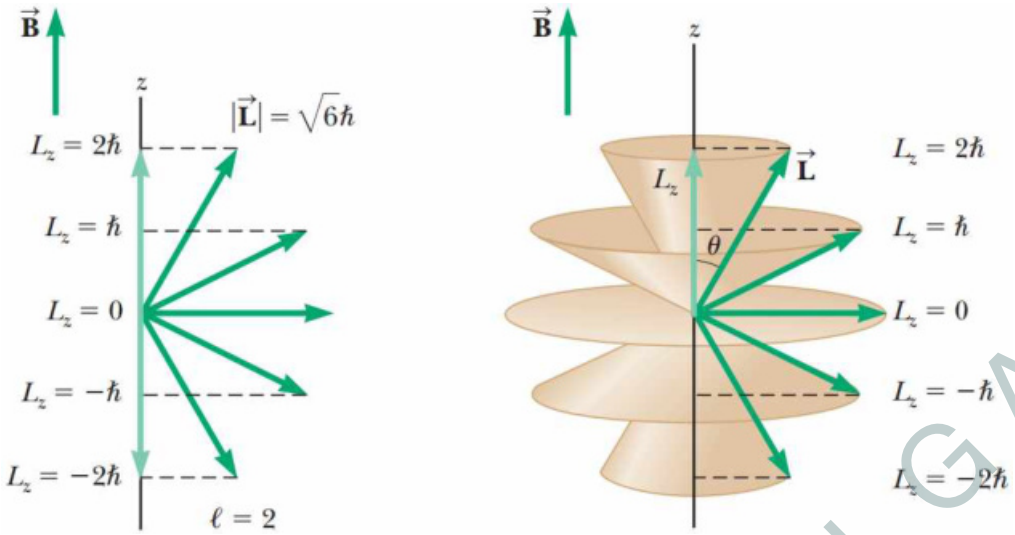
$$\mu = \frac{he}{4\pi m_e}\sqrt{\ell(\ell+1)} = \mu_{Bor}\sqrt{\ell(\ell+1)} \quad \left[A \cdot m^2\right] \tag{28.5}$$

Bu yerda: $\mu_{Bor} = \frac{he}{4\pi m_e} = 9{,}272 \cdot 10^{-24}\left[A \cdot m^2\right]$ – Bor magnetoni deb ataladi. Elektron turli holatlarda bo‘lganda uning orbital magnit momenti Bor magnetoniga proporsional qiymatlar qabul qiladi.

Masalan, atomda elektron uyg‘onmagan $n=1$ sathda ($\ell=0$) magnit moment $\mu=0$ bo‘ladi. $n=2$ sathda ($\ell=0$, $\ell=1$) magnit momentlar $\mu=0$ va $\mu = \sqrt{2}\,\mu_{Bor}$ qiymatlarga ega bo‘ladi. $n=3$ sathda ($\ell=0$, $\ell=1$, $\ell=2$) esa magnit momentlar $\mu = 0$, $\mu = \sqrt{2}\,\mu_{Bor}$ va $\mu = \sqrt{6}\,\mu_{Bor}$ qiymatlarga ega bo‘ladi.

Shuni eslatib o‘tamizki, orbital kvant soni atomdagi har xil holatlardagi elektronning orbital impuls momenti yoki orbital magnit momentining qiymatini aniqlab beradi, lekin momentlarning yo‘nalishini ko‘rstib bera olmaydi. Chunki, impuls momenti va magnit momenti vektor kattaliklar bo‘lgani uchun ular miqdor va yo‘nalishga egadirlar. Momentning miqdorini aniqlash mumkin, yo‘nalishini esa yo‘q.

SINOV UCHUN BERILGAN



27.1-rasm

3) *Magnit kvant soni*: Agar atomga magnit maydon ta'sir ettirilsa, undagi elektronlarning orbital impuls moment vektorlari magnit maydon yo'nalishi atrofida presessiya hosil qilib giroskopik harakat qila boshlaydi. Ko'pincha, magnit maydon yo'nalishini *Oz* o'qi yo'nalishi bilan mos qo'yiladi. Impuls momenti vektorining magnit maydon yo'nalishiga (*Oz* o'qiga) proyeksiyasi biror qiymatga ega bo'ladi. Kvant tasavvurlariga asoslangan hisob-kitoblarga ko'ra, bu proyeksiya ham klassik tasavvurlarga zid bo'lgan kvant kattaliklarni qabul qilar ekan. Bu kvant kattalikni *magnit kvant soni* deyiladi. Shunday qilib, magnit kvant soni orbital impuls momenti yoki orbital magnit momentining magnit maydon yo'nalishiga proyeksiyasini xarakterlar ekan. Ular quyidagi formulaga ko'ra aniqlanadi (27.1-rasm):

$$L_z = m\hbar, \quad \mu_z = m\mu_{Bor} \tag{28.6}$$

Bu yerda: m – magnit kvant soni bo'lib, u ushbu

$$m = -\ell, -\ell+1, -\ell+2, \dots, \ell-2, \ell-1, \ell \tag{28.6a}$$

qiymatlarni qabul qilib, jami $2\ell+1$ ta proyeksiyaga ega bo'ladi. Bu proyeksiyalarni *aynigan holat* deb ham ataladi (*27.1-rasm*).

Masalan, magnit kvant soni $\ell=0$ da $m=0$ qiymat, $\ell=1$ da m=-1, 0, 1 qiymatlar, $\ell=2$ da m=-2, -1, 0, 1, 2 qiymatlar qabul qiladi. Demak, impuls momentini va magnit momentini proyeksiyalari $\ell=0$ da $\begin{cases} L_z = 0 \\ \mu_z = 0 \end{cases}$, $\ell=1$ da $\begin{cases} L_z = 0, \pm\hbar \\ \mu_z = 0, \mp\mu_{Bor} \end{cases}$, $\ell=2$ da $\begin{cases} L_z = 0, \pm\hbar, \pm 2\hbar \\ \mu_z = 0, \mp\mu_{Bor}, \mp 2\mu_{Bor} \end{cases}$ qiymatlarga ega bo'lar ekan.

Impuls momenti L hamda uning magnit maydon yo'nalishiga proyeksiyasi L_z ni bilgan holda ular orasidagi burchakni aniqlash mumkin (27.1-rasm).

SINOV UCHUN BERILGAN

$$\cos\varphi = \frac{L_z}{L} = \frac{m\hbar}{\sqrt{\ell(\ell+1)}\hbar} = \frac{m}{\sqrt{\ell(\ell+1)}} \qquad (28.7)$$

4) *Spin kvant soni:* Yerning Quyosh atrofidagi yillik aylanma harakatini elektronning yadro atrofidagi aylanma harakatidan yuzaga keladigan orbital mexanik momentiga o‘xshatish mumkin ekan. U holda Yerning o‘z o‘qi atrofidagi sutkalik aylanma harakatini elektronning ham o‘z o‘qi atrofidagi aylanma harakatiga o‘xshatish mumkin ekan. Lekin, elektron ham o‘z o‘qi atrofida aylanadimi degan bir savol tug‘iladi. Xa, aylanadi. Nafaqat elektron, balki barcha elementar zarralar o‘z o‘qi atrofida aylanadi. Zarraning o‘z o‘qi atrofida aylanishidan yuzaga keladigan impuls momentni *xususiy impuls moment* yoki *xususiy maxanik moment* yoki qisqacha *spin* deyiladi. Elektron zaryadli zarra bo‘lgani uchun uning har qanday harakati magnit maydonini yuzaga keltiradi, shuningdek aylanma harakati ham *xususiy magnit moment*ni yoki *spin magnit moment*ni yuzaga keltiradi.

Электронда спин мавжуд бўлгани учун спин магнит момент (хусусий магнит момент) ҳам мавжуд бўлади. Электронда спин ва спин магнит момент мавжудлиги ҳақидаги фикр 1925-йилда С. Гоудсмит ва Г. Уланбеклар томонидан илгари сурилди. “Спин” сўзи инглизчадан “айланмоқ” деган маънони билдиради. Бу терминни ишлатишга сабаб шундаки, дастлаб электронни ўз ўқи атрофида айланувчи шарча деб тасаввур қилинган. Лекин, кўп ўтмай Гоудсмит ва Уланбеклар бу фикрдан қайтишган. Бунга сабаб агар электрон ўз ўқи атрофида айланма ҳаракат қилса, унинг диаметридаги чизиқли тезликнинг қиймати ёруғлик тезлигидан ҳам катта бўлиб чиқар экан. Аммо “спин” терминидан фойдаланиш ҳалигача давом этмоқда. Замонавий тушунчаларга кўра электроннинг спини унинг массаси ва заряди каби ажралмас хусусиятидир.

Elektronning spini va spin magnit momenti ham makroolam qonunlari hamda klassik tasavvurlarga zid bo‘lgan kvant tushunchalarga asoslangan bo‘lib, ular kvant kattaliklarni qabul qiladi. Spin magnit moment $\frac{\mu_s}{L_s} = \frac{e}{m_e}$ formuladan aniqlanadi.

$$L_s = \sqrt{s(s+1)}\,\hbar, \qquad \mu_s = 2\sqrt{s(s+1)}\,\mu_{Bor} \qquad (28.8)$$

Bu yerda: s – spin kvant soni bo‘lib, u faqat ikkita, ya’ni $s = \pm\frac{1}{2}$ qiymatni qabul qiladi. Zarralar uchun $s = +\frac{1}{2}$ deb, antizarralar uchun esa $s = -\frac{1}{2}$ deb olinadi (antizarralar va ularning xususiyatlari haqida ushbu darslikning oxirgi bobida so‘z boradi). Elektron, proton va neytron kabi elementar zarralar zarra bo‘lgani uchun

SINOV UCHUN BERILGAN

ularning spini $s=+\frac{1}{2}$ deb olinadi. Shunga ko‘ra elektron uchun yuqoridagi formula

$$L_s=\frac{\sqrt{3}}{2}\hbar,\qquad \mu_s=\sqrt{3}\,\mu_{Bor} \tag{28.9}$$

ko‘rinishga o‘tadi.

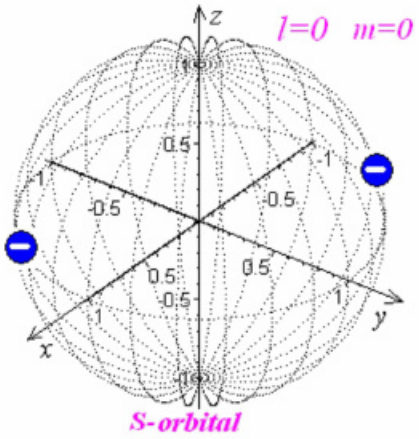
Elektronga magnit maydon ta’sir ettirilsa, uning spinining va spin magnit momentining magnit maydon yo‘nalishiga (Oz) o‘qiga proyeksiyasi ham kvantlanadi.

$$L_{s.z}=\pm s\hbar=\pm\frac{1}{2}\hbar,\qquad \mu_{s.z}=\pm s\mu_{Bor}=\pm\mu_{Bor} \tag{28.10}$$

Demak, elektron spin magnit momentining tashqi maydon yo‘nalishiga proyeksiyasi faqat ikki qiymatga ega bo‘la olar ekan va uning absalyut qiymati Bor magnetoniga teng bo‘lar ekan.

Elektron qobiq haqida tushuncha:

Zamonaviy tasavvurlarga ko‘ra mikrodunyoda trayektoriya hamda harakat tenglamasi tushunchasi mavjud emas. Mikrodunyoda zarrani qayerda ekani va uni kelgusida yana qaysi joyda uchratish mumkinligini oldindan kafolatli aytib berib bo‘lmaydi. Zarrani u yoki bu joyda uchratish ehtimolli xarakterga ega bo‘lib, bunda zarraning harakati ham to‘lqinsimon xususiyatga ega bo‘ladi. Shuning uchun atomdagi elektron Bor tasavvuridagi kabi yassi tekislikda yotuvchi aniq orbitalarda harakatlanmasdan, balki elektronni eng ko‘p uchratish mumkin bo‘lgan soha Bor radiuslarini beradi. Zarra harakatidagi to‘lqinsimonlik fazoviy elektron bulutini yoki elektron qobiqni hosil qiladi. Biz ana shu elektron qobiqlar haqida tushuncha berib o‘tamiz.



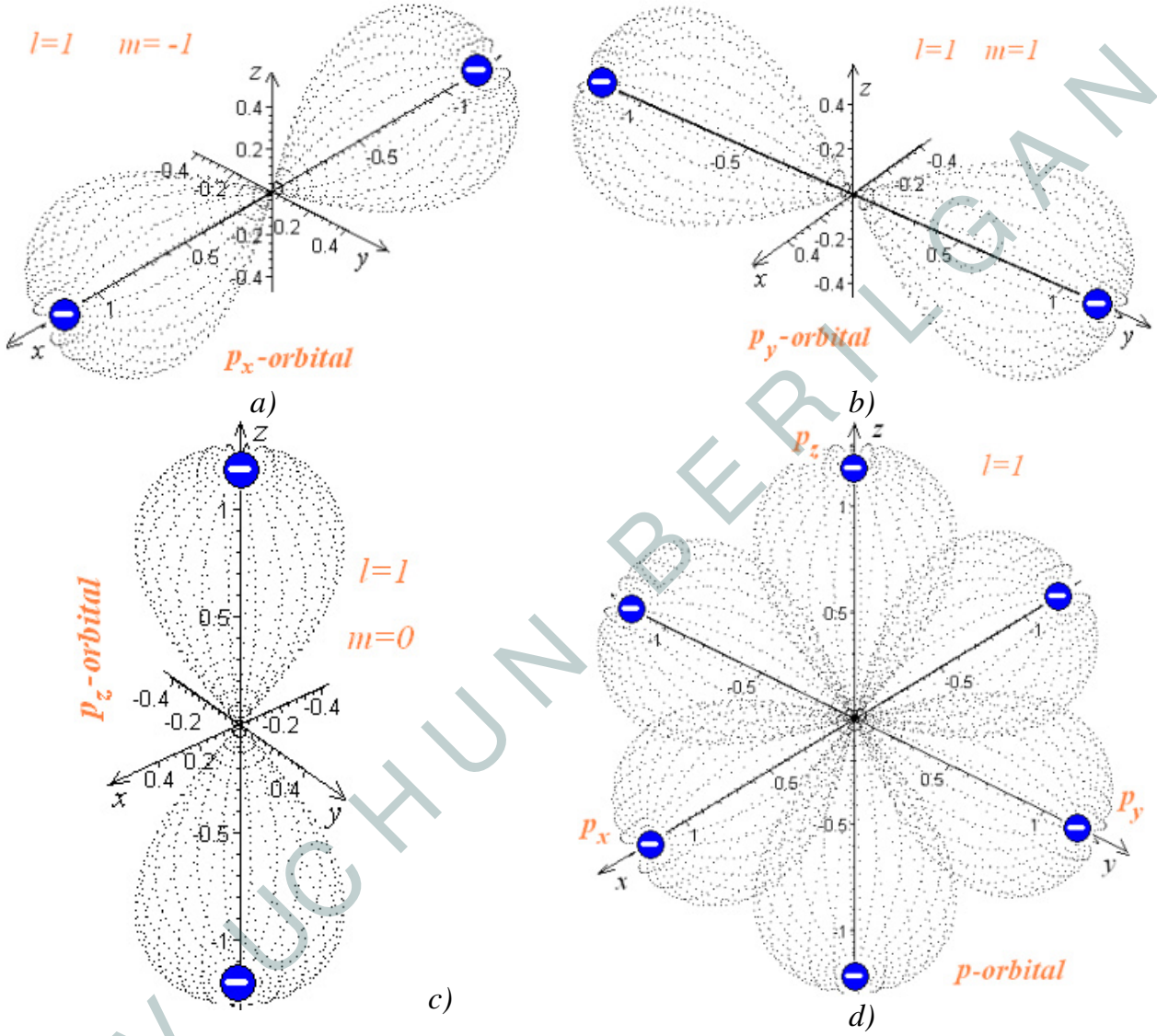
27.2-rasm

Elektronlarni eng ko‘p uchratish mumkin bo‘lgan nuqtalar to‘plamini *s,p,d,f* qobiqlar deb atalishini bilamiz. *s* qobiq bitta, *p* qobiq uchta p_x, p_y, p_z va *d* qobiq beshta $d_{xy},d_{xz},d_{yz},d_{x^2-y^2},d_{z^2}$ orbitallardan tashkil topgan.

Atomlarda elektronlar turli pog‘onachalardagi orbitallarda o‘tiradi. Agar eng tashqi oxirgi orbital *s*-qobiq, ya’ni oxirgi valentlik elektroni *s*-elektron pog‘onachada o‘tirgan bo‘lsa, bunday atomlarni *s*-elementlar deyiladi. *s*-qobiqdagi elektron harakatining eng zich ehtimolli qatlami sferaga o‘xshash bo‘lib, u barcha o‘qlarga nisbatan simmetrikdir. *s*-elementlar davriy sistemada qizil rangda tasvirlanib, ular 2tadan bo‘ladi (*27.2-rasm*).

SINOV UCHUN BERILGAN

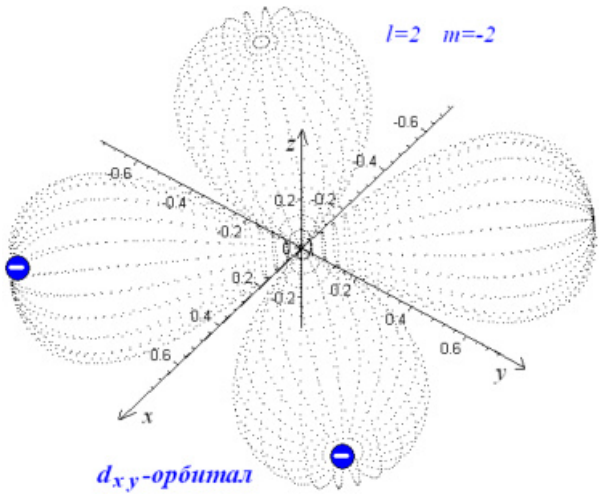
p-orbitallar gantelsimon, ya’ni lissajuga o‘xshash bo‘ladi. 58.3-rasmda uchta orbital alohida-alohida hamda ular birgalikda tasvirlangan. Oxirgi to‘layotgan qobiq p-orbital bo‘lgan elementlarni p-elementlar deyiladi. p-elementlar davriy sistemada sariq rangda tasvirlanib, ular 6tadan bo‘ladi.



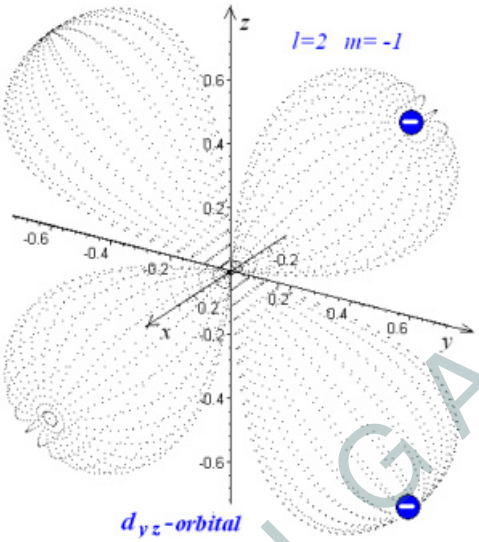
27.3-rasm

Agar eng tashqi oxirgi orbital d-qobiq, ya’ni oxirgi valentlik elektroni d-elektron pog‘onachada o‘tirgan bo‘lsa, bunday atomlarni d-elementlar deyiladi. d-qobiqdagi elektron harakatining eng zich ehtimolli qatlami yaproqchasimon bo‘ladi, ya’ni o‘qlari o‘zaro perpendikulyar bo‘lgan gantellarga o‘xshash bo‘ladi. d-qobiqda beshta $d_{xy}, d_{y,z}, d_{x,z}, d_{x^2-y^2}, d_{z^2}$-orbitallar bo‘lib, ularning fazoviy ko‘rinishlari 27.4-rasmda keltirilgan. d-elementlar davriy sistemada ko‘k rangda tasvirlanib, ular 10tadan bo‘ladi.

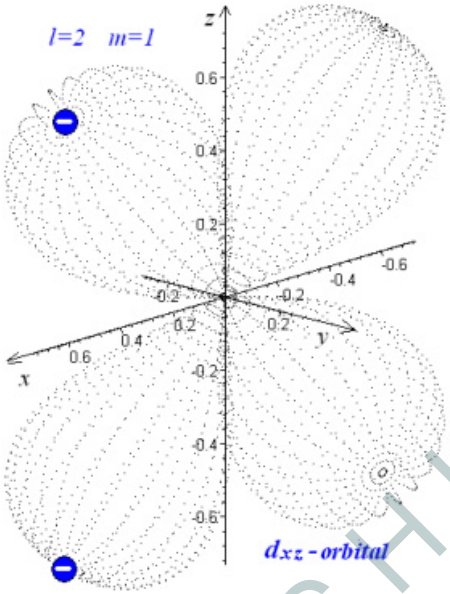
SINOV UCHUN BERILGAN



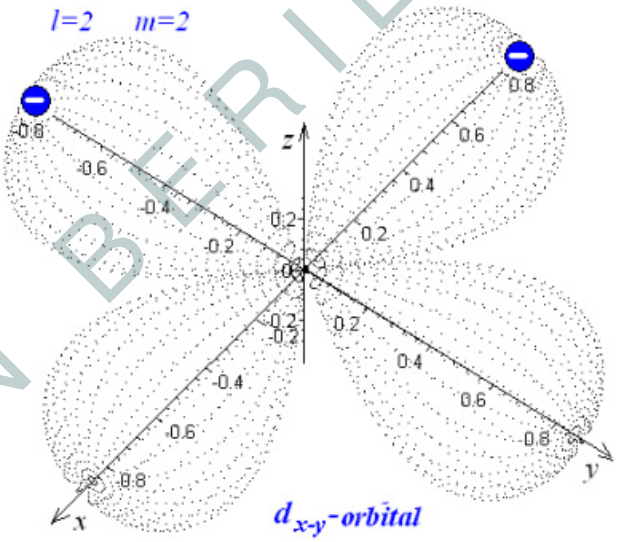
f)



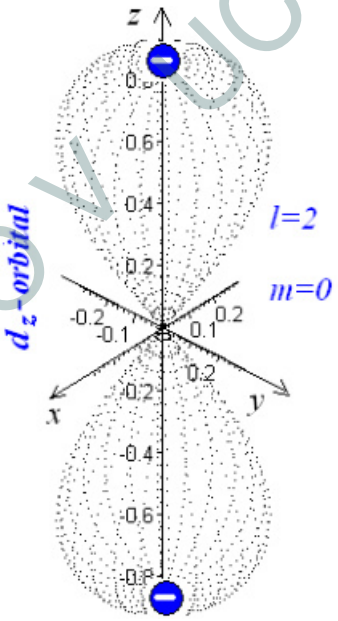
b)



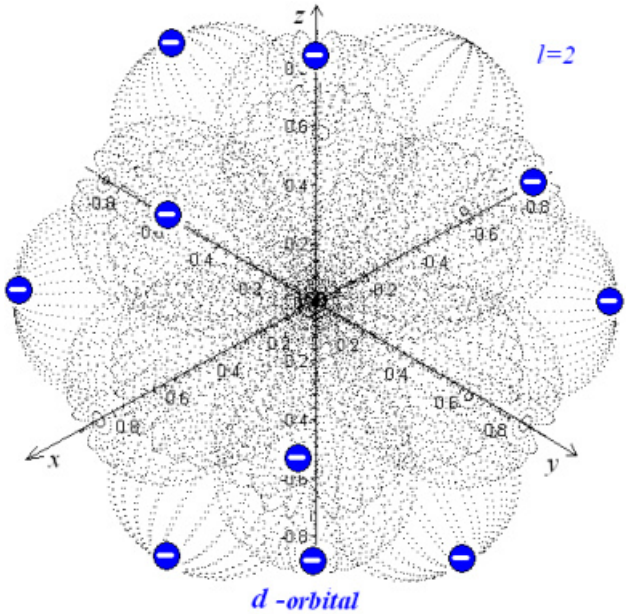
c)



d)



e)



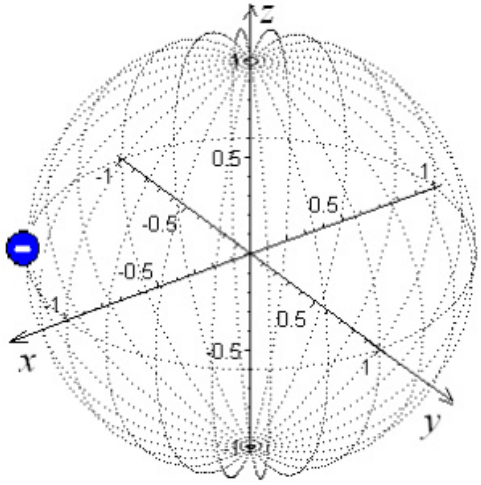
f)

27.4-rasm

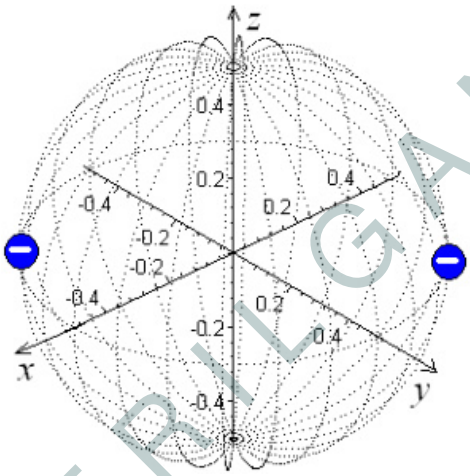
SINOV UCHUN BERILGAN

Atomlar haqida tushuncha:

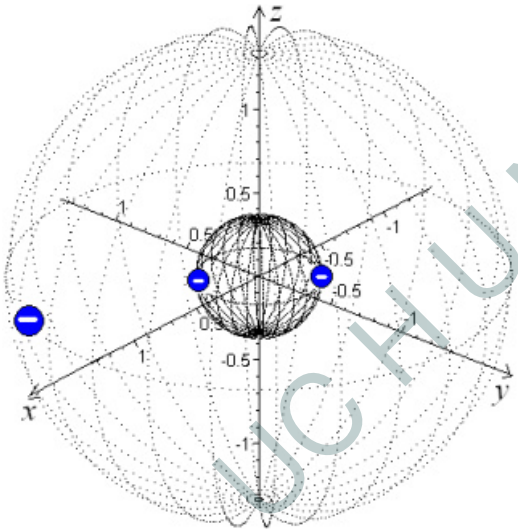
O‘rganuvchilarda atom va uning elektron qobiqlari, orbitallarining elektronga to‘lib borishi haqida kengroq tasavvur hosil qilish uchun atomlarning axborot texnologiyalari yordamida olingan fasoviy tasvirlaridan namunalar keltirilgan (27.5-rasm).



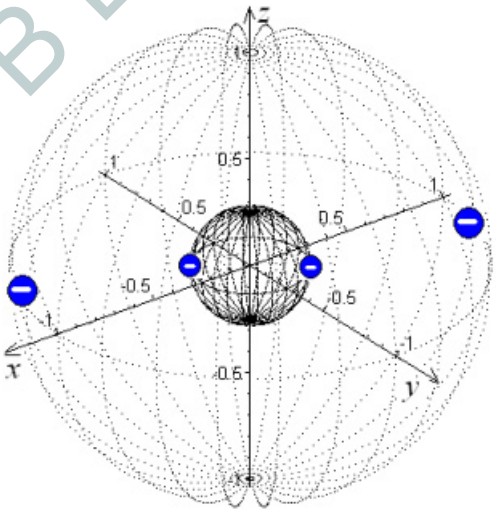
Vodorod (z=1)



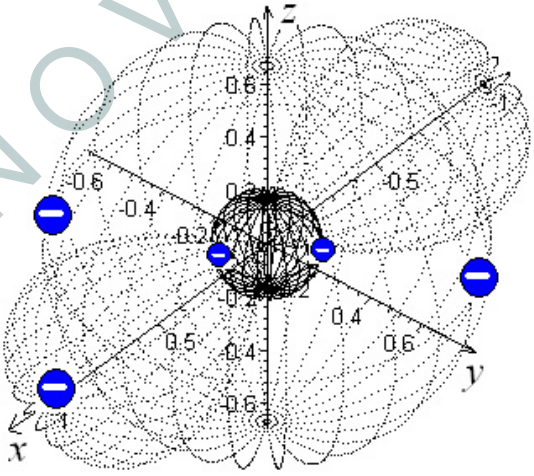
Geliy (z=2)



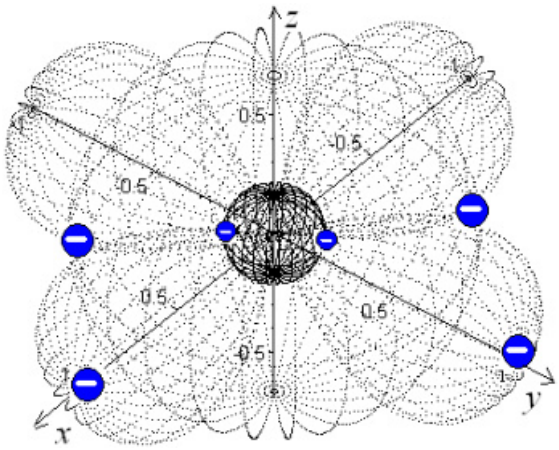
Litiy (z=3)



Berilliy (z=4)

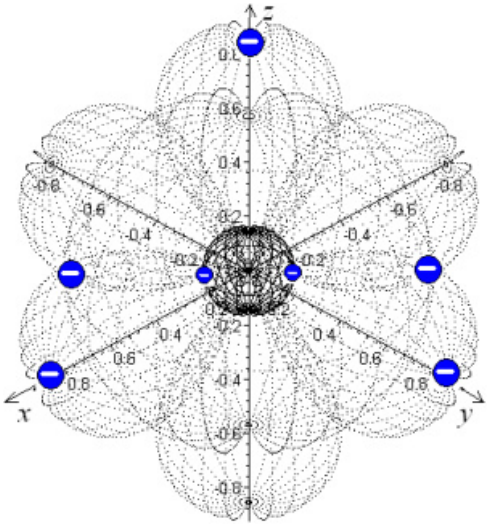


Bor (z=5)

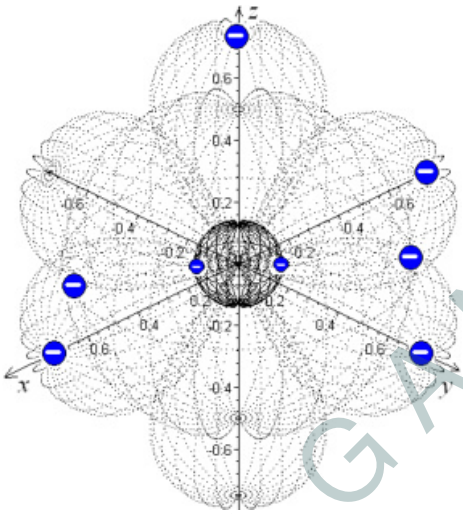


Uglerod (z=6)

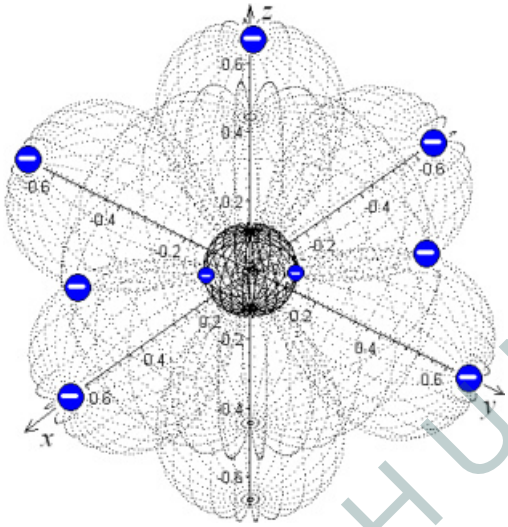
SINOV UCHUN BERILGAN



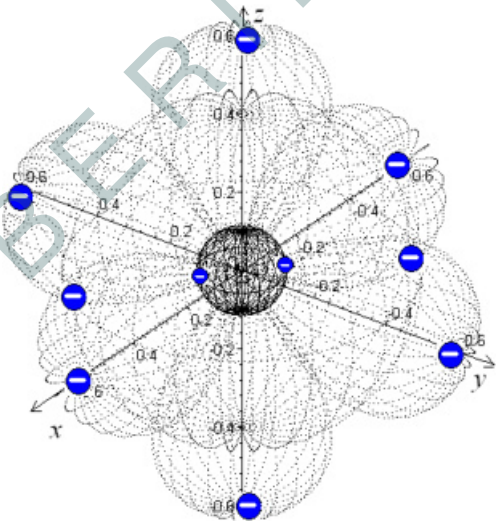
Azot (z=7)



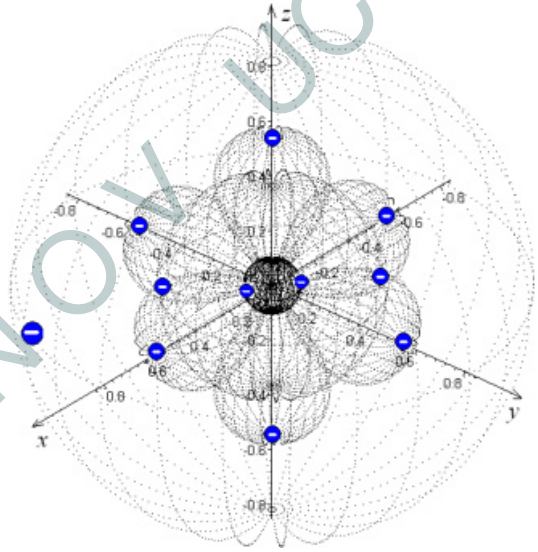
Kislorod (z=8)



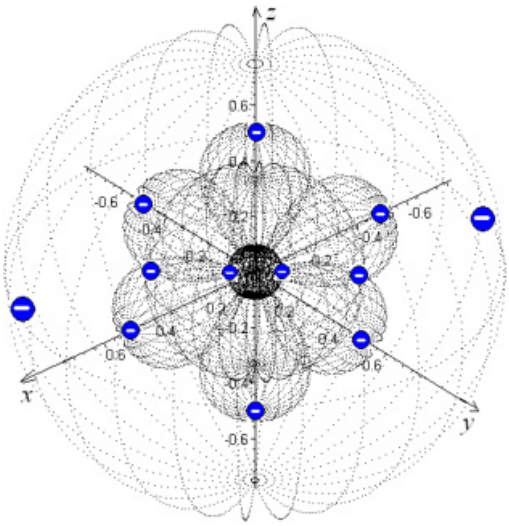
Ftor (z=9)



Neon (z=10)

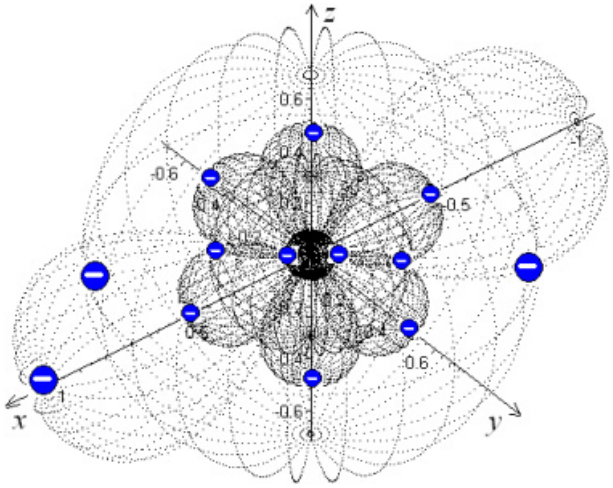


Natriy (z=11)

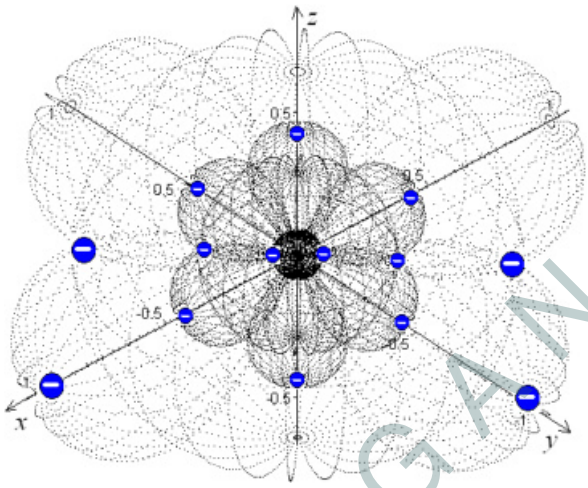


Magniy (z=12)

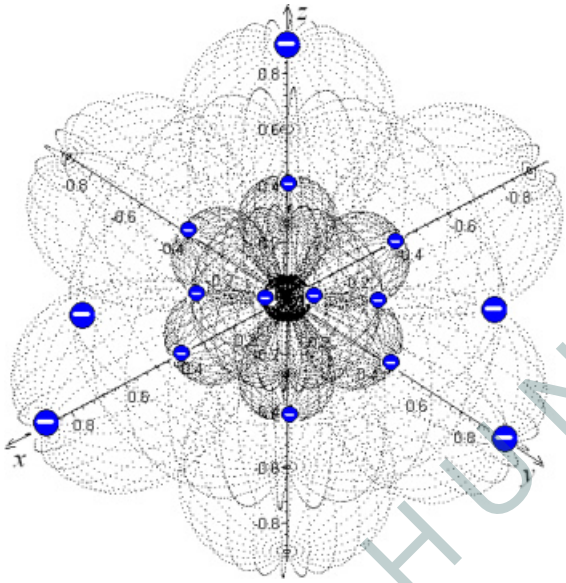
SINOV UCHUN BERILGAN



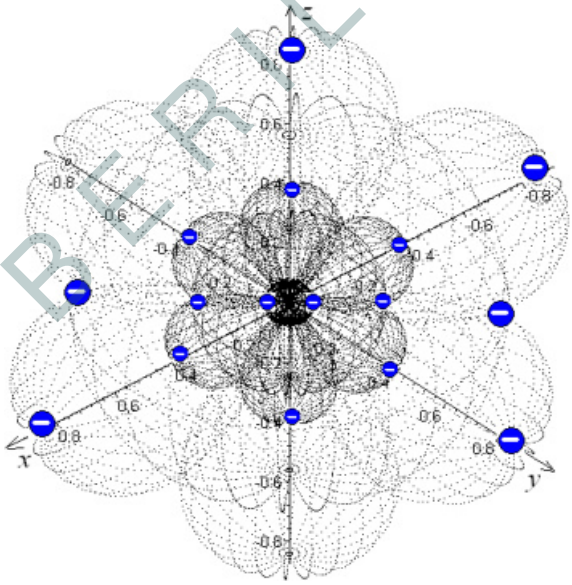
Alyuminiy (z=13)



Kremniy (z=14)



Fosfor (z=15)



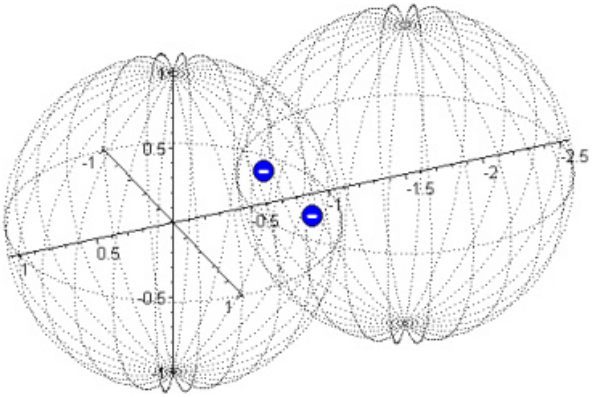
Oltingugurt (z=16)

27.5-rasm

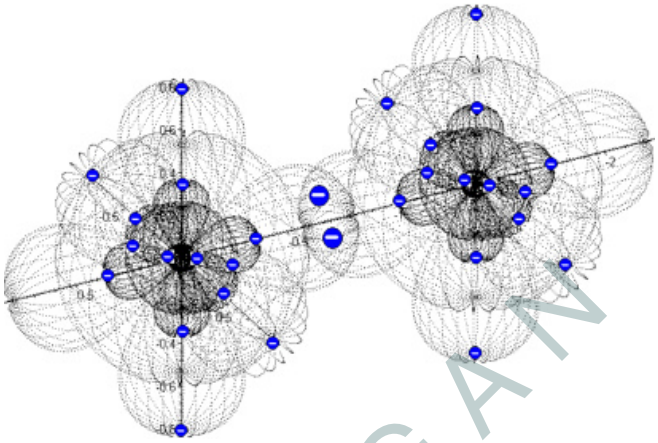
Molekulalar haqida tushuncha:

Atomlar ximiyaviy birikishi natijasida moleklalar hosil bo‘ladi. Bu jarayon elektronga to‘lmay qolgan eng tashqi elektron qobiqdagi elektronlar vositasida amalga oshadi. Elektronga to‘lgan ichki qobiqdagi elektronlar molekulalar hosil qilishda ishtirok etmaydilar. Bir xil atomlar birikkanda kovalent bog‘lanish yuzaga keladi. Boshqa hollarda ionli bog‘lanish molekulyar bog‘lanish, metall bog‘lanish kabi bog‘lanishlar hosil bo‘ladi. Quyidagi 2-rasmda ba’zi molekulalarning elektron qobiqlari axborot texnologiyalari yordamida tasvirlangan (27.6-rasm).

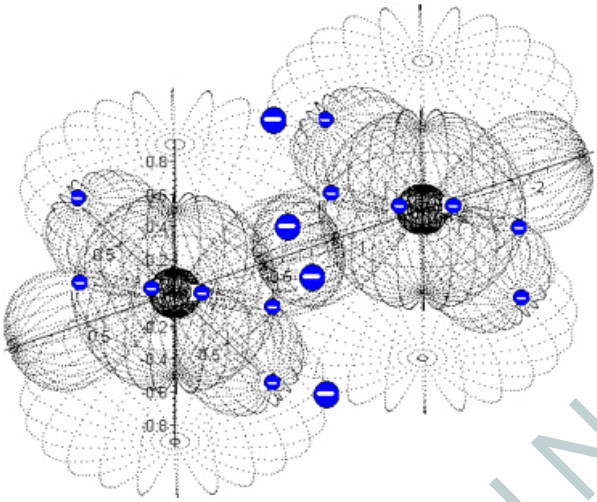
SINOV UCHUN BERILGAN



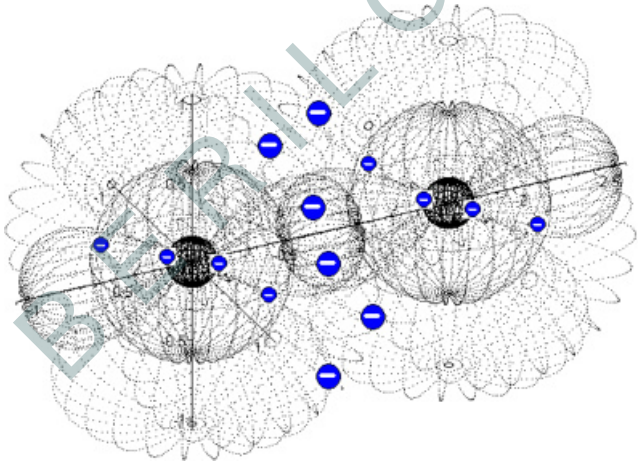
Vodorod



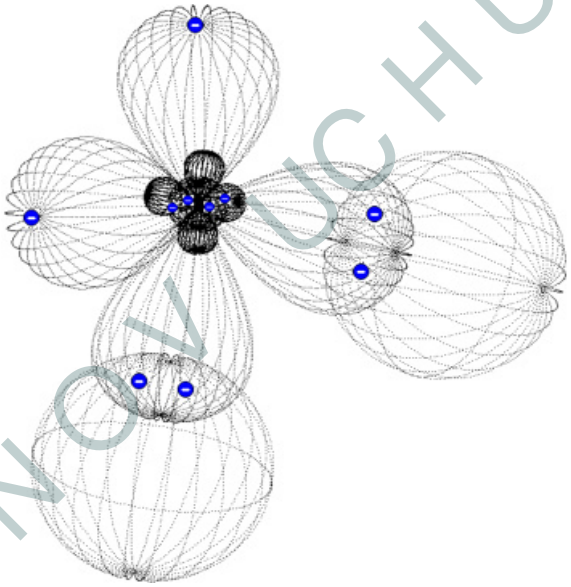
Xlor



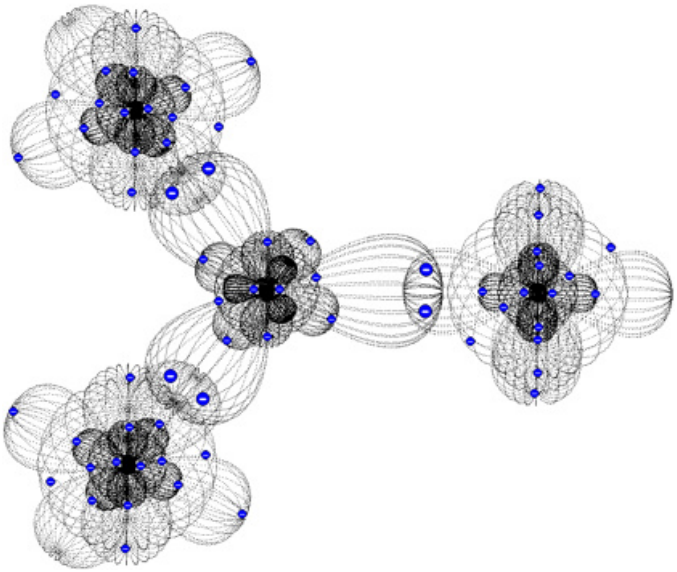
Kislorod



Azot

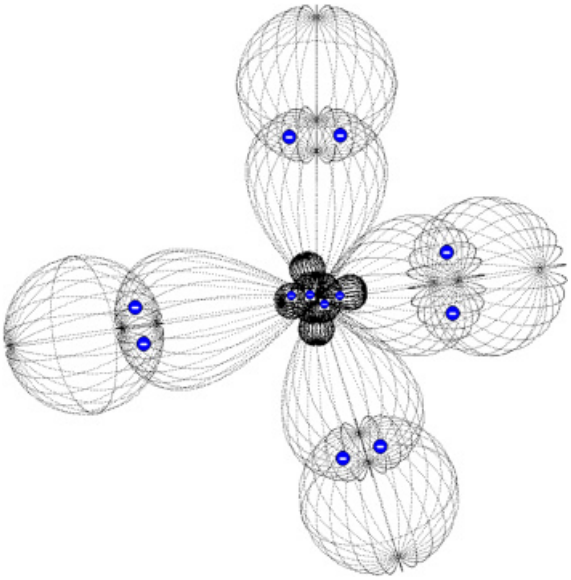


Suv

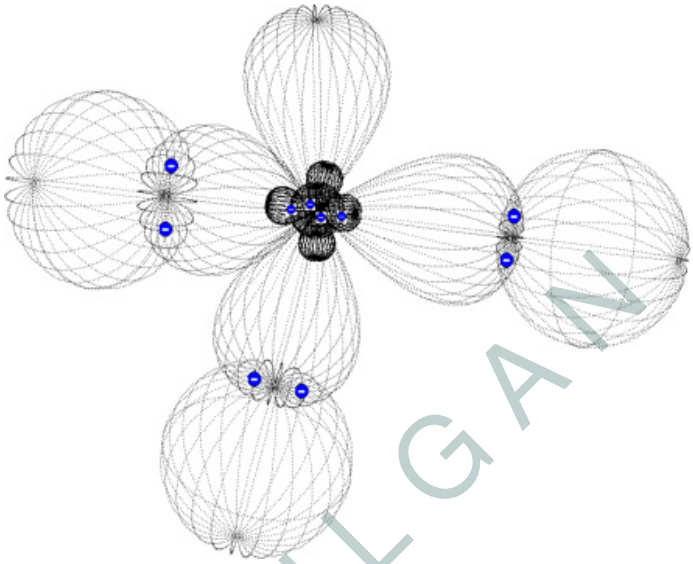


Alyuminiy xlorid

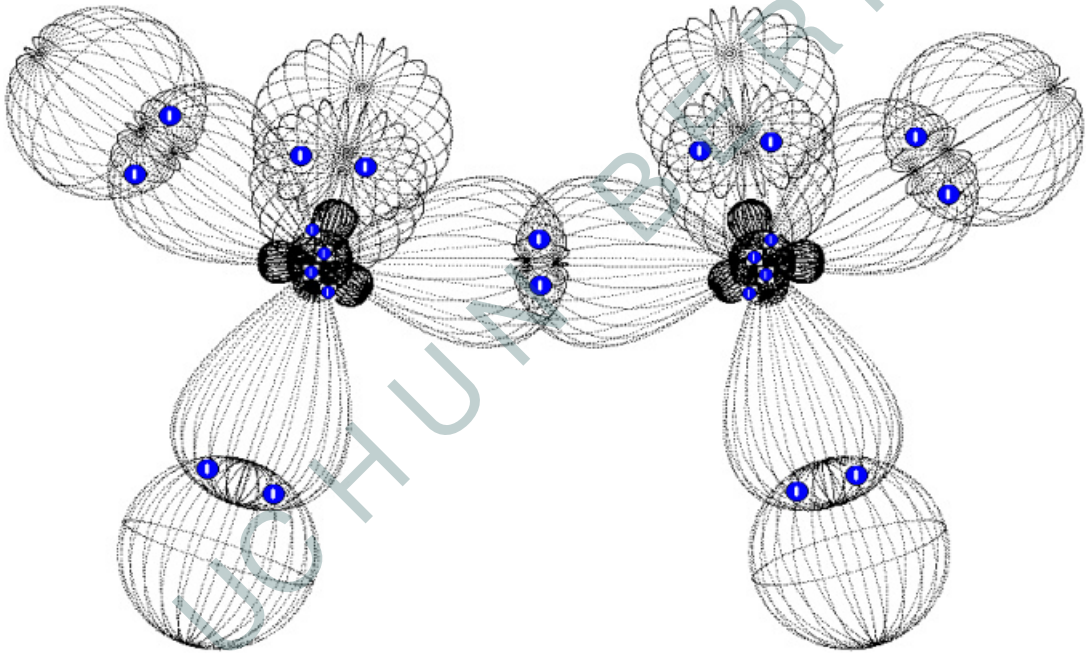
SINOV UCHUN BERILGAN



Metan



Nitrat



Etan

27.6-rasm

Yuqoridagi rasmlardan ko‘rinib turibdiki, ichki qobiqlardagi elektronlar o‘z o‘rnidan qo‘zg‘alms ekan. Atomlarni birlashtirib molekula hosil qiluvchi bog‘lar faqat tashqi to‘lmagan qobiqlar (valent elektronlar va vakant joylar) vositasida amalga oshar ekan. Boshqa aytganda, atomlarning tashqi elektronlari bir-birlarini biroz qoplash evaziga molekulyar bog‘lar hosil bo‘lar ekan.

Mavzu yuzasidan savollar

1. *Mikrodunyoda zarralar qanday harakat qiladi? Unda traektoriya tiushunchasi mavjudmi?*
2. *Mikrodunyoda nechta kvant kattalik bor?*
3. *Bosh kvant soni nimani anglatadi?*
4. *Orbital kvant soni nimani anglatadi?*
5. *Magnit kvant soni nimani anglatadi?*
6. *Spin kvant soni nimani anglatadi?*

SINOV UCHUN BERILGAN

7. s-orbital nima va u qanday shaklda? Bu orbitallar soni nechta?
8. p-orbital nima va u qanday shaklda? Bu orbitallar soni nechta?
9. d-orbital nima va u qanday shaklda? Bu orbitallar soni nechta?
10. s-, p-, d-, f-elementlar davriy sistemada qanday rangda bo'yaladi?

Masala yechish:

1. *Orbital kvant soni $\ell=3$ bo'lgan elektronning yadro atrofida hosil qilgan orbital mexanik momentini hamda orbital magnit momentini aniqlang. Plank doimiysini $h=6{,}626\cdot10^{-34}$ J·s deb oling.*

Berilgan:
$\ell=3$
$h=6{,}626\cdot10^{-34}$ J·s
$c=3\cdot10^{8}$ m/s
$L=?\ \ \mu=?$

Yechish:
Avval impuls momentning orbital kvant soniga bog'lanish formulasidan foydalanib mexanik momentni hisoblaymiz.

$$L=\sqrt{\ell(\ell+1)}\,\hbar=\sqrt{\ell(\ell+1)}\cdot\frac{h}{2\pi}=\sqrt{3\cdot(3+1)}\cdot\frac{6{,}626\cdot10^{-34}\ J\cdot s}{2\cdot3{,}1416}=$$
$$=3{,}649\cdot10^{-34}\ kg\cdot m^2/s$$

Endi esa elektronning yadro atrofidagi aylanma harakatidan hosil bo'lgan magnit momentini aniqlaymiz.

$$\mu=\frac{he}{4\pi m_e}\sqrt{\ell(\ell+1)}=\mu_{Bor}\sqrt{\ell(\ell+1)}=9{,}272\cdot10^{-24}A\cdot m^2\cdot\sqrt{3(3+1)}=3{,}363\cdot10^{-24}\ A\cdot m^2$$

Javob: $L=3{,}649\cdot10^{-34}\ kg\cdot m^2/s;\ \ \mu=3{,}363\cdot10^{-24}\ A\cdot m^2$

2. *Orbital kvant soni $\ell=2$ bo'lgan va yadro atrofida aylanayotgan elektron mexanik momentining magnit maydon yo'nalishi bilan qanday burchaklar tashkil qilishini aniqlang (rasmga qarang).*

Berilgan:
$\ell=2$
$h=6{,}626\cdot10^{-34}$ J·s
$c=3\cdot10^{8}$ m/s
$\varphi=?$

Yechish:
Avval impuls momentning orbital kvant soniga bog'lanish formulasidan foydalanib mexanik momentni hisoblaymiz.

$$L=\sqrt{\ell(\ell+1)}\,\hbar=\sqrt{\ell(\ell+1)}\,\hbar=\sqrt{3\cdot(3+1)}\cdot\hbar=2\sqrt{3}\cdot\hbar$$

Endi magnit kvant sonlarining qiymatlarini aniqlaymiz.

$$m=-2,\ m=-1,\ m=0,\ m=1,\ m=2$$

Endi elektronning mexanik momenti L hamda uning magnit maydon yo'nalishiga proyeksiyasi L_z orasidagi burchak kosinusi formulasini yozamiz.

$$\cos\varphi=\frac{L_z}{L}=\frac{m\hbar}{\sqrt{\ell(\ell+1)}\,\hbar}=\frac{m}{\sqrt{\ell(\ell+1)}}$$

Endi esa so'ralgan burchak qiymatlarini hisoblaymiz.

$$\cos\varphi_1=\frac{m_1}{\sqrt{\ell(\ell+1)}}=\frac{-2}{\sqrt{6}},\ \ \varphi_1=\arccos\left(-\frac{2}{\sqrt{6}}\right)\approx145^0$$

$$\cos\varphi_2=\frac{m_2}{\sqrt{\ell(\ell+1)}}=\frac{-1}{\sqrt{6}},\ \ \varphi_1=\arccos\left(-\frac{1}{\sqrt{6}}\right)\approx110^0$$

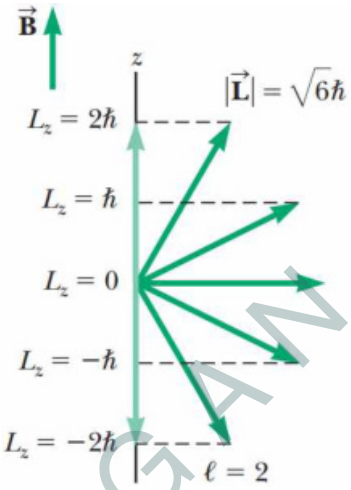
SINOV UCHUN BERILGAN

$$\cos\varphi_3 = \frac{m_3}{\sqrt{\ell(\ell+1)}} = \frac{0}{\sqrt{6}} = 0,\quad \varphi_1 = \arccos(0) = 90^0$$

$$\cos\varphi_4 = \frac{m_4}{\sqrt{\ell(\ell+1)}} = \frac{1}{\sqrt{6}},\quad \varphi_1 = \arccos\left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right) \approx 70^0$$

$$\cos\varphi_5 = \frac{m_5}{\sqrt{\ell(\ell+1)}} = \frac{2}{\sqrt{6}},\quad \varphi_1 = \arccos\left(\frac{2}{\sqrt{6}}\right) = 35^0$$

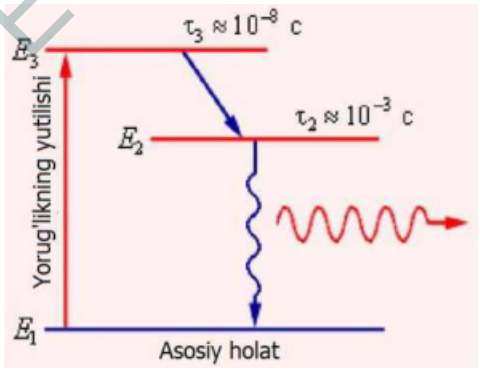
Javob: $\varphi_1 = 145^0;\ \varphi_2 = 110^0;\ \varphi_3 = 90^0;$
$\varphi_4 = 70;\ \varphi_5 = 35^0$



§ 28. YORUG‘LIKNI KUCHAYTIRISH MASALASI. LAZERLAR HAQIDA TUSHUNCHA.

Spontan va majburiy nurlanishlar. Yorug‘likni kuchaytirish masalasi:

Spontan nurlanish (lot. spontaneus — erkin) — atom, molekula va boshqa kvant tizimlarning o‘z-o‘zidan (tashqi majburlovsiz) elektromagnit to‘lqinlar nurlanishidir. Ular uyg‘ongan yuqori energetik holatdan quyi energetik holatlarga o‘z-o‘zidan o‘tishi jarayonida vujudga keladi. Xususan, atomlarning uyg‘ongan holatdagi soni *e* marta kamayguncha o‘tgan vaqtga uyg‘ongan holatning yashash vaqti deb ataladi va u 10^{-8} — 10^{-9} s oraliqda bo‘ladi. Spontan nurlanishdagi har bir foton energiyasi hν formula orqali ifodalanadi. Majburiy nurlanishlardan faqli ravishda, spontan nurlanish kvant tizimga ta’sir etayotgan tashki elektromagnit nurlanishga bog‘liq bo‘lmaydi (28.1-rasm).



28.1-rasm

Yorug‘lik manbalarining ko‘pchiligi, masalan, issiklik ta’sirida cho‘g‘langan lampa spontan nurlatgich hisoblanadi. Spontan nurlanishda turli yo‘nalishdagi tebranishlar bir-biri bilan juda tez va tartibsiz ravishda almashtirib turadi. Shu sababli spontan nurlanish monoxromatik, kogerent va qutblangan bo‘lmaydi.

Lazerlar haqida tushuncha:

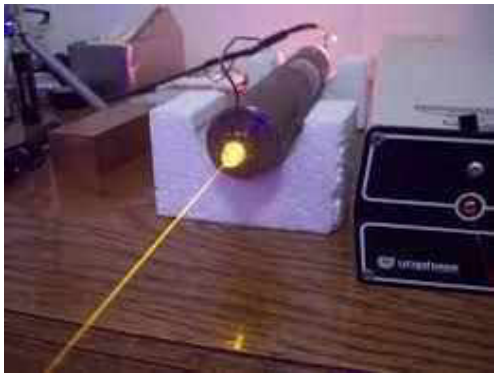
LAZER so‘zi inglizchadan Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation so‘zlarining bosh harflari bo‘lib, u majburiy nurlanish yordamida yorug‘glikning kuchayishi ma’nosini anglatadi. Optik kvant generator — ultrabinafsha, infraqizil va ko‘zga ko‘rinadigan soha diapozondagi nurlanishlarni hosil qiluvchi qurilma bo‘lib, u kvant elektronikadagi asosiy qurilmalardan biri hisoblanadi. Birinchi Lazer 1960 yilda yoqutda amerikalik olim T. Meyman

SINOV UCHUN BERILGAN

tomonidan yaratilgan. Uning ishi atom va molekulalarning majburiy nurlanishiga asoslangan. Lazer har xil energiya (elektr, yorug‘lik, kimyoviy, issiklik va h. k.)ni optik diapozondagi kogerent elektromagnit nur energiyasiga aylantirib beradi. U 3 element — energiya manbai, aktiv muhit (modda), teskari bog‘lanishdan iborat (agar lazer kogerent nurni kuchaytirish uchun xizmat qilsa, teskari boglanish zarur emas). Lazer boshqa yorug‘lik manbalardan kogerentligi, monoxromatikligi, juda kichik burchak ostida yo‘nalganligi bilan, nur quvvatining katta spektral zichlikka, juda yuqori tebranish chastotasiga egaligi bilan farqlanadi. Aktiv muhitga ko‘ra, lazerlar quyidagi guruhlarga bo‘linadi:

1) qattiq jism va suyuqlikdan tayyorlangan lazerlar;
2) gazli lazerlar;
3) yarimo‘tkazgichli lazerlar.

Bulardan tashqari, lazerlarning yana eksimer, kimyoviy va hokoza lazerlar kabi xillari ham bor. Lazerlarda teskari bog‘lanish optik rezonator (ikki ko‘zgu) yordamida amalga oshiriladi. Ko‘zgular orasiga aktiv modda joylashtiriladi. Nur to‘lqini ko‘zgulardan qaytib, yana aktiv moddadan o‘tadi, unda majburiy o‘tishlarni yuzaga keltiradi. Ko‘zgulardan biri qisman shaffof bo‘lib, u cheksiz ko‘p o‘tishlardan keyin kuchaygan nurni tashqariga chiqib ketishiga xizmat qiladi.



28.2-rasm

Lazerning ishlash tamoyilida atom uning tuzilishi muhimdir. Moddalarni tashkil qilgan atomlarni energetik holatlari (orbitali) har xil. Pastki orbitalda zarrasi bo‘lgan atom turg‘un, yuqori orbitalda zarrasi bo‘lgan atom beqaror bo‘ladi. Yuqori orbitalda zarra uzoq turmaydi. Ma’lum vaqt o‘tgach, zarra pastki orbitalga tushib, atom o‘zidan nur chiqaradi. Yuqori energetik holatlar (orbita) dagi o‘z-o‘zidan pastga, ya’ni, energetik turg‘unroq holatga tushmasa, uni «turtib» tushirib yuborishi mumkin. Buni fanda ***majburiy nurlatish*** deyiladi. Tog‘ ustidan pastga yumalatilgan bitta tosh bir necha toshni yumalatib tushirganidek, moddaning bitta zarrasi turtib yuborilsa, barcha orbitalardagi zarralar qo‘zg‘aladi. Atom chiqargan nur bilan yutilgan nur qo‘shilib, ikkitasi to‘rtta, to‘rttasi sakkizta va h. k. lazer nuriga aylanadi. Bu nurlarni kvant generatori (elektr signal kuchaytirgichiga o‘xshab) kuchaytirib, g‘oyat to‘g‘ri yo‘nalgan nur (energiya)ga aylantirib beradi (28.2-rasm).

Energiya manbai (o‘zgarmas tok, yuqori yoki o‘ta yuqori chastotali tok, optik yoki Lazer nuri, elektron nur dastasi) hisobiga aktiv moddadagi elektronlar yuqori (uyg‘otilgan) sathlarga o‘tib, inversiya holati (elektronlar soni yuqori sath *m* da quyi sath *n* dagiga nisbatan ko‘p bo‘ladi) vujudga keladi. Ularga biror energiya

SINOV UCHUN BERILGAN

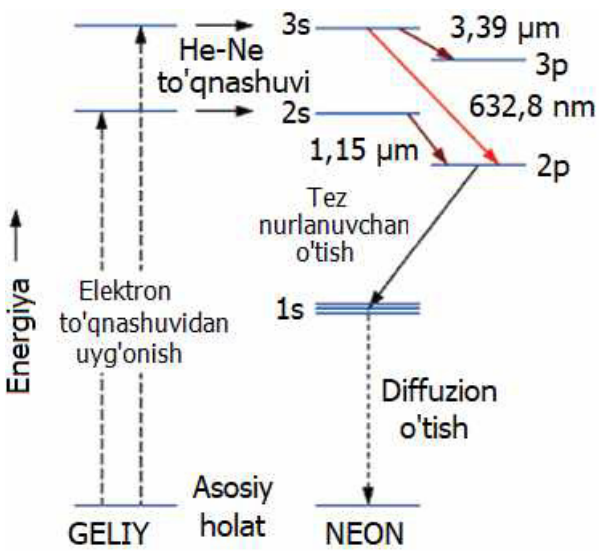
manbai bilan ta’sir ettirilsa (masalan, yorug‘lik nuri), aktiv modda ishga tushadi. Bunda elektronlarga berilgan energiya bir necha ming marta ko‘payadi va shu onda Lazer nuri shaklini oladi. Bundan tashqari, Lazer nurining qurilmadagi kuchaytirish koeffitsiyenti k_k unda sodir bo‘ladigan energiya yo‘qotishlar koeffitsienti k_y dan ancha katta bo‘lishi kerak. Shu shartlar bajarilganda Lazer nuri generatsiyasi (hosil bo‘lishi)ga erishish mumkin.

Lazer 2 xil ish rejimiga ega. Agar unda uzluksiz energiya manbaidan foydalanilsa, uzluksiz ingichka nur hosil qilish mumkin. Agar manba impulsli energiya bersa, Lazer nur impulslarini beradi.

Lazerlarning turlari haqida tushuncha:

Qattiq jismlardan tayyorlangan Lazerda (mas, yoqutli Lazerda) 0,05% gacha xrom (Sg^{3+}) ionlari (aktivator) qo‘shilgan alyuminiy oksid ($A1_2O_3$) dan tayyorlangan qizil kristall shisha tayoqcha ishlatiladi. Bunda yoqut silindr shaklida bo‘lib, yoqut o‘qining ikki uchiga optik rezonator hosil qiluvchi ko‘zgular joylashtirilgan. Impulsli lampadan chiqayotgan yorug‘lik tebrantirishni vujudga keltiradi. Lampaning yorug‘ligi yoqutga tushganda, xrom ionlari lampadan chiqayotgan radiatsiya spektrining yashil va sariq, qismlarini yutib «uyg‘ongan» aktivlashgan holatga o‘tadi. Natijada nurlanishga tayyor aktiv muhit hosil bo‘ladi va yoqutning o‘qi bo‘ylab ko‘zguga tik yo‘nalgan jala shaklida ko‘payib boruvchi yorug‘lik kvantlari paydo bo‘ladi. Yoqutli lazerlarda generatsiyalanayotgan yorug‘likning quvvati *20 kW* gacha yetadi. Ularning FIK 0,1% dan 10% gacha oraliqda bo‘ladi. Lazer nuri generatsiyasi aktivatorning energiya sathlari orasidan o‘tishiga bog‘liq. Unda hosil bo‘lgan infraqizil nurning to‘lqin uzunligi $\lambda = 0{,}69\mu m$. Qattiq jismli lazerlardan neodim lazerida aktiv modda vazifasini neodim (Nd^{3+}) ionlari qo‘shilgan shisha ($CaWO_4$) tayoqchadan foydalaniladi. Bu lazerlar λ=1,06 μm li infraqizil nur chiqaradi.

Suyuq jismlardan tayyorlangan lazerda aktiv modda o‘rnida «Rodamin-6J», piranin, tripaflavin va boshqalar ishlatiladi. Bo‘yoqni erituvchi sifatida spirt, atseton, toluol va boshqalardan foydalanib, aktiv modda shisha kyuvetaga joylash-tiriladi. Azot lazeri yordamida uyg‘otiladigan bo‘yoq lazerning sxematik tuzilishi ko‘rsatilgan. Gazli lazerda (birinchi gazli Lazer (He-Ne) aralashmasida amerikalik olim A. Javan tomonidan yaratilgan) aktiv muhit gaz (yoki gaz aralashmasi) dan bo‘ladi. Macalan, geliy-neon (Ne—Ne) li aktiv muhit geliy va neon gazlar

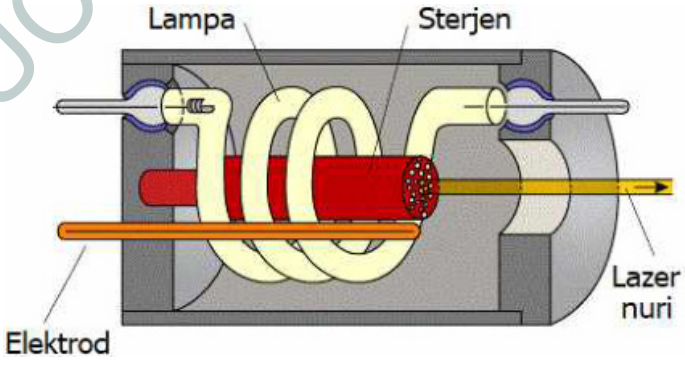


28.3-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

aralashmasidan iborat (28.3-rasm). Gaz aralashmasi elektr razryadi bilan aktivlashgan holatga keladi. Bunday lazerda generatsiya Ne ning sathlar orasidan o‘tishida sodir bo‘ladi. Bunda 3 ta to‘lqin uzunlikdagi nur chiqadi: $\lambda_1=0,63\ \mu m$ (qizil nur), λ_2=1,15 μm va $\lambda_3=3,39\ \mu m$ (infraqizil nurlar). Gazli lazerdan (CO_2+N_2) da $\lambda=10,6\ \mu m$ uzunlikdagi nur chiqadi. Ionli va kimyoviy lazerlar ham gazli lazer hisoblanadi. ionli lazerda aktiv muhit — ionlashgan atomlar, kimyoviy lazerda esa kimyoviy reaksiyalarda «uyg‘ongan» holatga o‘tgan atomlar bo‘ladi (ion sathlarda ishlovchi argon lazeri ko‘k nur chiqaradi) (28.5-rasm). O‘zbekiston milliy universiteti (O‘zMU) ning kvant radiofizika kafedrasida o‘ta yuqori chastota sohasiga oid tranzistorli avtogeneratorlarda ishlovchi ixcham yengil SO_2 lazeri yaratilgan.

Yarimo‘tkazgichli lazerlar, masalan, *GaAs* lazerlarda aktiv muhit yarimo‘tkazgichlardan bo‘ladi. Bunday lazerda muhit optik va elektronlar oqimi yordamida aktiv holatga keltiriladi. Bu turdagi lazerlarda lazer o‘tishlari o‘tkazuvchanlik-valent zonalari va donor-akseptor sathlari orasida bo‘ladi. Bular Lazer diodlari deyiladi. Yarimo‘tkazgichli diod qalinligi *0,1 mm* va yuzasi bir necha mm^2 bo‘lgan kristall plastinkadan iborat. Bu diodlar orqali to‘g‘ri tok o‘tkazilganda elektronlar yuqori zona yoki sathlarga o‘tib, inversiya holati ro‘y beradi. Elektronlar quyi zona (yoki sathlar)ga o‘tganida elektron-kovaklar rekombinatsiyasi natijasida ajralgan energiya hisobiga Lazer nuri generatsiyasi kuzatiladi. GaAs lazeridan chiquvchi infraqizil nurning to‘lqin uzunligi $\lambda=0,84\ \mu m$. Yarimo‘tkazgichli lazer lardan aktiv moddasi *CdS* (ko‘k nur), *CdTe* (qizil, to‘q qizil nur — qirmizi), *CaSb* (qizil; infraqizil nur) bo‘lgan lazerlar mavjud. Yarimo‘tkazgichli lazer larning tuzilishi sodda, o‘lchami kichik va ular uzoq ishlay oladi.



28.4-rasm

Ko‘pchilik lazerlarning ko‘rinishi sxematik ravishda 28.4-rasmdagi kabi bo‘ladi.

Lazerlardan turmushda va texnikada foydalanish:

Lazer turli sohalarda quyidagi keng qo‘llaniladi:

- qattiq jismli lazerlar lazerospektroskopiyasida, lazer texnologiyasi (qattik, jismlarni qirqish, payvandlash, teshish) da, nochizig‘iy optikada;
- gazli lazerlar esa chastota va uzunlikni standartlashda, optik sistemalarni topish va marksheyder ishlarida, lazerlar kimyosida va tibbiyotda;

SINOV UCHUN BERILGAN

- yarimo‘tkazgichli lazerlar ixcham, yengil bo‘lib, optik aloqa sistemalarida, audio va video sistemalarida, tunda ko‘rish qurilmalarida, ma’lumotni optik qayta ishlash va proyeksion lazer televideniesida keng qo‘llanilmoqda.
- kimyoviy lazerlar atmosfera tarkibini nazorat qilish sistemalarida ishlatiladi. Lazerlar kriminalistika, Er ustidagi uzok, masofalarda va suv osti optik aloqasida, nur tolali telefon aloqa sistemalarida, Lazer kompakt-diski yasashda, xirurgik operatsiyalarda, oftalmologiyada, boshqariluvchi termoyadro sintezida va h. k. k. da ishlatiladi.

Undan tashqari lazerlardagi nur quvvati quyidagi tartibda kamayib boradi:

- qattiq jismli lazer;
- suyuq jismli lazer;
- gazli lazer;
- yarimo‘tkazgichli lazerlar.

Nurning ingichkaligi (tor burchak ostida yo‘nalgashgagi) gazli lazerlarda eng yaxshi, yarimo‘tkazgichli lazerlarda esa eng yomon bo‘ladi. Qurilmaning o‘lchamlari, og‘irligi qattiq jismli lazerlarda eng katta, gazli va suyuq jismli lazerlarda o‘rtacha, yarimo‘tkazgichli lazerlarda esa eng kichik bo‘ladi. Turli lazerlar nuri ultrabinafshadan tortib, ko‘zga ko‘rinadigan soha va infraqizil diapazonlarni qamrab oladi.

Mavzu yuzasidan savollar

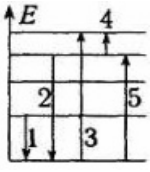
1. Spontan nurlanish nima??
2. Majburiy nurlanish nima?
3. Yorug‘lik qanday qilib kuchaytiriladi?
4. Lazer nima? Uning ishlash prinsipini tushuntiring.
5. Lazerlarning qanday turlari bor?
6. Lazerlardan turmushda va texnikada foydalanish.
7. Lazerlardan harbiy texnikada foydalanish?

VI BOBGA DOIR TESTLAR

1. Atom energiyasi E_m bo‘lgan qo‘zg‘atilgan holatdan energiyasi E_1 bo‘lgan asosiy holatga o‘tganda, undan nurlanadigan kvantning chastotasi qaysi ifodadan aniqlanadi?

A) $\frac{E_m-E_1}{h}$ B) $\frac{E_1}{h}$ C) $\frac{(E_m+E_1)}{h}$ D) $\frac{E_m-E_1}{h}$ E) $\frac{E_m}{h}$

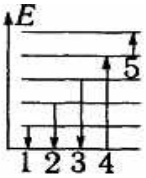
2. Chizmada keltirilgan atomning energetik sathlari orasidagi qaysi o‘tishda eng kichik chastotali foton yutiladi?



A) 1 B) 2 C) 3 D) 4 E) 5
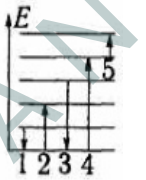
SINOV UCHUN BERILGAN

3. Rasmda atom energetik sathlarining diagrammasi berilgan. Raqamli strelkalar bilan elektronning o‘tishlari belgilangan. Berilgan elektron o‘tishlarining qaysi birida chastotasi eng katta bo‘lgan foton nurlanadi?



A)1 B) 2 C) 3 D) 4

4. Rasmda atom energetik sathlarining diagrammasi keltirilgan. Raqamli strelkalar bilan elektronning o‘tisnlari berilgan. Elektron o‘tishlarining qaysi birida chastotasi eng kichik bo‘lgan foton yutiladi?



A) 5 B) 4 C) 3 D) 2 E) 1

5. Rasmda atomning shartli statsionar elektron orbitalari tasvirlangan. Qaysi orbitada elektronlar eng katta energiyaga ega bo‘ladi? Qaysi orbitada elektronlar eng kichik energiyaga ega bo‘ladi?



A) TJY B) 4-orbitada eng kichik, 1-orbitada eng katta
C) 3-orbitada eng katta, 2-orbitada eng kichik
D) 4-orbitada eng katta, 1-orbitada eng kichik
E) hamma orbitalarda bir xil energiyaga ega bo‘ladi.

6. Tomsonning atom modelidan foydalangan holda o‘zidan $550nm$ to‘lqin uzunligiga ega bo‘lgan nurlanish chiqaradigan atomning radiusi ($\overset{0}{A}$) topilsin.

A) 2,77 B) 1,5 C) 2 D) 3 E) 1,7

7. Tomsonning atom modelidan foydalangan holda ionizatsiya potensiali *13,6 eV* bo‘lgan vodorod atomi radiusi (Å) aniqlansin.

A) 0,16 B) 1,6 C) 0,6 D) 3,6 E) 2,7

8. Rezerford tajribasi yordamida $3 \cdot 10^7$ *m/s* tezlikda harakatlanayotgan α-zarralarning oltin folgada sochilishi kuzatilmofda. Bunda yadroning qanday o‘lchamini olamiz?

A) $1{,}22 \cdot 10^{-14} m$ *B*) $1{,}22 \cdot 10^{-13} m$ *C*) $2{,}1 \cdot 10^{-15} m$ *D*) $2{,}2 \cdot 10^{-10} m$ *E*) $2{,}22 \cdot 10^{-14} m$

9. Atom pastki statsionar holatdan yuqorigi holatga o‘tganda uning energiyasi *8,28 eV* ga o‘zgargan bo‘lsa, qanday chastotali (*THz*) nur yutadi?

A) 80 B) 1650 C) 2000 D) 2300 E) 1400

10. Atomning beshinchi orbitasidagi elektronning impuls momentini toping.

A) $\hbar$ B) $2\hbar$ C) $3\hbar$ D) $4\hbar$ E) $5\hbar$

SINOV UCHUN BERILGAN

11. Atomdagi elektronning 7-orbitasining radiusi $35\overset{0}{A}$ bo‘lsa, ushbu orbitadagi elektronning tezligi (*Mm/s*) topilsin.
A) 0,023 B) 0,23 C) 2,3 D) 3,2 E) 0,32

12. To‘lqin soni $5\cdot10^{6}\,m^{-1}$ bo‘lgan to‘qinning uzunligi (*nm*) topilsin.
A) 80 B) 150 C) 200 D) 200 E) 100

13. Layman seriyasining ikkinchi spektral chizig‘ining chastotasi (*THz*) topilsin.
A) 824 B) 150 C) 1924 D) 924 E) 2928

14. Balmer seriyasining to‘rtinchi spektral chizig‘ining chastotasi (*THz*) topilsin.
A) 2732 B) 320 C) 732 D) 1732 E) 224

15. Pashen seriyasining ikkinchi spektral chizig‘iga mos keluvchi to‘lqin sonini (sm^{-1}) toping.
A) 800 B) 7804 C) 780 D) 1780 E) 3700

16. Breket seriyasining uchinchi spektral chizig‘ining chastotasi (*THz*) topilsin.
A) 138 B) 380 C) 200 D) 480 E) 38

17. Pfund seriyasining ikkinchi spektral chizig‘ining chastotasi (*THz*) topilsin.
A) 35 B) 164 C) 200 D) 64,5 E) 48

18. Vodorod atomining beshinchi energetik sathiga mos keluvchi spektral termni (sm^{-1}) $\left(sm^{-1}\right)$ hisoblang.
A) 480 B) 7889 C) 780 D) 4389 E) 379

19. Vodorod atomining nechanchi energetik sathining spektral termi *3048,25* sm^{-1} bo‘ladi?
A) 5 B) 6 C) 2 D) 1 E) 3

20. Vodorod atomidagi elektronning 7-statsionar orbitasi radiusi ($\overset{0}{A}$) topilsin.
A) 52 B) 25,9 C) 22 D) 18,5 E) 36

21. Vodorod atomidagi elektronning nechanchi statsionar orbitasining radiusi $33{,}86\,\overset{0}{A}$ bo‘ladi?
A) 8 B) 6 C) 2 D) 4 E) 3

22. Vodorod atomidagi elektronning 3-statsionar orbitadagi tezligi (*Mm/s*) topilsin.
A) 5,28 B) 3,28 C) 2,28 D) 0,728 E) 1

23. Vodorod atomining 6-statsionar orbitadagi kinetik energiyasini (*eV*) toping.

SINOV UCHUN BERILGAN

A) 4,8 B) 0,38 C) 2,28 D) 0,78 E) 1,8

24. Vodorod atomidagi elektronning biror statsionar orbitadagi kinetik energiyasi *0,28 eV* bo‘lsa, uning potensial energiyasini (*eV*) toping.

A) -5,6 B) -0,56 C) -3,2 D) -0,32 E) -1,8

25. Impulsi $4,4\cdot10^{-24}\,kg\cdot m/s$ bo‘lgan zarraning de-Broyl to‘lqin uzunligi ($\overset{0}{A}$) topilsin.

A) 0,5 B) 3,5 C) 0,15 D) 2,5 E) 1,5

26. De-Broyl to‘lqin uzunligi $8\overset{0}{A}$ bo‘lgan zarraning impulsini $(kg\cdot m/s)$ toping.

A)$8,28\cdot10^{-25}m$ *B*) $8,28\cdot10^{-15}m$ *C*) $8,28\cdot10^{-24}m$ *D*)$8,28\cdot10^{-22}m$ *E*)$1,28\cdot10^{-25}m$

27. Tezligi $1,5\cdot10^{7}\,m/s$, massasi $4,4\cdot10^{-31}\,kg$ bo‘lgan zarraning de-Broyl to‘lqin uzunligi ($\overset{0}{A}$) topilsin.

A) 5 B) 2 C) 0,15 D) 0,5 E) 1

28. Kinetik energiyasi $8\cdot10^{-19}\,J$ bo‘lgan elektronning de-Broyl to‘lqin uzunligi ($\overset{0}{A}$) topilsin.

A) 0,5 B) 2,5 C) 5,5 D) 2,5 E) 1,5

29. De-Broyl to‘lqin uzunligi $7\overset{0}{A}$ bo‘lgan elektronning kinetik energiyasi (*J*) topilsin. Elektronni klassik zarra deb hisoblang.

A)$4,9\cdot10^{-19}m$ *B*) $9,4\cdot10^{-19}$ *C*) $3,8\cdot10^{-19}$ *D*)$8,28\cdot10^{-22}$ *E*)$4,9\cdot10^{-18}$

VI BOBGA DOIR TOPSHIRIQLAR

1. Tomsonning atom modelidan foydalangan holda o‘zidan *660 nm* to‘lqin uzunligiga ega bo‘lgan nurlanish chiqaradigan atomning radiusi ($\overset{0}{A}$) topilsin.

2. Tomsonning atom modeli bo‘yicha atomning radiusi $3,5\overset{0}{A}$ bo‘lsa, bu atom o‘zidan qanday to‘lqin uzunlikli (*nm*) nurlanish chiqaradi?

3. Tomsonning atom modelidan foydalangan holda o‘zidan *700 THz* chastotali nurlanish chiqaradigan atom ichidagi elektr maydon kuchlanganligi *(V/m)* topilsin. Atom ichidagi elektronning muvozonat vaziyatidan chetlashishi 0,012 Å.

4. Rezerford tajribasi yordamida $2\cdot10^{7}$ *m/s* tezlikda harakatlanayotgan α-zarralarning oltin folgada sochilishi kuzatilmoqda. Ssintillyasiyalar 45^{0} burchak ostida sanalayotgan bo‘lsa, nishonga olish masofasi nimaga teng?

SINOV UCHUN BERILGAN

5. Yuqoridagi masala alyuminiy zari yordamida o‘tkazilayotgan bo‘lsa, nishonga olish masofasi nimaga teng bo‘ladi?

6. Nishonga olish masofasi $b=10^{-14}\ m$ bo‘lganda $10^{7}\ m/s$ tezlikda harakatlanayotgan α-zarralar oltin folgada qanday burchakka sochiladi?

7. Atom yuqorigi statsionar holatdan pastki holatga o‘tganda uning energiyasi $4,5\ eV$ ga o‘zgargan bo‘lsa, qanday chastotali (THz) nurlanish hosil bo‘ladi?

8. Atomning uchinchi orbitasidagi elektronning impuls momentini toping.

9. Atomdagi elektronning oltinchi orbitadagi tezligi $24\ km/s$ bo‘lsa, bu orbitaning radiusini ($\overset{0}{A}$) toping.

10. To‘lqin soni $1,25\cdot10^{6}\ m^{-1}$ bo‘lgan to‘qinning uzunligi (nm) topilsin.

11. Layman seriyasining to‘rtinchi spektral chizig‘iga mos keluvchi to‘lqin sonini (cm^{-1}) toping.

12. Balmer seriyasining uchinchi spektral chizig‘ining chastotasi (THz) topilsin.

13. Pashen seriyasining uchinchi spektral chizig‘iga mos keluvchi to‘lqin sonini (cm^{-1}) toping.

14. Breket seriyasining to‘rtinchi spektral chizig‘ining chastotasi (THz) topilsin.

15. Pfund seriyasining uchinchi spektral chizig‘iga mos keluvchi to‘lqin sonini (cm^{-1}) toping.

16. Vodorod atomining uchinchi energetik sathiga mos keluvchi spektral termni (cm^{-1}) hisoblang.

17. Vodorod atomining nechanchi energetik sathining spektral termi $6859\ sm^{-1}$ bo‘ladi?

18. Vodorod atomidagi elektronning 4-statsionar orbitasi radiusi ($\overset{0}{A}$) topilsin.

19. Vodorod atomidagi elektronning nechanchi statsionar orbitasining radiusi $19\overset{0}{A}$ bo‘ladi?

20. Vodorod atomidagi elektronning 5-statsionar orbitadagi tezligi (Mm/s) topilsin.

21. Vodorod atomining 3-statsionar orbitadagi kinetik energiyasini (eV) toping.

22. Vodorod atomidagi elektronning biror statsionar orbitadagi kinetik energiyasi $3,4\ eV$ bo‘lsa, uning potensial energiyasini (eV) toping.

23. Elektronni vodorod atomidagi ikkinchi orbitadan yadroning tortishish sohasidan chiqarib yuborish uchun qancha ish bajarish kerak?

SINOV UCHUN BERILGAN

24. Vodorod atomi normal holatdan bosh kvant soni 3ga teng bo‘lgan uyg‘otilgan holatga o‘tkazildi. Atom uyg‘otilgan holatdan normal holatga qaytib o‘tishida vodorod spektrida qanday chiziqlar hosil bo‘lishi mumkin?

25. Birinchi Bor orbitasidagi vodorod atomi elektronining 1) aylanish davrini, 2) uning burchak tezligini toping.

26. Vodorod atomining dastlabki g‘alayonlanish potensialini aniqlang.

27. Birinchi Bor orbitasidagi elektronning kinetik, potensial va to‘la energiyasi son qiymatini toping.

28. Impulsi $3{,}3\cdot10^{-24}\,kg\cdot m/s$ bo‘lgan zarraning de-Broyl to‘lqin uzunligi ($\overset{0}{A}$) topilsin.

29. de-Broyl to‘lqin uzunligi $10\,\overset{0}{A}$ bo‘lgan zarraning impulsini $(kg\cdot m/s)$ toping.

30. Tezligi $2\cdot10^{7}\,m/s$, massasi $1{,}65\cdot10^{-31}\,kg$ bo‘lgan zarraning de-Broyl to‘lqin uzunligi ($\overset{0}{A}$) topilsin.

31. Kinetik energiyasi $6{,}8\cdot10^{-19}\,J$ bo‘lgan elektronning de-Broyl to‘lqin uzunligi ($\overset{0}{A}$) topilsin.

32. de-Broyl to‘lqin uzunligi $3\,\overset{0}{A}$ bo‘lgan elektronning kinetik energiyasi (J) topilsin. Elektronni klassik zarra deb hisoblang.

33. 1) $10^{6}\,m/s$ tezlikda uchayotgan elektron uchun; 2) $300\ K$ temperaturada o‘rtacha kvadrat tezlikka teng tezlik bilan harakatlanayotgan vodorod atomi uchun; 3) $1\ sm/s$ tezlikda harakatlanayotgan $1g$ massali shar uchun de-Broyl to‘lqin uzunligini toping.

34. Kinetik energiyasi: 1) $10\ keV$ 2) $1\ MeV$ bo‘lgan elektron uchun de-Broyl to‘lqin uzunligini toping.

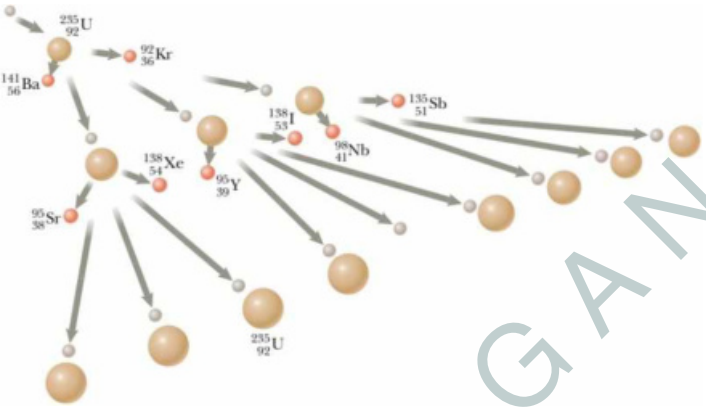
35. $n=2$ bo‘lgan hol uchun ℓ va m kvant sonlarini sanab bering.

36. $\ell=3$ bo‘lganda elektronning impuls momenti va magnit momentining qiymatlatrini toping.

37. $\ell=2$ bo‘lganda elektron impuls momenti va magnit momentning proyeksiyalarini toping.

SINOV UCHUN BERILGAN

VII BOB. YADRO FIZIKASI



Atomning ichki tuzilishga ega ekanligi rad etib bo‘lmas tajribalar bilan tasdiqlangandan keyinb bu atomning yadrosi qandaydir strukturaga egami degan savol olimlarni qiziqtirib qo‘ydi. Ayniqsa, radioaktiv nurlanish va yemirilishlar kashf etilgandan keyin bu nurlanishlar atom qobiqlaridan emas, balki uning yadrosidan kelayotganligi ma’lum bo‘di. Yadroda ham xuddi elektron qobiqlardagi kabi qandaydir bir qo‘zg‘algan holatlar bo‘lar ekanki, bu holatda yadro nur chiqarish xususiyatiga ega bo‘lar ekan. 1932-yilda Chedvik neytronni kashf qilgandan keyin yadroning hozirgi kundagi proton-neytronli tuzilishga ega egaligi va ularning massasi deyarli atom massasini tashkil etilishi aniqlandi. Ushbu bobda atom yadrosining xarakteristikalari, yadroviy yemirilishlar va ularning turlari, yadro va termoyadro reaksiyalari va yadro energetikasidan tinchlik maqsadida foydalanish kabi mavzularga to‘xtalib o‘tamiz.

§ 29. RADIOAKTIVLIK. YEMIRILISH VA UNING TURLARI. SILJISH QOIDASI. RADIOAKTIV YEMIRILISH QONUNI. NURLANISH AKTIVLIGI VA DOZASI

Radioaktivlikning kashf etilishi:

1896 yili fransuz olimi A.Bekkerel uran tuzlari yaqinida tortmada turgan fotoplastinkalar kuyib yaroqsiz holga kelib qolganini guvohi bo‘ldi. Dastlab buni sababini anglamagan bo‘lsa-da, keyinchalik plyonkalar kuyib qolishini asosiy sababi uran tuzlari ekanini aniqladi. Xuddi shuningdek, uranning turli birikmalari yoki sof uran elementini o‘zi ham bir xil noma’lum nurlar chiqarib fotoplastinka kuyishiga sababchi bo‘lar ekan. Uran elementi molekula holda, birikma tarkibida yoki yakka atom holda bo‘lishidan qat’iy nazar, bir xil nurlanar ekan. Bu narlanish intensivligiga hech qanday tashqi ta’sirlar (bosim, temperatura, elektr va b.) o‘z ta’sirini ko‘rsatolmas ekan. Keyinchalik fotoplastinkani kuydiradigan bunday nurlar boshqa elementlar (toriy, radiy, poloniy) tomonidan ham chiqarilishini Pyer Kyuriy va Mariya Kyuriy-Skladovskayalar tomonidan aniqlandi.

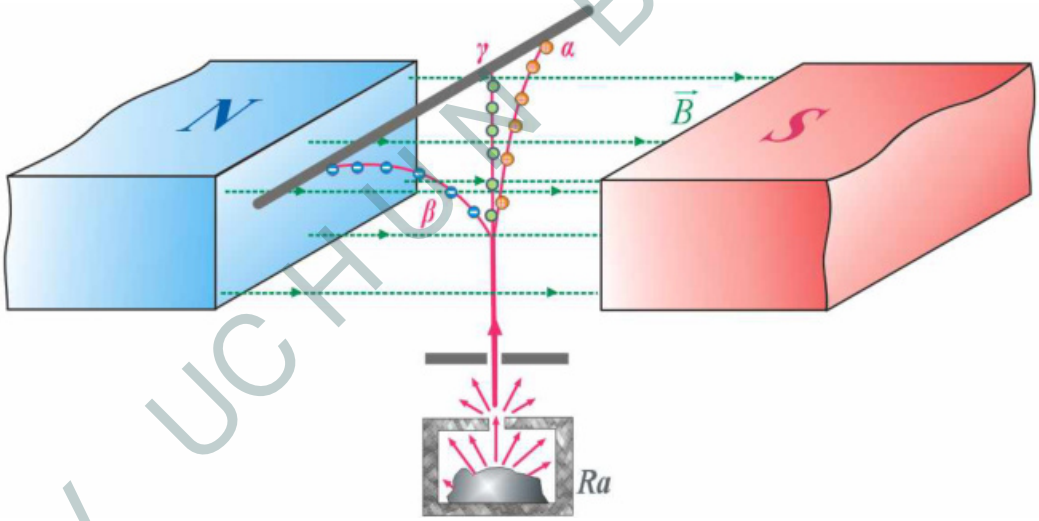
Moddaning o‘z-o‘zidan (spontan) nur chiqarish hodisasiga radioaktivlik deyiladi.

Keyinchalik radioaktiv nurlarning kelib chiqish sababi, uning boshqa jismlarga ta’siri va boshqa xossalri keng o‘rganildi. Jumladan, radioaktiv nur dastasiga

SINOV UCHUN BERILGAN

magnit maydoni ta’sir ettirilganda bu dasta uchta dastaga ajralishi aniqlandi (29.1-rasm). Birinchi turdagi nurlar dastlabki yo‘nalishidan chap tomonga, ikkinchi turdagi nurlar o‘ng tomonga og‘ganligi va uchinchi turdagi nurlar esa og‘masdan to‘g‘ri chiziq hosil qilgani aniqlandi. Birinchi turdagi nurlarni α-nurlar deb, ikkinchi turdagi nurlarni β-nurlar deb va uchinchi turdagi nurlarni esa γ-nurlar deb ataldi. Ma’lumki, magnit maydonida faqat zaryadli zarralar og‘adi. Bundan esa α- va β-nurlar qarma-qarshi ishorali zaryadli zarralar oqimi, γ-nurlar zaryadsiz zarralar oqimi degan xulosa kelib chiqadi.

Radioaktivlikni har tomonlama o‘rganish natijalari shuni ko‘rsatdiki, α-nurlar mubat zaryadli α-zarralar oqimi, β-nurlarni manfiy zaryadli β-zarralar oqimi hamda γ-nurlarni qisqa elektromagnit to‘lqinlari ekan. α- va β-zarralarni magnit maydonida og‘ishidagi egrilik radiusiga qarab dastlab bu zarralarning solishtirma og‘irligi, so‘ngra zaryadi va massasi aniqlandi. Tajribalar natijasiga ko‘ra α-zarralar – bu taxminan $\sim 20000\,km/s$ tezlik bilan harakatlanuvchi geliy yadrolari, β-zarralar – bu taxminan yorug‘lik tezligiga yaqin tezlikda harakatlanuvchi elektronlar oqimi ekan.



29.1-rasm

Shunday qilib, ba’zi bir tabiiy va sun’iy kimyoviy elementlar atomlarining o‘z-o‘zidan α-, β-zarrachalar va γ-kvantlar chiqarib, boshqa kimyoviy elementlar atomlariga aylanishiga radioaktivlik deyilar ekan. Bunda *α-nurlar,* geliy atomining yadrolari bo‘lib, $\sim 10^7\,m/s$ tezlik bilan chiqadi. *β-nurlar* tez harakatlanuvchi elektronlar oqimi bo‘lib, tezligi $\sim 10^8\,m/s$ dan $\sim 0{,}999\,c$ tezlikkacha yetadi. *γ-nurlar* esa to‘lqin uzunligi $10^{-11}-10^{-13}\,m$ bo‘lgan rentgen nurlaridan ham qisqa elektromagnit to‘lqinlardan iborat.

M.Kyuriy va P.Kyuriylar ikkita radioaktiv elementni – radiy va poloniyni aniqladilar. Poloniy elementiga M.Kyuriy vatani Polsha sharafiga shunday nom berildi. Radiyning radioaktivligi urannikidan million marta katta edi. Spektral analiz yordamida 1908 yilda Rezerford radioaktiv gazni – radonni aniqladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Keyinchalik ma'lum bo'ldiki, Mendeleyev davriy sistemasining 84-elementi poloniydan keyingi barcha elementlar o'zidan radioaktiv nur chiqarar ekan.

Radioaktivlikning kashf etilishi fiziklar oldiga yangi "bu nurlanish qanday paydo bo'ladi" degan savol qo'ydi. Ayniqsa, bu nurlanishning spontanligi juda hayratlanarli edi. Olimlar Rezerford va Soddi 1903-yilda atomlar o'z-o'zidan yemirilishidan radioaktiv nurlanish paydo bo'ladi degan gipotezani o'rtaga tashladilar. Unga ko'ra radioaktiv elementlarning yadrolari vaqti-vaqti bilan goh unisi, goh bunisi radioaktiv yemirilish natijasida nurlar chiqarib turadi. Demak, radioaktiv element yadrolari oddiy elementlarning yadrolaridan farqli ravishda ular turg'un bo'lmasdan, bu yadrolarda vaqti-vaqti bilan yemirilishlar bo'lib turar ekan. Bu yemirilishlar natijasida yadrodan α-, β-zarrachalar va γ-kvantlar chiqib turar ekan.

Radioaktiv yemirilish turlari, yemirilishlarda siljish qoidalari:

Radioaktiv yadrolarni o'zidan biror zarralarni chiqarib boshqa yadroga aylanish protsessiga ***radioaktiv yemirilish*** deyiladi. Bu protsessda yadroning zaryadi va massa soni o'zgarishi yoki o'zgarmasligi mumkin. Radioaktivlikka duchor bo'lgan yadroni birlamchi yoki ona yadro deb, yemirilish natijasida hosil bo'lgan yadroni esa ikkilamchi yoki bola yadro deyiladi.

Atom α- va β-nurlar chiqarib, boshqa elementga aylanishiga α- va β-yemirilishlar deyiladi. γ-yemirilish so'zi esa ishlatilmaydi, chunki α- va β-yemirilishning o'zida γ- nurlanish ham bo'ladi. α- va β- yemirilishlar haqida alohida-alohida to'xtalib o'taylik.

1. α-yemirilish

α-zarralar – bu taxminan $\sim 20000\,km/s$ tezlik bilan harakatlanuvchi geliy yadrolari ekanligini aytgan edik. Yadrodan juda katta $(4-9\,MeV)$ energiya bilan chiqqan bu geliy atomi yadrolari yo'lda uchragan moddani ionlashtirib tashlaydi. Normal sharoitda havoda *1 sm* yo'lda o'rtacha 50 000 juft ion hosil qiladi. α-zarraning havoda erkin yugurish yo'li *2–12 sm* oralig'ida bo'lsa, qattiq jismlarda esa bir necha mikrometrga yetadi.

O'zidan α-zarra chiqargan X yadro spontan yemirilib boshqa Y yadroga aylanadi. Natijada, yadroning davriy sistema bo'yicha bir necha katakka siljishi sodir bo'ladi. α-yemirilishda siljish qoidasi quyidagicha bo'ladi:

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He \qquad \textbf{(29.1)} $$

Yuqoridagi siljish formulasidan shunday xulosa qilish mumkin ekan:

α-yemirilishda yadro 2e ga teng musbat zaryadni yo'qotadi va protonlar soni 2 taga kamayadi , yadro massasi 4 atom massa birligiga kamayadi, element davriy sistemaning boshiga qarab 2 ta katakka siljiydi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Masalan, Poloniy $\left({}^{210}_{86}Po\right)$ yadrosi spontan yemirilish natijasida o‘zidan α-zarra $\left({}^{4}_{2}He\right)$ chiqarib qo‘rg‘oshin $\left({}^{206}_{84}Pb\right)$ yadrosiga aylanar ekan (29.2-a,rasm).

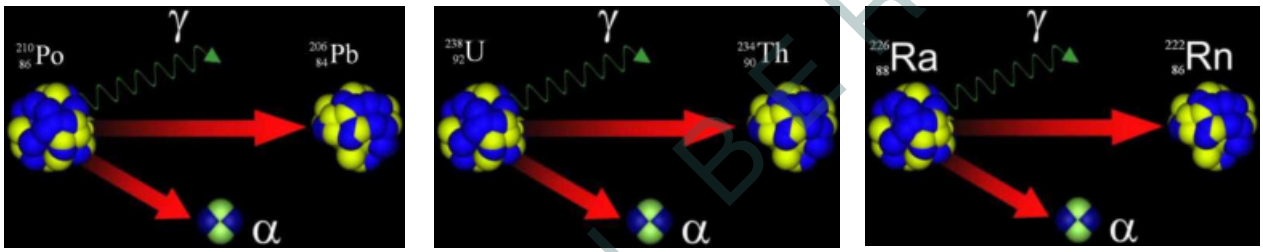
$$^{210}_{86}Po \rightarrow {}^{206}_{84}Pb + {}^{4}_{2}He + \gamma$$

α-yemirilishga yana boshqa misol keltiramiz. Uran $\left({}^{238}_{92}U\right)$ yadrosi spontan yemirilish natijasida o‘zidan α-zarra $\left({}^{4}_{2}He\right)$ chiqarib Toriy $\left({}^{234}_{90}Th\right)$ yadrosiga aylanar ekan (29.2-b,rasm).

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He + \gamma$$

Xuddi yuqoridagi kabi radiy $\left({}^{226}_{88}Ra\right)$ yadrosi spontan yemirilish natijasida o‘zidan α-zarra $\left({}^{4}_{2}He\right)$ chiqarib radon gazi $\left({}^{222}_{86}Rn\right)$ yadrosiga aylanar ekan (29.2-s,rasm).

$$^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He + \gamma$$



a) *b)* *s)*

29.2-rasm

α-yemirilish energiya chiqarish yoki energiya yutish orqali borish mumkin. Lekin, ko‘pincha energiya chiqishi bilan boradi. Shuni eslatib o‘tish kerakki, yemirilish jarayonida zaryad va massa saqlanadi. Reaksiya tenglamasida tenglamaning quyi indekslar yig‘indisi o‘zaro teng, shuningdek, yuqori indekslar yig‘indisi ham o‘zaro teng bo‘ladi.

2. β-yemirilish

β-nurlar yorug‘lik tezligiga yaqin tezlikda harakatlanuvchi elektronlar oqimi ekanligini aytib o‘tgan edik. Ularning energiyasi ancha katta bo‘lib *2,3 MeV* gacha yetadi. Bu energiya elektronning tinchlikdagi energiyasidan ham taxminan *5* marta kattadir. Moddaga tushganda α-zarraga nisbatan ancha kam ion (50 juftgacha ion) hosil qilgani uchun β-zarralarning erkin yugurish yo‘li α-zarralarnikiga nisbatan ancha katta bo‘ladi. β-zarralarning erkin yugurish yo‘li metallarda *3 mm* atrofida bo‘lib, havoda esa bir necha yuz metrga yetishi mumkin.

O‘zidan β-zarra chiqargan X yadro spontan yemirilib boshqa Y yadroga aylanadi. Natijada, yadroning davriy sistema bo‘yicha bir katakka siljishi sodir bo‘ladi. β-**y**emirilish uch xil bo‘lish mumkin. β-yemirilishning uchala turida ham yadroning massa soni o‘zgarmaydi. Lekin, yadro zaryadi bir birlikka o‘zgaradi.

2.1) β^- -yemirilish.

SINOV UCHUN BERILGAN

Yemirilishning bu turi elektronli yemirilish deb atalib, bu yemirilish uchun siljish qoidasi quyidagicha bo‘ladi:

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + e^{-} + \bar{\nu} \qquad (29.2) $$

β^- -yemirilishda yadrodan bitta elektron ajralib chiqadi, ya’ni yadrodagi bitta neytron proton, elektron va antineytrino (og‘ir massali foton) ga aylanadi.

$$ n \rightarrow p + e^{-} + \bar{\nu} \qquad (29.2a) $$

Yuqoridagi siljish formulasidan shunday xulosa qilish mumkin ekan:

β^--yemirilishda yadro e ga teng manfiy zaryad yo‘qotadi va protonlar soni 1 taga ortadi, yadro massasi deyarli o‘zgarmaydi, element davriy sistemaning oxiriga qarab 1 ta katakka siljiydi.

Masalan, osmiy $\left({}^{191}_{76}Os\right)$ yadrosi spontan yemirilish natijasida o‘zidan β^- -zarra, ya’ni elektron $\left({}^{0}_{-1}e\right)$ chiqarib qo‘rg‘oshin $\left({}^{191}_{77}Ir\right)$ yadrosiga aylanadi (29.3-a,rasm).

$$ {}^{191}_{76}Os \rightarrow {}^{191}_{77}Ir + e^{-} + \gamma $$

β^- (elektronli) yemirilishga yana boshqa misollar keltiramiz.

$$ {}^{94}_{37}Rb \rightarrow {}^{94}_{38}Sr + e^{-} + \gamma \qquad {}^{140}_{55}Cs \rightarrow {}^{140}_{56}Ba + e^{-} + \gamma $$

$$ {}^{94}_{38}Sr \rightarrow {}^{94}_{39}Y + e^{-} + \gamma \qquad {}^{140}_{56}Ba \rightarrow {}^{140}_{57}La + e^{-} + \gamma $$

$$ {}^{94}_{39}Y \rightarrow {}^{94}_{40}Zr + e^{-} + \gamma \qquad {}^{140}_{57}La \rightarrow {}^{140}_{58}Ce + e^{-} + \gamma $$

2.2) β^+ -yemirilish.

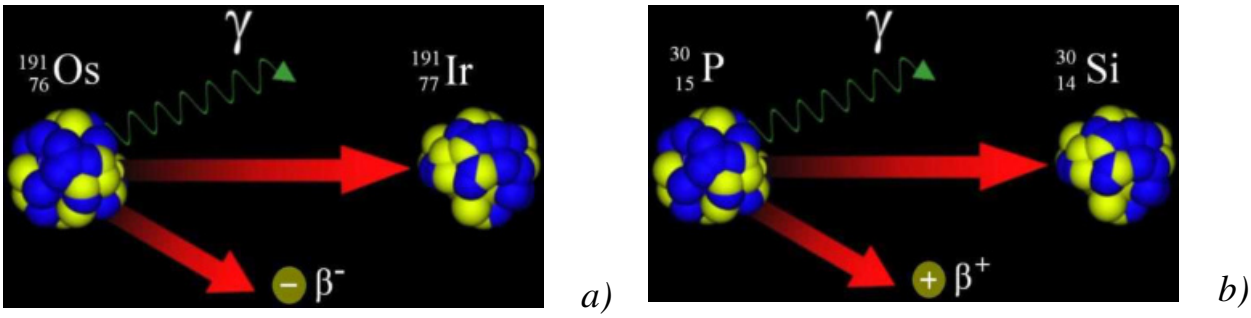
Yemirilishning bu turi pozitronli (elektronning antizarrasi) yemirilish deb atalib, bu yemirilish uchun siljish qoidasi quyidagicha bo‘ladi:

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + e^{+} + \nu \qquad (29.3) $$

β^+ -yemirilishda yadrodan bitta pozitron (massasi elektron massasiga teng bo‘lgan musbat zaryadli zarracha) ajralib chiqadi, ya’ni bitta proton neytron, pozitron va neytrinoga aylanadi.

$$ p \rightarrow n + e^{+} + \nu \qquad (29.3a) $$

β^+-yemirilishda yadro e ga teng musbat zaryad yo‘qotadi va protonlar soni 1 taga kamayadi, yadro massasi deyarli o‘zgarmaydi, element davriy sistemaning boshiga qarab 1 ta katakka siljiydi.



a) *b)*

29.3-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Masalan, fosfor $\left({}^{30}_{15}P\right)$ yadrosi pozitronli yemirilish natijasida o‘zidan bitta pozitron $\left({}^{0}_{+1}e\right)$ chiqarib kremniy $\left({}^{30}_{14}Si\right)$ yadrosiga aylanar ekan (29.3-b,rasm).

$$ {}^{30}_{15}P \rightarrow {}^{30}_{14}Si + {}^{0}_{1}e + \gamma $$

2.3) elektron yutish.

Yemirilishning elektron qamrash yoki elektron yutish deb ataluvchi turida siljish qoidasi quyidagicha bo‘ladi:

$$ {}^{A}_{Z}X + e^{-} \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + \nu \qquad (29.4) $$

β-yemirilishning uchinchi turi-elektron yutish jarayonida yadro o‘ziga eng yaqin elektron qobiqdagi (asosan K-qobiqdagi) elektronni yutadi. Bu elektron yadrodagi biror proton bilan qo‘shilib, neytron va neytrinoga aylanadi.

$$ p + e^{-} \rightarrow n + \nu \qquad (29.4a) $$

Elektron yutishda yadro e ga teng musbat zaryad yo‘qotadi va protonlar soni 1 taga kamayadi, yadro massasi deyarli o‘zgarmaydi, element davriy sistemaning boshiga qarab 1 ta katakka siljiydi.

Elektron yutish hodisasi keyingi *L*-, *M*- , ... qobiqlar elektronlari bilan deyarli sodir bo‘lmaydi.

Radioaktiv yemirilish natijasida hosil bo‘lgan bola yadroning o‘zi ham yana radioaktiv element bo‘lishi mumkin. Shuning uchun, radioaktiv yemirilish jarayoni, odatda turg‘un element bilan tugallanadigan radioaktiv elementlar zanjirini hosil qiladi. Elementlarning bunday zanjiriga ***radioaktiv oila*** deyiladi. Hozirgi vaqtda to‘rtta radioaktiv oila bor: 1) Uran oilasi; 2) Aktiniy oilasi; 3) Toriy oilasi; 4) Neptuniy oilasi.

Radioaktiv yemirilish qonuni:

Hisoblarning ko‘rsatishicha juda uzoq yashovchi uran ${}^{238}_{92}U$ izotopining *1 mg* massasida taxminan $2{,}5\cdot10^{18}$ ta atom bo‘lib, har sekundda ulardan 12 tasi o‘zidan α-zarra chiqarish hisobiga yemirilishga uchrab toriy ${}^{234}_{90}Th$ izotopiga aylanar ekan. Lekin, keyingi sekundda yana qaysi 12 ta yadro yemrilishiga uchrashini ayta olmaymiz. Faqat har sekundda yemiriladigan yadrolar soni $\left(\frac{dN}{dt}\right)$ berilgan namunadagi jami yadrolar soni N ga to‘g‘ri proporsional ekanini ayta olamiz. Demak, $\frac{dN}{dt} \sim N$ bo‘lar ekan. Proporsionallikdan tenglikka o‘tish uchun nurlanishni xarakterlovchi konstanta kirgizamiz.

$$ \frac{dN}{dt} = -\lambda N \qquad (29.5) $$

Bu yerda: λ – yemirilsh doimiysi bo‘lib, u radioaktiv element turiga bog‘liq, $[\lambda] = [c^{-1}]$. Yemirilish doimiysi *1s* vaqt ichida radioaktiv yadrolarning qancha qismi

SINOV UCHUN BERILGAN

yemirilishini bildiradi. Tenglikdagi (-) ishora yemirilish sodir bo‘lganda jami yadrolar soni kamayishini bildiradi.

Yuqoridagi differensial tenglamani yechib, radioaktiv yemirilish tenglamasini hosil qilamiz.

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \qquad (29.6)$$

Buni quyidagicha isbotlaymiz: differensial tenglmadan $\frac{dN}{N} = -\lambda\, dt$ ni aniqlab, uni integrallash orqali $\ln N - \ln N_0 = -\lambda t$ ekanligini topamiz. Bundan

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t, \rightarrow \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}, \rightarrow N = N_0 e^{-\lambda t}$$

so‘ralgan kattalik kelib chiqadi.

Yuqoridagi radioaktiv yemirilish tenglamasi yemirilmay qolgan yadrolar sonini aniqlab beradi, ya’ni N_0 – dastlabki yadrolar soni, N – t vaqt o‘tgandan keyingi yadrolar soni.

Agar yuqoridagi ifodada $t = 1/\lambda$ bo‘lsa, u holda $N = \frac{N_0}{e}$ bo‘lar ekan. Bu vaqtni ***o‘rtacha yashash vaqti*** deyiladi va τ harfi bilan belgilanadi.

Yemirilish doimiysi va o‘rtacha yashash vaqti orasidagi bog‘lanish quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \qquad (29.7)$$

O‘rtacha yashash vaqti shunday vaqtki, bu vaqtda yadrolar soni $e = 2{,}718182...$ marta kamayadi.

Radioaktiv elementlar uchun o‘rtacha yashash vaqtidan tashqari yana bir vaqt bor ekanki, bu vaqt davomida yadrolarning teng yarmi yemirilib boshqa yadroga aylanar ekan.

Har bir radioaktiv modda uchun aniq vaqt intervali mavjud bo‘lib, shu vaqt davomida aktivlik ikki marta kamayadi va bu vaqtni yarim yemirilish davri deyiladi.

Agar *t=0* vaqtda radioaktiv elementning yadrolar soni $N = N_0$ ga teng bo‘sa, *t=T* vaqt (bitta yarim yemirilish davri) o‘tgach atomlar soni $N_0/2$ ga teng bo‘ladi, *t=2T* vaqt o‘tgach esa $N = N_0/4$ ga teng bo‘ladi va hokozo. Radioaktiv moddalar uchun ixtiyoriy t vaqt o‘tgach yadrolar sonini topish uchun radioaktiv yemirilishning asosiy qonuni – yarim yemirilish qonuni quyidagicha bo‘ladi:

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}} \qquad (29.8)$$

Bu yerda: N_0 – dastlabki yadrolar soni, N – yemirilmay qolgan yadrolar soni.

SINOV UCHUN BERILGAN

Yemirilish doimiysi, o‘rtacha yashash vaqti va yarim yemirilish davri orasida quyidagicha bog‘liqlik mavjud:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{\ln 2} \qquad (29.9)$$

Buni quyidagicha isbotlaymiz: radioaktiv yemirilish va yarim yemirilish tenglamalari $N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}} = N_0 e^{-\lambda t}$ ni tenglashtirishdan so‘ralgan bog‘lanishni aniqlaymiz. Hosil bo‘lgan $2^{-\frac{t}{T}} = e^{-\lambda t}$ ifodada $t=\tau$ desak, u holda ushbu

$$2^{-\frac{\tau}{T}} = e^{-\lambda \tau},\ \rightarrow\ 2^{\frac{\tau}{T}} = e^{1},\ \rightarrow\ 2^{\frac{\tau}{T}} = e,\ \rightarrow\ \frac{\tau}{T} = \log_2 e = \frac{1}{\ln 2},\ \rightarrow\ \tau = \frac{T}{\ln 2}$$

aniqlanish kerak bo‘lgan ifoda kelib chiqadi.

Yemirilish natijasida boshqa yadroga aylangan yadrolar soni quyidagicha bo‘ladi:

$$\Delta N = N_0 - N = N_0\left(1 - 2^{-\frac{t}{T}}\right) \qquad (29.10)$$

Yuqoridagi formuladan radioaktiv elementning yarim emirilish davri T quyidagicha topiladi:

$$T = \frac{t}{\log_2 (N_0 / N)} \qquad (29.11)$$

Agar radioaktiv moddaning atomlar soni t vaqt o‘tgach $k\left(k = N_0 / N\right)$ marta kamaygan bo‘lsa, u xolda moddaning yarim emirilish davri quyidagicha topiladi:

$$T = \frac{t}{\log_2 k} \qquad (29.12)$$

Yuqorida aniqlangan λ, τ, T kattaliklarning faqat radioaktiv element turigagina bog‘liq bo‘lib, tashqi ta’sirlarga (yorug‘lik, issiqlik, elektr toki, bosim, elektr va magnit maydonlari) hamda radioaktiv elementning qaysi birikma tarkibida ekanligiga umuman bog‘liq emas.

Nurlanish aktivligi:

Tarkibida radioaktiv elementlar bo‘lgan moddalarga ***radioaktiv preparatlar*** deyiladi. Radioaktiv preparatlarning xarakteristikasi sifatida preparat aktivligi tushunchasi kiritiladi.

Yuqoridagi mavzuda biz radioaktivlik tenglamasini keltirib chiqarishda $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$ ifodadan foydalangan edik. Bunda $A = \frac{dN}{dt}$ deb belgilash kiritsak, ushbu

$$\frac{dA}{dt} = -\lambda A \qquad (29.13)$$

tenglama kelib chiqadi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Yuqoridagi differensial tenglamani yechib, radioaktiv yemirilish uchun aktivlik tenglamasini hosil qilamiz.

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \qquad (29.14)$$

Buni quyidagicha isbotlaymiz: differensial tenglmadan $\frac{dA}{A} = -\lambda\, dt$ ni aniqlab, uni integrallash orqali $\ln N - \ln N_0 = -\lambda t$ ekanligini topamiz. Bundan esa ushbu

$$\ln\frac{A}{A_0} = -\lambda t, \rightarrow \frac{A}{A_0} = e^{-\lambda t}, \rightarrow A = A_0 e^{-\lambda t}$$

so‘ralgan kattalik kelib chiqadi.

Yuqoridagi aktivlik tenglamasi aktivlikning eksponensial holda kamayishini aniqlab beradi, ya’ni A_0 – dastlabki aktivlik, $A - t$ vaqt o‘tgandan keyingi aktivlik.

Radioaktiv preparatning aktivligi vaqt birligi ichidagi yemirilishlar sonini ifodalaydi.

Agar *1 s* vaqt ichida 1ta yemirilish sodir bo‘lsa, bunday preparatning aktivligi *1Bk (Bekkerel)* deyiladi.

$$1Bk = \frac{1\,yemirilish}{1\,sekund} \qquad (29.15)$$

Yadro fizikasiga oid adabiyotlarda aktivlikning kattaroq o‘lchov birliklari *Ku (Kyuriy)* va *Rd (Rezerfordiy)* uchraydi.

Massasi *1 g* bo‘lgan radiyda har sekundda $3{,}7\cdot10^{10}$ ta atom yadrosi yemirilib, bu aktivlikni *1 Ku* deb belgilash qa’bul qilingan.

$$1Ku = 3{,}7\cdot10^{10}\ Bk \qquad (29.16)$$

1 s vaqt ichida 10^6 ta yemirilish sodir bo‘ladigan aktivlikka *1 Rd* deyiladi.

$$1Rd = 10^6\ Bk \qquad (29.17)$$

Nurlanish aktivligi nurlanish manbaiga bog‘liq bo‘lgan kattalik bo‘lsa, manbaga bog‘liq bo‘lmagan nurlanish dozasi deb ataluvchi kattalik ham borki, bu kattalik nurlanishning moddalar yoki tirik organizmlar tomonidan yutilishini xarakterlaydi.

Nurlanish dozasi:

Radioaktiv moddalarning nurlanishi barcha tirik organizmlarga kuchli ta’sir ko‘rsatadi. Organizm hujayralarining hayot faoliyatini izdan chiqarish uchun energiyasi batamom yutilganda jismning temperaturasini 10^{-3} ^{0}C gina ko‘tara oladigan nurlanish kifoya qiladi. Tirik hujayra – ba’zi qismlari hatto salgina buzilganda ham o‘zining normal faoliyatini davom ettira olmay qoladigan murakkab mexanizmdir. Intensivligi juda oz bo‘lgan nurlanishlar ham hujayraga jiddiy shikast yetkazishi va havfli kasalliklar (nur, rak) ni keltirib chiqarishi mumkin. Nurlanish intensivligi katta bo‘lganda tirik organizmlar nobud bo‘ladi, bu

SINOV UCHUN BERILGAN

jarayonda tirik organizm hech qanday og‘riq sezmaydi. Nurlanish xromosomalardagi genlarni nobud qilishi natijasida naslga kuchli ta’sir ko‘rsatadi.

Tirik organizmlarga nurlanishning ta’siri nurlanish dozasi (yutilgan doza) bilan xarakterlanadi. Nurlanayotgan moddaning birlik massasiga to‘g‘ri keluvchi yutilgan ionlovchi nurlanish energiyasi ***nurlanish dozasi*** deyiladi va u *D* harfi bilan belgilanib, quyidagicha topiladi:

$$D = \frac{E}{m} \qquad (29.18)$$

SI sistemasida yutilgan nurlanish dozasi *Grey (Gr)* birligida o‘lchanadi. *1 Gr* nurlantirilayotgan *1 kg* massali moddaga *1 J* ionlovchi nurlanish energiyasi uzatilganda yutilgan nurlanish dozasiga tengdir.

$$1Gr = 1\frac{J}{kg} \qquad (29.19)$$

Tabiiy radiatsiya (kosmik nurlar, atrof muhitning va inson tanasining radiatsiyasi) foni yiliga bir odamga 2 *mGr* nurlanish dozasini beradi. Radiatsion muhofaza bo‘yicha xalqaro komissiya nurlanishlar bilan ishlovchi kishilar uchun mumkin bo‘lgan chegaraviy doza deb 0,05 *Gr* ni belgilagan. Qisqa muddat ichida olingan 3-10 *Gr* nurlanish dozasi o‘limga olib keladi.

Birlik vaqt ichidagi nurlanish dozasiga nurlanish dozasi quvvati (yutilgan doza quvvati) deyiladi.

$$N = \frac{D}{t} \qquad (29.20)$$

Doza quvvati birligi qilib *Gr/s* olingan.

Nurlanish manbaining geometrik o‘lchamlariga va xossalariga bog‘liq bo‘lib, zarra energiyasi va turi uchun bir xil bo‘lgan nurlanish dozasiga ***ekspozitsion doza*** deyiladi. Amalda birliklar sistemasiga kirmaydigan ekspozitsion dozaning *rentgen (R)* deb ataluvchi birligi keng qo‘llaniladi. *1R* deb 0^0C temperatura va *760 mm* simob ust. bosimida 1 sm^3 quruq havoda hosil qilingan har bir ishorali ionlar yig‘indi zaryadi alohida olinganda $3 \cdot 10^{-10}$ *C* ni tashkil qiladigan nurlanish dozasiga aytiladi.

Quruq atmosferaning ionlanish effekti bo‘yicha baholanadigan nurlanishning energetik xarakteristikasi rentgen va γ-nurlanishning ekspozitsion dozasi deyiladi. XBS sistemasida bu doza *Kl/kg* birligida o‘lchanadi. *1 R* bu birlik bilan quyidagicha bog‘langan:

$$1P = 2{,}58 \cdot 10^{-4}\ \text{C}/\ kg \qquad (29.21)$$

Rentgen nurlari yoki γ-kvantlardan boshqa zarralar hosil qilgan nurlanish dozasi rentgenning fizik ekvivalenti, ya’ni fer birligida o‘lchanadi. Normal

SINOV UCHUN BERILGAN

sharoitdagi 1 sm^3 quruq havoda $2{,}08 \cdot 10^3$ ta ionlar juftini hosil qiluvchi ekspozitsion dozaga 1 fer deyiladi.

Yadroviy nurlanishlar moddalarda turli kimyoviy reaksiyalarni yuzaga keltiradi. Bu reaksiyalar mexanizmini quyidagicha tushuntirish mumkin. Yadroviy nurlanish oqimi o‘zi o‘tayotgan muhit molekulalarini uyg‘otishi, ionlashi va dissotsiatsiyalashi mumkin. Bular hisobiga yuzaga kelgan uyg‘ongan molekula va ionlar kimyoviy reaksiyalarga kirishadi. Bunday reaksiyalarda nurlanishga duchor bo‘lmagan molekulalar ham ishtirok qilishi mumkin.

Radiatsion nurlanishdan muhofaza qilishning eng oddiy usuli odamlarni nurlanish manbaidan yetarlicha katta masofaga uzoqlashtirishdir. Hatto havoda yutilishini nazarga olmaganda ham radioaktivlik intensivligi manbagacha bo‘dgan masofaning kvadratiga teskari proporsional ravishda kamayadi. Shuning uchun, radioaktiv preparatli ampulalarni qo‘l bilan ushlab bo‘lmaydi. Ularni uzun dastali qisqichlar bilan ushlash kerak. Nurlanish manbaidan yetarlicha masofaga ketish mumkin bo‘lmagan hollarda nurlanishdan muhofaza qilish uchun yutuvchi materiallardan qilingan to‘siqlardan foydalaniladi.

Mavzu yuzasidan savollar

1. *Radioaktivlik deb nimaga aytiladi? Uni birinchi bo‘lib kim kashf qilga?*
2. *α-, β-, γ-nurlar nima?*
3. *α-emirilishni va undagi siljish qoidasini tushuntiring.*
4. *β-emirilishni, uning turlarini va ulardagi siljish qoidalarini tushuntiring.*
5. *Radioaktiv emirilish qonunini yozing. Yarim emirilish davri, o‘rtacha yashash vaqti va parchalanish doimisi tushuntiring va ularni bog‘lovchi formulalarni yozing.*
6. *Nurlanish aktivligi nima? U vaqtga qanday bog‘langan? Aktivlikning o‘lchov birliklarini aytib bering.*
7. *Nurlanish dozasi nima? Uning o‘lchov birligini ta’riflang.*
8. *Nurlanish dozasi quvvati nima? Uning o‘lchov birligi nima?*
9. *Ekspozitsion doza nima? Uning o‘lchov birligi nima?*

Masala yechish:

1. *Elementning yarim yemirilish davri 70 kun. 35 kundan so‘ng radioaktiv yadrolarning necha foizi qoladi?*

A) 75 B) 50 C) 70 D) 30 E) 60

Berilgan:	*Yechish*
$T = 70\ kun$ $t = 35kun$	*Radioaktiv moddalarning yemirilish qonuniga ko‘ra:* $N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$
N/N_0-?	*bunda* N_0 *– moddadagi dastlabki atomlar soni;* N *– t vaqtdan keyin yemirilmay qolgan atomlar soni;*

SINOV UCHUN BERILGAN

T – yarim yemirilish davri. Radiaktiv moddalarning yemirilish qonunidan

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{2^{\frac{t}{T}}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0{,}7$$

Bo'ladi. Demak 70% i yadro qolar ekan.

Javob: *C)*

2. *Massasi 0,1 mg bo'lgan poloniyning radioaktiv yemirilishida sanagich $3\cdot10^{17}$ ta α-zarra chiqqanligini qayd etdi. Bunda poloniyning massasi 2% kamaydi. Geliy atomi (α-zarra) massasini toping (g).*

Berilgan:	*Yechish:*
$k = 3\cdot10^{17} ta$ $M = 0{,}1\ g;$ $m = 0{,}02M$ $m = ?$	*Demak, berilgan shartga ko'ra* $m = 0{,}02M = km_\alpha$ *bundan* $m_\alpha = \frac{0{,}02M}{k} = 6{,}7\cdot10^{-24} g$ *ekanligi kelib chiqadi.*

Javob: $m_\alpha = 6{,}7\cdot10^{-24} g$

§ 30. ATOM YADROLARINING UMUMIY XARAKTERISTIKASI.

Yadro tuzilishi to'g'risida umumiy tushuncha:

Radioaktivlikning kashf etilishi davriy sistemadagi atom yadrolari murakkab tuzilishga ega ekanligini ko'rsatadi. Rezerford taklif etgan atomning yadro modeliga ko'ra atomning deyarli barcha (99,9 % dan ko'p) massasi juda kichik hajmdagi yadro deb ataluvchi hajmda mujassamlashgan. Masalan, masalalarda ko'p duch keladigan vodorod atomini olaylik. Odatda atom o'lchamlari bilan angsterm $\left(1\overset{0}{A} = 10^{-10} m\right)$ o'lchamidan, yadro o'lchami bilan ishlaganda esa fermi $\left(1 fm = 10^{-15} m\right)$ o'lchamidan foydalaniladi. Shu vodorod atomining o'lchami Bor nazariyasiga ko'ra $d = 1{,}06\overset{0}{A} \approx 1\overset{0}{A}$ bo'ladi. Yadroni turli zarralar bilan bombardimon qilish natijasida olingan natijalarga asosan proton va neytroning o'lchamlari taxminan $d \approx 1\ fm$, turli yadrolarning o'lchamlari esa $d \approx 1–10\ fm$ oralig'ida bo'ladi. Bundan ko'rinib turibdiki, atom va yadro o'lchamlari nisbati $10^4–10^5$ ga teng bo'lsa, ularning hajmlari nisbati esa chiziqli o'lchamlari nisbatining kubiga teng, ya'ni $10^{12}–10^{15}$ ga teng bo'ladi. Agar vodrod atomini diametri $d_{atom} = 40\,sm$, massasi $m_{atom} = 20\,kg$ bo'lgan katta tarvuzga qiyoslasak, uning yadrosini esa diametri $d_{yadro} = 4\,\mu m$, massasi $m_{yadro} = 19{,}989\,kg$ bo'lgan ko'rinmas nuqtaga qiyoslash mumkin bo'ladi. Bundan shunday xulosa qilish mumkinki, tarvuz zichligini $\rho_{atom} \sim 10^3\ kg/m^3$ desak, uning yadrosi zichligini esa $\rho_{yadro} \sim 10^{18}\ kg/m^3$ deyish mumkin. Agar bir dona bug'doy donini g'ovaklarsiz faqat yadrolardan iborat deb faraz qilinsa, uning massasi katta neft tashuvchi tanker kemasidan ham og'ir bo'lar

SINOV UCHUN BERILGAN

edi. Xuddi shuningdek, radiusi *200 m* bo‘lgan sharni yadro deb faraz qilsak, uning massasi Yerning massasi bilan bir xil bo‘lar edi. Umuman olganda, yadro o‘lchami undagi nuklonlar soniga bog‘liq bo‘lib, quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$R = r_0 \sqrt[3]{A} \qquad (30.1)$$

Bu yerda: $r_0 = 1{,}3 - 1{,}4\ fm$ oralig‘ida bo‘lib, bu kattalik turli tajribalar natijasida olingan; A – yadroning massa (nuklon) soni.

Rezerforddan keyin Chadvik, Van-den-Bruk kabi olimlar yadro zaryadini o‘lchashga muvaffaq bo‘ldilar. Ular elementlarning yadro zaryadlari uning davriy sistemadagi tartib raqamini ko‘rsatishini aniqlashdilar. Ximiyaviy elementlarning davriy sistemadagi o‘rni bu elementlarning massasi bilan emas, balki ular yadrosining zaryadi bilan aniqlanar ekan. Davriy sistemada jadval oxiriga qarab bir katakka sijiganda yadro zaryadi ham bir birlikka oshadi. Yadro eng kichik zaryad – elektronning zaryadi $\left(e = 1{,}6021 \cdot 10^{-19}\ C\right)$ ga karrali, ya’ni $q_Z = +e,\ +2e,\ +3e,...,+Ne$ bo‘lgan musbat ishorali zaryadga ega.

1932 yilda Chadvik neytronni kashf qilgandan so‘ng yadro fizikasi gurkirab rivojlandi. O‘sha yili olimlar Ivanenko va Geyzenberglar mustaqil ravishda yadroning hozirgi kundagi proton-neytron modelini qa’bul qilishdilar. Bu modelga ko‘ra yadro Z dona protondan hamda $A–Z$ dona neytrondan tashkil topgan. Keyinchalik proton va neytronlarni bir so‘z bilan nuklonlar (nuklid-yadroga oid degani) deb atash odat tusiga kirdi. Bu yerda: A – yadroning nuklonlar soni, yoki nisbiy atom massasi. Boshqacha aytganda, yadro massasi nisbiy atom massasi $1 m.a.b \approx 1{,}66053 \cdot 10^{-27}\ kg$ dan necha marta og‘ir ekanini ko‘rsatadi. Yadroning massa soni (nuklonlar soni) yadrodagi protonlar va neytronlar soni yig‘indisiga teng bo‘ladi.

$$A = Z + N \qquad (30.2)$$

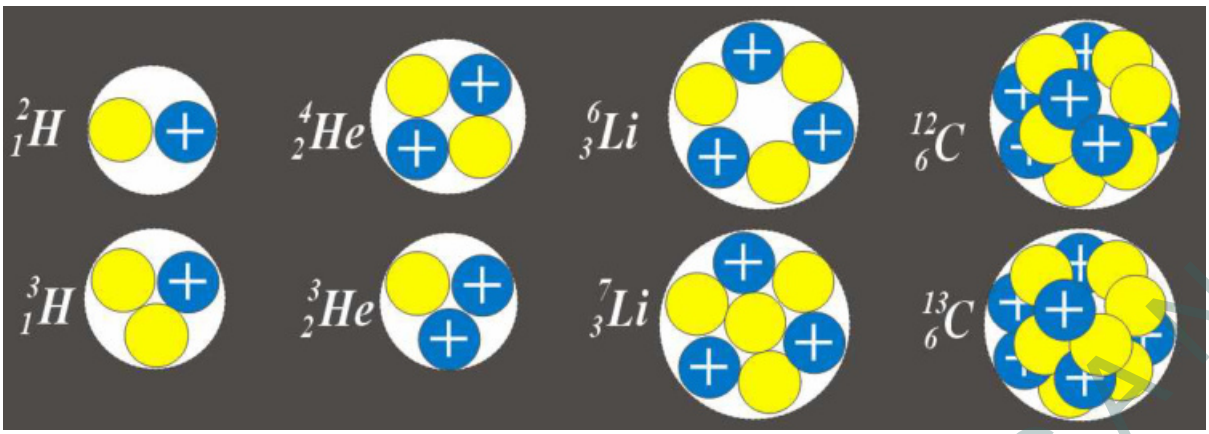
Kimyoviy element atomining yadrosi musbat zaryadlangan proton va elektr zaryadga ega bo‘lmagan neytronlardan iborat. Proton va neytronlarni nuklonlar deb ataladi.

Yadrolarni belgi davriy sistemadagi kabi belgilanib, uning quyi va yuqori indekslariga mos holda zaryad soni va massa (nuklonlar) soni yoziladi.

$$^{A}_{Z}X \qquad (30.3)$$

Bu yerda: X – element, A – yadro massa (nuklon) soni, Z – yadroning zayad soni, $N = A - Z -$ yadrodagi neytronlar soni. Atomlar massasi butun sondan birmuncha farq qiladi. Yadroning *m.a.b* dagi qiymatiga eng yaqin bo‘lgan butun songa yadroning massa soni (nuklonlar soni) *A* deb qa’bul qilingan.

SINOV UCHUN BERILGAN



30.1-rasm

Masalan, massa soni 58 bo‘lgan nikel yadrosi $^{58}_{28}Ni_{30}$, massa soni 238 bo‘lgan uran yadrosi $^{238}_{92}U_{126}$ ko‘rinishida beriladi. 30.1-rasmda ba’zi yengil elementlarning yadrolari tasvirlangan.

30.2-rasmda davriy sistemadagi barcha elementlarning nisbiy atom massalari hamda 30.3-rasmda esa ularning zaryad sonlari (tartib raqamlari) tasvirlangan.

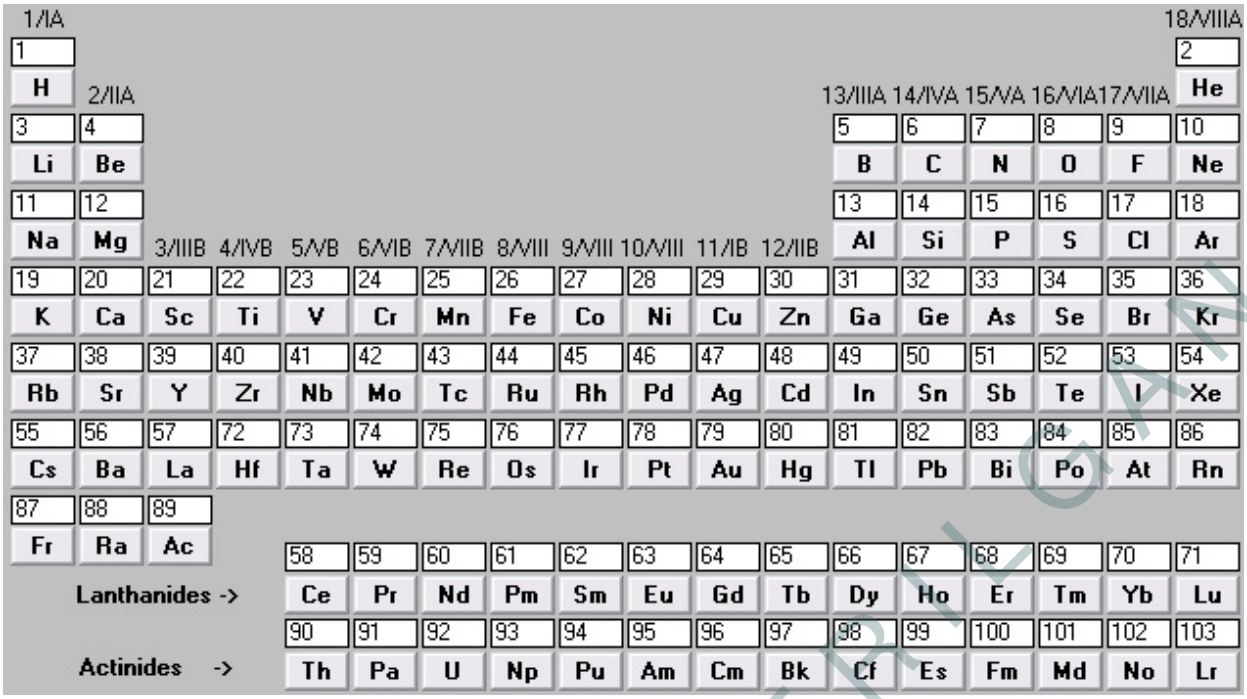
1/IA																	18/VIIIA
1.007																	4.002
H	2/IIA											13/IIIA	14/IVA	15/VA	16/VIA	17/VIIA	He
6.941	9.012											10.81	12.01	14.00	15.99	18.99	20.17
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
22.98	24.30											26.98	28.08	30.97	32.06	35.45	39.94
Na	Mg	3/IIIB	4/IVB	5/VB	6/VIB	7/VIIB	8/VIII	9/VIII	10/VIII	11/IB	12/IIB	Al	Si	P	S	Cl	Ar
39.09	40.07	44.95	47.86	50.94	51.99	54.93	55.84	58.93	58.69	63.54	65.38	69.72	72.61	74.92	78.95	79.90	83.80
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
85.46	87.62	88.90	91.22	92.90	95.94	98.00	101.0	102.9	106.4	107.8	112.4	114.8	118.7	121.7	127.5	126.9	131.2
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
132.9	137.3	138.9	178.4	180.9	183.8	186.2	190.2	192.2	195.0	196.9	200.5	204.3	207.1	208.9	209.0	210.0	222.0
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
223.0	226.0	227.0															
Fr	Ra	Ac															
				140.1	140.9	144.2	145.0	150.3	151.9	157.2	158.9	162.5	164.9	167.2	168.9	173.0	174.9
Lanthanides ->				Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
				232.0	231.0	238.0	237.0	244.0	243.0	247.0	247.0	251.0	252.0	257.0	258.0	259.0	260.0
Actinides ->				Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

30.2-rasm

Shuni ham alohida eslatib o‘tish kerakki, yuqoridagi rasmda berilgan qiymatlar atomlarning nisbiy atom massalaridir. Yadrolarning nisbiy atom massalarini topishda atomning nisbiy atom massasidan elektronlarning nisbiy atom massalarini ayirish kerak bo‘ladi.

$$m_{yadro} = m_{atom} - Z \cdot m_e \qquad \textbf{(30.4)}$$

SINOV UCHUN BERILGAN



30.3-rasm

Atom va yadrolarning massaslarini kilogrammlarda ifodalaganda juda kichik bo‘lgani uchun 1960-yillarda nisbiy atom massasi degan tushuncha kiritiladi. Unga ko‘ra xalqaro kelishuvga asosan uglerodning $^{12}_{6}C$ izotopi massasini roppa-rosa 12,00000 birlikka teng deb, uning 1/12 qism massasini esa *1 m.a.b* deb qa’bul qilingan. *1 m.a.b* ning XBS sistemadagi qiymati va uning tinchlikdagi energiyasi quyidagicha bo‘ladi:

$$1 m.a.b. = 1,66057 \cdot 10^{-27}\, kg, \quad E_0 = 1,494513 \cdot 10^{-10}\, J = 932,905\, MeV \qquad \textbf{(30.5)}$$

Eektron, proton va neytronlarning massalari va tinchlikdagi energiyalari quyidagicha bo‘ladi:

$$\begin{cases} m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}\, kg = 0,0005486\, m.a.b \\ E_e = 8,199 \cdot 10^{-14}\, J = 0,5118\, MeV \end{cases}$$
$$\begin{cases} m_p = 1,67265 \cdot 10^{-27}\, kg = 1,007276\, m.a.b \\ E_p = 1,5054 \cdot 10^{-10}\, J = 939,69\, MeV \end{cases} \qquad \textbf{(30.6)}$$
$$\begin{cases} m_n = 1,675 \cdot 10^{-27}\, kg = 1,008665\, m.a.b \\ E_n = 81,5075 \cdot 10^{-10}\, J = 941\, MeV \end{cases}$$

Agar proton va neytronning massalarini elektron massalari bilan solishtirilsa, ular quyidagi bog‘lanish orqali ifodalanadi:

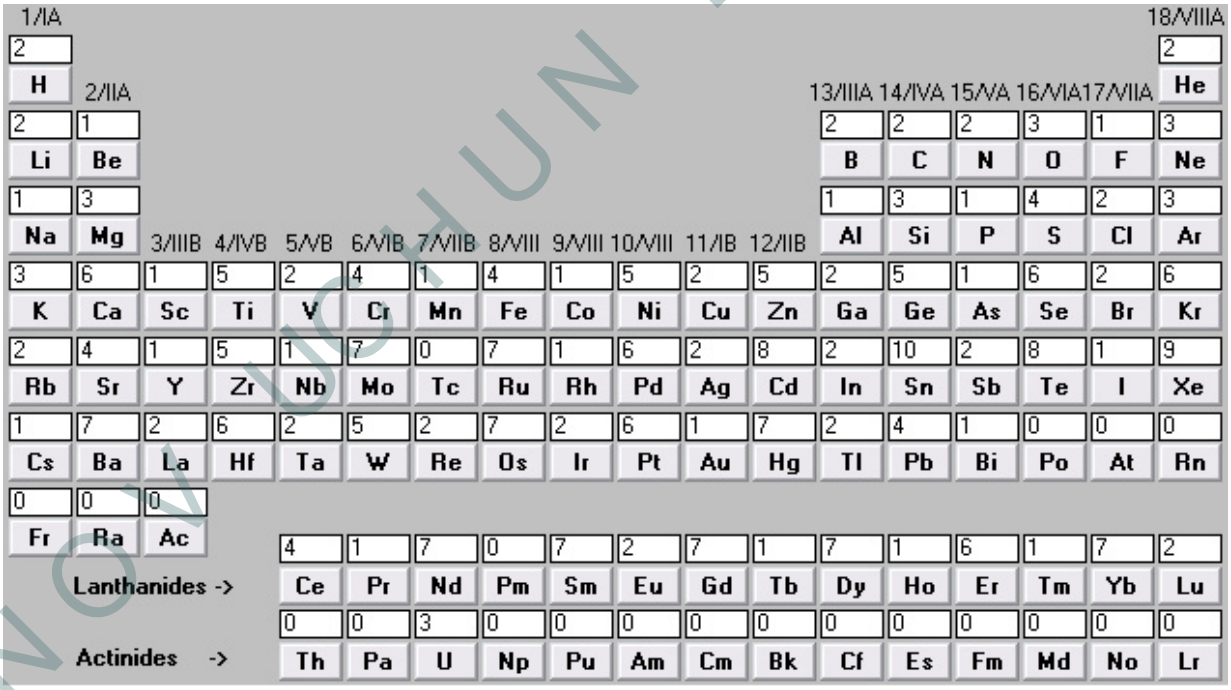
$$m_p = 1836,1 \cdot m_e, \qquad m_n = 1838,6 \cdot m_e \qquad \textbf{(30.7)}$$

Neytronning massasi protonnikidan $2,5 \cdot m_e$ ga kattaroq ekan.

Izotoplar, izobarlar va izotonlar to‘g‘risida tushuncha:

Bir xil zaryad soni (*Ze*) ga, ammo har xil massa soni (*A*) ga ega bo‘lgan bo‘lgan yadolarga ***izotoplar*** deyiladi. Boshqacha aytganda, izotoplarda protonlar soni bir xil, neytronlar soni har xil bo‘ladi. Masalan, tabiiy ravishda vodorordning 2ta ${}_{1}^{1}H, {}_{1}^{2}H$ turg‘un izotopi, litiyning 2ta ${}_{3}^{7}Li, {}_{3}^{6}Li$ turg‘un izotopi, uglerodning 2ta ${}_{6}^{12}C, {}_{6}^{13}C$ turg‘un izotopi, kislorodning 3ta ${}_{8}^{16}O, {}_{8}^{17}O, {}_{8}^{18}O$ turg‘un izotopi, kremniyning 3ta ${}_{14}^{28}Si, {}_{14}^{29}Si, {}_{14}^{30}Si$ turg‘un izotopi, otingugurtning 4ta ${}_{16}^{32}S, {}_{16}^{33}S, {}_{16}^{34}S, {}_{16}^{36}S$ turg‘un izotopi bor. Xuddi shuningdek, boshqa elementlarda ham turg‘un va turg‘un bo‘lmagan izotoplar bor. Davriy sistemadagi har bir elementning nechtadan turg‘un izotoplari borligi 30.4-rasmda keltirilgan.

Turg‘un bo‘lmagan izotoplar radioaktiv yemirilishga uchragani sababli ma’lum muddat yashagach boshqa elementning yadrosiga aylanadi. Masalan, vodorodning protiy ${}_{1}^{1}H$ va deyteriy ${}_{1}^{2}H$ izotoplari turg‘un bo‘lsa, tritiy ${}_{1}^{3}H$ izotopi esa turg‘unmas. Xuddi shuningdek, litiyning ${}_{3}^{5}Li$ izotopi, kislorodning ${}_{8}^{15}O$ izotopi, stronsiyning ${}_{38}^{94}Sr$ izotopi, bariyning ${}_{56}^{140}Ba$ izotopi va boshqa izotoplar turg‘unmas izotoplardir.



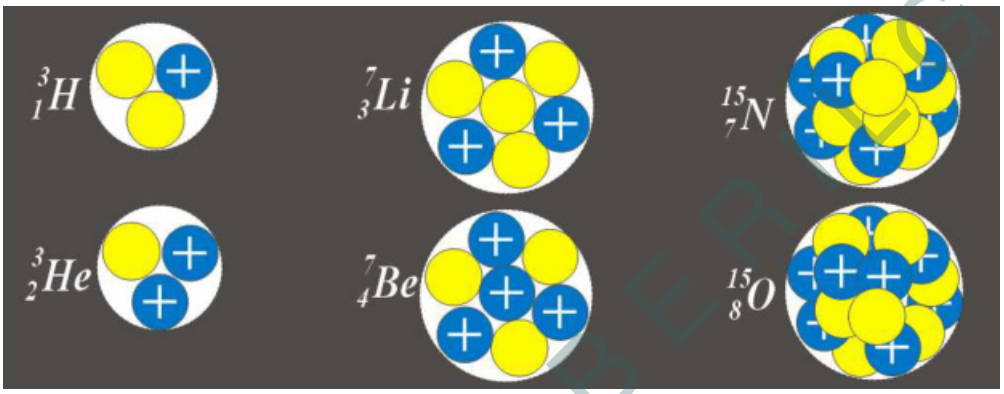
30.4-rasm

Tabiiy holatda izotoplar qazilma rudaning tarkibida aralashma holatda uchraydi. Davriy sistemadagi beriladigan nisbiy atom massasi ana shu aralashmaning nisbiy atom massasidir. Masalan, tabiiy litiy ${}_{3}^{7}Li$ va ${}_{3}^{6}Li$ izotoplarining har xil nisbatdagi aralashmasidan iborat bo‘lib, uning nisbiy atom massasi davriy sistemada 6,941 deb beriladi. Izotoplar bir xil ximiyaviy va optik xususiyatga ega. Haqiqatan ham atomning ximiyaviy va fizik xususiyatlarini massa

SINOV UCHUN BERILGAN

soni emas, balki zaryad soni belgilaydi. Masalan, ${}^{16}_{8}O$, ${}^{17}_{8}O$, ${}^{18}_{8}O$ izotoplarining massalari har xil bo‘lishiga qaramasdan, ular ayni bir elementning atomlaridir. Shuningdek, ${}^{15}_{7}N$ va ${}^{15}_{8}O$ atomlar bir xil massaga ega bo‘lishiga qarmasdan, ular turli ximiyaviy elementlarning atomlaridir.

Bir xil massa soni (A) ga, ammo har xil zaryad soni (Ze) ga ega bo‘lgan bo‘lgan yadolarga ***izobarlar*** deyiladi. Boshqacha aytganda, izobarlarda protonlar soni har xil, neytronlar soni esa har xil yoki bir bo‘ladi. Masalan, ${}^{3}_{1}H - {}^{3}_{2}He$, ${}^{7}_{3}Li - {}^{7}_{4}Be$ hamda ${}^{15}_{7}N - {}^{15}_{8}O$ izobarlari 30.5-rasmda tasvirlangan.



30.5-rasm

Tajribalarning ko‘rsatishicha, $A=36$ dan boshlab massa soni juft bo‘lgan yadrolarning izobarlari juft-juft bo‘lib uchraydi. Masalan, ${}^{36}_{16}S - {}^{36}_{18}Ar$, ${}^{40}_{18}Ar - {}^{40}_{20}Ca$, ${}^{46}_{20}Ca - {}^{46}_{22}Ti$ va boshqa juftliklarni misol qilish mumkin. Davriy sistemada jami 58 ta izobarlar mavjud bo‘lib, undan tashqari uchlik (triada) va to‘rtliklar ham uchraydi.

${}^{96}_{40}Zr - {}^{96}_{42}Mo - {}^{96}_{44}Ru$, ${}^{124}_{50}Sn - {}^{124}_{52}Te - {}^{124}_{54}Xe$, ${}^{130}_{52}Te - {}^{130}_{54}Xe - {}^{130}_{56}Ba$,

${}^{136}_{54}Xe - {}^{136}_{56}Ba - {}^{136}_{58}Ce$, ${}^{181}_{74}W - {}^{181}_{75}\mathrm{Re} - {}^{181}_{76}Os - {}^{181}_{77}Ir$

Izobarlarda massa soni bir xil bo‘lishidan tashqari zaryad soni ham bir xil bo‘lgan yadrolar uchraydiki, ular ayni bir element yadrosi bo‘lishiga qaramasdan, ularning radioaktivligi turlicha bo‘ladi. Bunga ***izomeriya*** xossasi deyiladi. ***Izomerlar*** – ayni bir turdagi, lekin radioaktivligi turlicha bo‘lgan yadrolardir. Hozirda 300 dan ortiq izomer yadrolar aniqlangan.

Bir xil sonli neytronlarga, lekin har xil sondagi protonlarga ega bo‘lgan yadrolarga ***izotonlar*** deyiladi. Izoton yadrolarga 1ta neytronga ega bo‘lgan ${}^{2}_{1}H^{1} - {}^{3}_{2}He^{1}$, 2ta neytronga ega bo‘lgan ${}^{4}_{2}He^{2} - {}^{5}_{3}Li^{2}$, 3ta neytronga ega bo‘lgan ${}^{6}_{3}Li^{3} - {}^{7}_{4}Be^{3}$, 5ta neytronga ega bo‘lgan ${}^{9}_{4}Be^{5} - {}^{10}_{5}B^{5}$, 6ta neytronga ega bo‘lgan ${}^{11}_{5}B^{6} - {}^{12}_{6}C^{6}$, 7ta neytronga ega bo‘lgan ${}^{13}_{6}B^{7} - {}^{14}_{7}N^{7}$, 8ta neytronga ega bo‘lgan ${}^{15}_{7}N^{8} - {}^{16}_{8}O^{8}$, 10ta neytronga ega bo‘lgan ${}^{18}_{8}O^{10} - {}^{19}_{9}F^{10}$, 11ta neytronga ega bo‘lgan ${}^{19}_{9}F^{11} - {}^{20}_{10}Ne^{11}$, 12ta neytronga ega bo‘lgan ${}^{22}_{10}Ne^{12} - {}^{23}_{11}Na^{12} - {}^{24}_{12}Mg^{12}$, 14ta neytronga ${}^{26}_{12}Mg^{14} - {}^{27}_{13}Al^{14} - {}^{28}_{14}Si^{14}$, 16ta neytronga ${}^{30}_{14}Si^{16} - {}^{31}_{15}P^{16} - {}^{32}_{16}S^{16}$, 18ta neytronga

SINOV UCHUN BERILGAN

$^{34}_{16}S^{18} - {}^{35}_{17}Cl^{18} - {}^{36}_{18}Ar^{18}$, 20ta neytronga $^{36}_{16}S^{20} - {}^{37}_{17}Cl^{20} - {}^{38}_{18}Ar^{20} - {}^{39}_{19}K^{20} - {}^{40}_{20}Ca^{20}$ yadrolarini misol qilish mumkin.

Protiy $^{1}_{1}H$ dan boshqa barcha element yadrolarida neytron mavjud bo‘lib, barcha yadrolarda $\frac{Z}{N} \geq 1$ shart bajariladi. Masalan, $^{4}_{2}He$, $^{6}_{3}Li$, $^{10}_{5}B$, $^{12}_{6}C$, $^{14}_{7}N$, $^{16}_{8}O$, $^{20}_{10}Ne$, $^{24}_{12}Mg$, $^{28}_{14}Si$, $^{32}_{16}S$, $^{40}_{20}Ca$ yadrolari uchun $\frac{Z}{N}=1$ bo‘lsa, $^{22}_{10}Ne$ uchun $\frac{Z}{N}=1{,}2$, $^{90}_{40}Zr$ uchun $\frac{Z}{N}=1{,}25$, $^{142}_{60}Nd$ uchun $\frac{Z}{N}=1{,}36$, $^{202}_{80}Hg$ uchun $\frac{Z}{N}=1{,}52$ va hokoza bo‘ladi.

Mavzu yuzasidan savollar

1. *Yadroning hozirgi kundagi proton-neytron modeliga kim asos solgan?*
2. *Yadro o‘lchamini aniqlovchi formulani yozing.*
3. *Izotop nima? Izotoplarga bir nechta misollar keltiring.*
4. *Izoton nima? Izotonlarga bir nechta misollar keltiring.*
5. *Izobar nima? Izobarplarga bir nechta misollar keltiring.*
6. *Izomer yadro nima?*
7. *Elektron, proton, neytronlarning massalarini va tinchlikdagi energiyalarini yozing.*

Masala yechish:

1. *$_{92}U^{239}=_{93}Np^{237}+X$ yadro parchalanishining noma’lum mahsuli nima?*

A) α-zarra B) neytron C) elektron D) pozitron E) proton

Yechish:

Radioaktiv siljish qonuniga ko‘ra $^{237}_{92}U = {}^{237}_{93}Np + {}^{0}_{-1}X$ *demak zaryadi –e ga massa soni 0 ga teng bo‘lgan zarra elektron hosil bo‘ladi.*

Javob: *C)*

2. *Uchta α va ikkita β-yemirilishdan so‘ng uranning $_{92}U^{238}$ izotopi qaysi elementga aylanadi?*

A) $_{86}Rn^{228}$ B) $_{87}Fr^{223}$ C) $_{84}Po^{209}$ D) $_{92}U^{239}$ E) $_{88}Ra^{226}$

Berilgan:

$3\alpha, 2\beta$

$Y = ?$

Yechish:

Radioaktiv siljish qonuniga ko‘ra

$$^{238}_{92}U = 3 \cdot {}^{4}_{2}\alpha + 2 \cdot {}^{0}_{-1}\beta = {}^{226}_{88}Ra.$$

Demak, $^{226}_{88}Ra$ *ga aylanadi.*

Javob: *E)*

3. *Quyidagi yadro reaksiyada hosil bo‘ladigan elementni aniqlang:*

$_{7}N^{14} + {}_{0}n^{1} = {}_{2}He^{4} + X$

SINOV UCHUN BERILGAN

A) $_2He^4$ *B)* $_5B^{10}$ *C)* $_8O^{16}$ *D)* $_5B^{11}$ *E)* $_6C^{12}$

Yechish:

Radiaktiv siljish qonuniga ko'ra $^{14}_7N + ^1_0n = X + ^4_2He$. *Demak* $^{11}_5B = ^{11}_5X$ *bu zarra* $^{11}_5B$ *ekan.*

Javob: E)

§ 31. BOG'LANISH ENERGIYASI, SOLISHTIRMA BOG'LANISH ENERGIYASI VA MASSA DEFEKTI. YADRONI TAVSIFLOVCHI MODELLAR.

Yadro kuchlari:

Geliy yadrosida ta'sirlashuvchi ikki protonning ta'sir kuchi Kulon qonuniga asosan

$$F_K = k\frac{e^2}{r^2} \sim 100\,N$$

kuch bilan itarishadi. Og'ir yadrolarda Kulon kuchining qiymati bundan ham ancha katta bo'ladi. Chunki, yadrodagi har bir proton qolgan protonlar tomonidan itarilib turadi. Natijada, yadrodagi protonlar bir-biridan itarilib sochilib ketish kerak edi. Shunday bo'lsa-da davriy sistemadagi element yadrolari barqaror. Shunchalik katta itarishish kuchini muvozonatlab turadigan kuch qanday kuch ekan degan savol tug'ilishi tabiiy. Balki bu kuch gravitatsion kuchidir. U holda gravitatsion kuchining qiymati o'sha geliy yadrosidagi ikki proton uchun butun olam tortish qonuniga asosan

$$F_G = G\frac{m_p^2}{r^2} \sim 10^{-35}\,N$$

bo'ladi. Demak, Kulon kuchi gravitatsion kuchidan $\sim 10^{37}$ marta katta bo'lgani uchun, gravitatsion kuch muvozonatlovchi kuch bo'lolmas ekan. Shuning uchun, barqaror yadrolar mavjudligini ular ichida tortish xarakteriga ega bo'lgan juda ulkan kuch – yadro kuchi bilan tushuntiriladi.

Yadrodagi protonlar va neytronlar orasidagi kuchlarga ***yadro kuchlari*** deyiladi. Yadroviy kuchlarning xususiyatlari tajribalarda juda yaxshi o'rganilgan bo'lib, yadro kuchlari asosan quyidagi xossalarga ega:

a) tortishish xossasiga ega, ya'ni nuklonlar orasidagi masofa $r = 1-2\ fm$ bo'lganda yadroviy kuchlar tortishish xarakteriga ega bo'lib, u Kulon kuchidan 100 martalab katta bo'ladi;

b) juda qisqa masofada ta'sirlashadi, ya'ni nuklonlar orasidagi masofa $r < 1\ fm$ bo'lganda yadroviy kuchlar itarishish xarakteriga ega;

SINOV UCHUN BERILGAN

c) yadroviy kuchning miqdori nuklonlarning zaryadi bor yo‘qligiga qaramaydi, ya’ni yadro kuchlari proton-proton, proton-neytron, neytron-neytron orasida bir xil bo‘ladi;

d) yadroviy kuchlar to‘yinish xarakteriga ega, ya’ni har bir nuklon yadrodagi qolgan barcha nuklonlar bilan emas, balki o‘ziga yaqin joylashgan bir nechta nuklon bilan yadroviy kuch bilan ta’sirlashadi. Buni xuddi ximiyadagi valentlikka o‘xshatish mumkin. Atomlar bir-biri bilan valent elektronlar vositasida bog‘langani kabi yadro kuchlarida ham nuklonlar bir-birlari bilan vositachi zarra orqali ta’sirlashadi. Bu zarra π-mezon deb atalib, uning π^+, π^0, π^- deb atauvchi 3ta turi bor. Nuklonlar ana shu uchta zarradan birini yutib yoki chiqarib turishi natijasida yadroviy bog‘ hosil bo‘ladi.

Yadroviy kuch (kuchli o‘zaro ta’sir) fundamental 4 ta ta’sirdan 3-sidir. Atom reaktorlarining ishlashi, atom va vodorod bombalarida zanjir yadro reaksiyalari, Quyosh va yulduzlar bag‘ridagi termoyadro reaksiyalari ana shu kuchli o‘zaro ta’sir natijasidir.

Bog‘lanish energiyasi, solishtirma bog‘lanish energiyasi va massa defekti:

Har bir element izotoplarining massalari mass-spektrometr deb ataluvchi qurilma yordamida juda ham aniq o‘lchanadi. Ushbu asbob bilan o‘lchashlar natijasida shu narsa aniq bo‘ldiki, yadroning massasi bu yadro tarkibidagi nuklonlar massalari yig‘indisidan kichik ekan. Masalan, geliy $\left({}_2^4He\right)$ yadrosining massasi *4,002603* ga teng. Bu yadroni hosil qiluvchi ikkita proton va ikkita neytronlar massalarining yig‘indisi $2m_p + 2m_n = 2\cdot(1{,}007276 + 1{,}008665) = 4{,}031882\, m.a.b$ ga ga teng. Demak, geliy $\left({}_2^4He\right)$ yadrosining massasi bu yadroni tashkil qilgan nuklonlar massalari yig‘indisidan

$$\Delta m = 2\cdot\left(m_p + m_n\right) - m_{He} = 4{,}031882 - 4{,}002603\, m.a.b = 0{,}029279\ m.a.b$$

ga kam bo‘lar ekan. Bu holni quyidagicha tushuntiramiz:

Nuklonlar bitta joyda bir-biri bilan bog‘langan holni va ular bir-biridan juda uzoqda bo‘lgan ikki holni ko‘z oldimizga keltiraylik. Ana shu holatlar orasida Δm massalar farqi vujudga kelyapti. Bu massalar farqini ***massa defekti*** deb ataladi. Massa defekti nuklonlar massalari yig‘indisidan yadro massasining ayirmasiga teng bo‘ladi.

$$\Delta m = Z\, m_p + N\, m_n - m_{yadro} \qquad \textbf{(31.1)}$$

Bu nuklonlarni bir-biridan cheksiz uzoqlashtirish uchun tashqaridan biror ΔE energiya sarflanadi. Nisbiylik nazariyasida massa va energiya orasida bog‘lanishni esga olaylik.

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 \qquad \textbf{(31.2)}$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Yuqoridagi formulaga asosan, geliy yadrosini nuklonlarga parchalash, ya'ni nuklonlar orasidagi bog'larni uzib tashlash uchun

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = 0{,}029279\, m.a.b \cdot 932{,}9\ MeV = 27{,}314\ MeV$$

energiya sarflanish kerak ekan.

Shunday qilib, yadroni tashkil qilgan nuklonlar orasidagi bog'larni uzib tashlash uchun kerak bo'lgan energiyaga ***bog'lanish energiyasi*** deyiladi. Bog'lanish energiyasining qiymati quyidagicha bo'ladi:

$$E_{bog'} = \left(Z\, m_p + N\, m_n - m_{yadro}\right)c^2 \qquad (31.3)$$

Bog'lanish energiyasining yadrodagi nuklonlar soniga nisbatiga ***solishtirma bog'lanish energiyasi*** deyiladi. Yadrodan bitta nuklonni uzib chiqarish uchun kerak o'rtacha energiya solishtirma bog'lanish energiyasiga teng bo'ladi.

$$\omega = \frac{E_{bog'}}{A} \qquad (31.4)$$

Solishtirma bog'lanish energiyasi $\frac{J}{nuklon}$ yoki $\frac{MeV}{nuklon}$ larda o'lchanadi.

Yadrolarning bog'lanish energiyalarini aniqlash uchun bu yadroning massasini yoki nisbiy atom massasini bilish yetarlidir. Quyidagi jadvalda masalalar yechishda ko'p uchraydigan ba'zi izotop atomlarining nisbiy atom massalari keltirilgan.

31.1-jadval

$m\left({}^{2}_{1}H\right)=2{,}014102$	$m\left({}^{14}_{7}N\right)=13{,}999234$	$m\left({}^{25}_{12}Mg\right)=24{,}982587$	$m\left({}^{36}_{18}Ar\right)=35{,}967545$
$m\left({}^{3}_{1}H\right)=3{,}016046$	$m\left({}^{15}_{7}N\right)=15{,}000108$	$m\left({}^{27}_{13}Al\right)=26{,}981539$	$m\left({}^{38}_{18}Ar\right)=37{,}962730$
$m\left({}^{3}_{2}He\right)=3{,}016049$	$m\left({}^{16}_{8}O\right)=15{,}990526$	$m\left({}^{28}_{14}Si\right)=27{,}976927$	$m\left({}^{40}_{18}Ar\right)=39{,}962383$
$m\left({}^{4}_{2}He\right)=4{,}002603$	$m\left({}^{17}_{8}O\right)=16{,}999133$	$m\left({}^{29}_{14}Si\right)=28{,}976496$	$m\left({}^{39}_{19}K\right)=38{,}963707$
$m\left({}^{6}_{3}Li\right)=6{,}013479$	$m\left({}^{18}_{8}O\right)=17{,}999161$	$m\left({}^{30}_{14}Si\right)=29{,}973770$	$m\left({}^{40}_{19}K\right)=39{,}964001$
$m\left({}^{7}_{3}Li\right)=7{,}016004$	$m\left({}^{19}_{9}F\right)=18{,}998404$	$m\left({}^{31}_{15}P\right)=30{,}973763$	$m\left({}^{41}_{19}K\right)=40{,}961826$
$m\left({}^{13}_{6}C\right)=13{,}003355$	$m\left({}^{25}_{12}Mg\right)=24{,}985838$	$m\left({}^{37}_{17}Cl\right)=36{,}965904$	$m\left({}^{48}_{20}Ca\right)=47{,}952534$
$m\left({}^{9}_{4}Be\right)=9{,}012182$	$m\left({}^{20}_{10}Ne\right)=19{,}992435$	$m\left({}^{32}_{16}S\right)=31{,}972071$	$m\left({}^{40}_{20}Ca\right)=39{,}962589$
$m\left({}^{10}_{5}B\right)=10{,}012939$	$m\left({}^{21}_{10}Ne\right)=20{,}993843$	$m\left({}^{33}_{16}S\right)=32{,}971455$	$m\left({}^{42}_{20}Ca\right)=41{,}958618$
$m\left({}^{10}_{5}B\right)=10{,}012939$	$m\left({}^{22}_{10}Ne\right)=21{,}991383$	$m\left({}^{34}_{16}S\right)=33{,}967865$	$m\left({}^{43}_{20}Ca\right)=42{,}958767$
$m\left({}^{11}_{5}B\right)=11{,}009305$	$m\left({}^{23}_{11}Na\right)=22{,}989767$	$m\left({}^{36}_{16}S\right)=34{,}967079$	$m\left({}^{44}_{20}Ca\right)=43{,}955479$
$m\left({}^{12}_{6}C\right)=12{,}000000$	$m\left({}^{24}_{2}Mg\right)=23{,}985043$	$m\left({}^{35}_{17}Cl\right)=34{,}968853$	$m\left({}^{46}_{20}Ca\right)=45{,}953690$
$m\left({}^{13}_{6}C\right)=13{,}003355$	$m\left({}^{25}_{12}Mg\right)=24{,}985838$	$m\left({}^{37}_{17}Cl\right)=36{,}965904$	$m\left({}^{48}_{20}Ca\right)=47{,}952534$

Yadroni tavsiflovchi modellar, tomchi modeli:

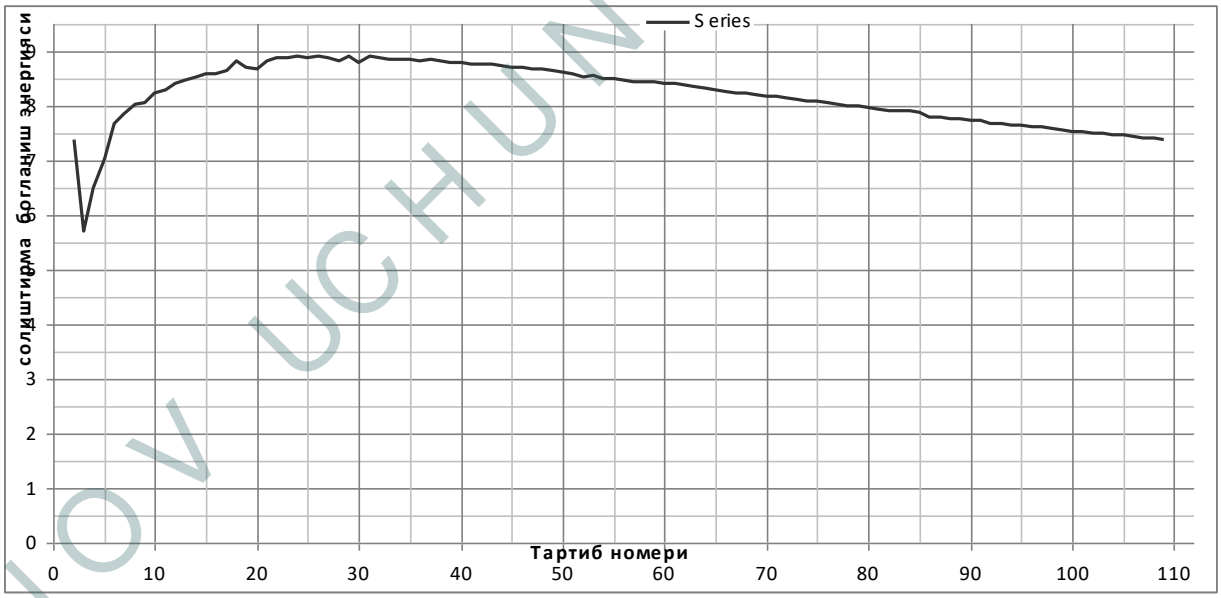
Yadroning solishtirma bog'lanish energiyasini aniqlashda massa defektidan foydalanish usulidan ham boshqa usullar borki, bu usullar yordamida nafaqat solishtirma bog'lanish energiyasini kattaroq aniqlikda aniqlash, balki yadroni

SINOV UCHUN BERILGAN

yaxshiroq tushunish hamda yadro haqidagi tasavvurlarni kengaytirish imkoniyatlari ham bo‘ladi. Real yadroni tushuntirish ancha mushkul bo‘lgani uchun, matematik va fizik jihatdan birmuncha soddalashtirilgan turli yadro modellaridan foydalaniladi. Yadro modellari birinchi yaqinlashishda yadroning asosiy xususiyatlarini o‘zida mujassam etgani bilan barcha xususiyatlarini ochib bera olmaydi. Yadroning biror xususiyatini bir model tushuntirib bera olsa, boshqa bir model esa tushuntirishga ojizlik qiladi. Shuning uchun ham hech bir yadro modelini eng asosiy model deb bo‘lmaydi. Har bir yadro modelining aniqlik va qo‘llanish chegaralari bor. Atom yadrolari haqidagi tasavvurlarni oshirishga xizmat qiladigan ba’zi yadro modellaridan misollar keltiramiz.

1) suyuq tomchi modeli; 2) qobiq yadro modeli; 3) alfa zarra modeli; 4) fermi-gaz modeli; 5) potensial o‘ra modeli; 6) kollektiv model; 7) optik model va hokoza.

Yuqorida sanab o‘tilgan yadro modellarining har biri nazariy jihatdan chuqur o‘rganilgan bo‘lib, ular haqida oliy ta’lim muassasalarida tanishish mumkin. Yadroning bog‘lanish energiyasi hamda solishtirma bog‘lanish energiyasini aniqlashda foydalaniladigan modellardan biri – suyuq tomchi modeli bilan yaqindan tanishaylik.



31.1-rasm

Eng dastdlabki yadro modellaridan biri bo‘lgan tomchi modeli Daniyalik olim Nils Bor tomonidan taklif qilingan. Unga ko‘ra yadro moddasi suyuq tomchi shakliga qiyos qilinadi. Yadro sirti xuddi suyuqliklardagi kabi sirt taranglik kuchi ta’sirida sfera shaklida tutib turiladi hamda undagi nuklonlar sirt taranglik kuchi mavjudligi tufayli yadroni tark eta olmaydi. Yadroga tashqaridan biror zarra kelib tushganda yadro nuklonlarining qayta taqsimlanishi hisobiga erkin sirt potensial energiyasi ham o‘zgaradi.

SINOV UCHUN BERILGAN

Yadroning suyuq tomchi modeli ustida empirik hisob kitoblarni keyinchalik nemis olimi K.F.Vayszekr davom ettirdi. 1935-yil Vayszekr yadroning bog‘lanish energiyasini *Z,N,A* kattaliklar orqali topish formulasini tomchi modeli bo‘yicha asoslab berdi hamda bu modelga asoslangan hisob-kitoblar natijasida quyidagi garfikka ega bo‘ldi.

Yuqoridagi rasmdan ko‘rinib turibdiki, atom massasi 45 – 90 oralig‘ida bo‘lgan yadrolarning solishtirma bog‘lanish issiqligi grafikning eng yuqori qismiga to‘g‘ri keladi. Demak, ana shu yadrolani parchalash eng qiyin kechar ekan. Boshqacha aytganda, yengil yadrolar og‘irroq yadrolar hosil qilishda (atom massasi 45 – 90 bo‘lgan yadrolarga yaqinlashib borishda) yoki juda og‘ir yadrolar parchalanib atom massasi 45 – 90 bo‘lgan yadrolar hosil qilganda ham energiya ajrashlishi sodir bo‘ladi (31.1-rasm).

Mavzu yuzasidan savollar

1. *Yadro kuchlarining xususiyatlarini aytib bering.*
2. *Massa defekti nima? Uning formulasini yozing. .*
3. *Bog‘lanish energiyasi nima? Uning formulasini yozing.*
4. *Solishtirma bog‘lanish energiyasi nima?*
5. *Yadroni tavsiflovchi qanday modellarni bilasiz?*
6. *Tomchi modelini kim taklif qilgan va kim tomonidan empirik hisob-kitoblar qilingan?*

Masala yechish:

1. *Aluminiy* $_{27}Al^{27}$ *yadrosining bog‘lanish energiyasi ifodasini ko‘rsating* (m_p-*proton massasi,* m_n *- neytron massasi,* M_{ya}-*yadro massasi).*

A) $M_{ya}c^2$ *B)* $(13m_p\text{-}14m_n\text{-}M_{ya})\,c^2$ *C)* $(27m_p\text{+}13m_n\text{-}M_{ya})\,c^2$

D) $(27m_p\text{+}13m_n\text{-}M_{ya})\,c^2$ *E)* $(13m_r\text{+}14m_n\text{-}M_{ya})\,c^2$

Berilgan:

$_{27}Al^{27}$

$E = ?$

Yechish:

Berilgan yadro $^{27}_{13}Al$ *alyuminiy yadrosi, bunda* $Z = 13$, *ta* $N = A - Z = 14$ *ta. Demak alyuminiy yadrosiga mos keluvchi massa deffekti* $\Delta m = Zm_p + Nm_n - M$. *Massa deffektiga mos keluvchi energiya esa* $E = \Delta mc^2 = (13m_p + 14m_n - M)\,c^2$ *ga teng.*

Javob: *E)*

2. *Litiyning* $^{7}_{3}Li$ *izotopi yadrosini nuklonlarga parchalab tashlash uchun qancha energiya sarflash kerak bo‘ladi? Yadrodan har bitta nuklonni uchun o‘rta hisobda qancha energiya zarur bo‘ladi?*

Yechish:

SINOV UCHUN BERILGAN

$^{7}_{3}Li$ *izotopi yadrosining hamda proton va neytronning nisbiy atom massalarini yuqorida keltirilgan jadvaldan foydalanib* $m\left(^{7}_{3}Li\right)=7{,}016004$ *m.a.b.,* $m_p=1{,}007276\,m.a.b.$, $m_n=1{,}008665\,m.a.b$ *ekanini topamiz. Massa defekti* $\Delta m=Z\,m_p+N\,m_n-m_{yadro}==3\cdot1{,}007276+4\cdot1{,}008665-7{,}016004=$ $3{,}021828+4{,}03466-7{,}016004=0{,}040484$ *m.a.b. ekani kelib chiqadi. Massasi* $1\,m.a.b.$ *bo'lgan zarraning tinchlikdagi energiyasi* $E_0=932{,}9\,MJ$ *ekanligini bilgan holda bog'lanish energiyasi* $\Delta E=\Delta m\cdot E_0=0{,}040484\ m.a.b.\cdot 932{,}9\,MJ=37{,}768\,MJ=E_{bog'}$ *bo'lishi kelib chiqadi. Har bir nuklonni yadrodan uzish uchun esa o'rtacha* $\omega=\frac{E_{bog'}}{A}=\frac{37{,}768}{7}=5{,}395\left[\frac{MJ}{nuklon}\right]$ *energiya sarflash kerak bo'ladi.*

§ 32. YADRO REAKSIYALARI. ZANJIR REAKSIYASI VA TERMOYADRO REAKSIYASI

Yadro reaksiyalari, zanjir reaksiyasi:

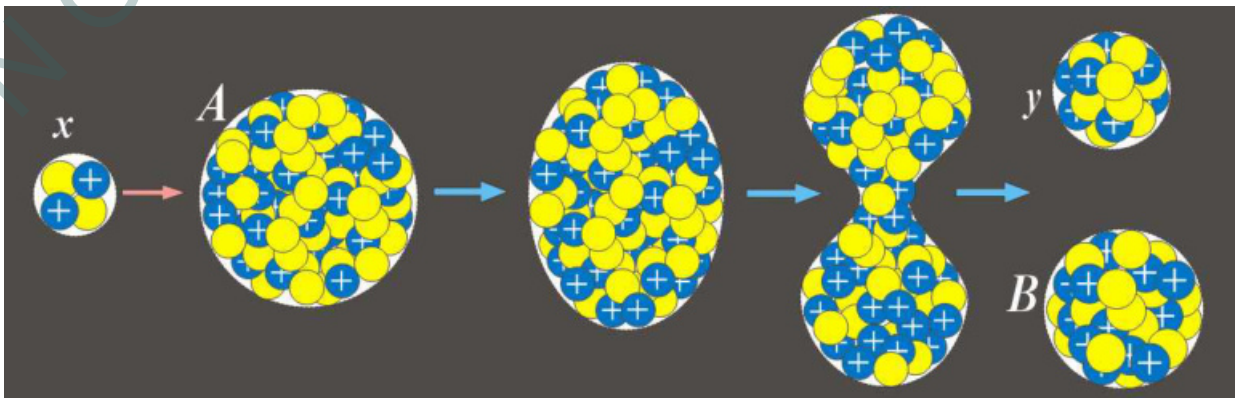
Ikki yadro yoki yadro va bir-biriga zarra $10^{-15}m$ masofagacha yaqin kelganda yadro kuchlari hisobiga bir-biri bilan o'zaro intensiv ta'sirlashib, yadro yoki zarralarning tarkibini o'zgarish protsessiga ***yadro reaksiyalari*** deyiladi. Yadro reaksiyalari vaqtida yadrolarning energiya va impulslari qaytadan taqsimlanadi. Bu esa boshqa yadro yoki zarralarning hosil bo'lishiga sabab bo'ladi.

Yadro reaksiyalarini umumiy shaklda quyidagicha yozish mumkin (32.1-rasm):

$$A+x\rightarrow B+y \qquad (32.1)$$

Yadro reaksiyasida ishlatilayotgan boshlang'ich yadroni ***nishon yadro***, shu reaksiyaning ro'y berishiga sababchi bo'lgan zarra yoki yadroni ***esa snaryad zarra*** yoki ***snaryad zarra*** yadro deyiladi.

Yadro reaksiyasida qatnashuvchi zarralarning energiyasiga qarab yadro reaksiyalari uch xil bo'ladi: 1) kichik energiyali yadro reaksiyalari; 2) o'rta energiyali yadro reaksiyalar; 3) yuqori energiyali yadro reaksiyalari.



32.1-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Yadro reaksiyalari ularda ishtirok etuvchi zarralarning turiga qarab proton, deyton, α- zarra, γ-kvant, og‘ir kimyoviy elementlarning ko‘p zaryadli ionlari bilan ro‘y beruvchi reaksiyalarga bo‘linadi. γ-kvantlar ta’sirida ro‘y beradigan yadro reaksiyalariga ***fotoyadro reaksiyalari*** deyiladi.

Yadro reaksiyalari vaqtida asosan 4 ta saqlanish qonunlari bajarilib, ular 1) zaryadning saqlanishi, 2) massaning saqlanish, 3) energiyaning saqlanishi hamda 4) impuls vektorining saqlanish qonunlaridir.

1) elektr zaryadining saqlanish qonuni: reaksiyaga kirayotgan yadro va zarralarning elektr zaryadlari yig‘indisi reaksiyadan keyin hosil bo‘lgan yadro va zarralarning elektr zaryadlari yig‘indisiga teng bo‘ladi.

$$Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4 \qquad (32.2)$$

2) Massa (nuklon) sonining saqlanish qonuni: reaksiyaga kirayotgan yadro va zarralarning umumiy massa (nuklonlar) soni undan so‘ng hosil bo‘layotgan yadro va zarralarning umumiy massa (nuklon) soniga teng bo‘ladi.

$$A_1 + A_2 = A_3 + A_4 \qquad (32.3)$$

3) Energiyaning saqlanish qonuni: reaksiyaga kirishayotgan yadro va zarralarning energiyalari yig‘indisi reaksiyadan keyin hosil bo‘lgan yadro va zarralarning energiyalari yig‘indisiga teng bo‘ladi.

$$E_A + E_x = E_B + E_y \qquad (32.4)$$

4) Impulsning saqlanish qonuni, uni quyidagicha ta’riflash mumkin: reaksiyaga kirishgunga qadar bo‘lgan zarra va yadroning to‘la impulsi reaksiyadan keyin hosil bo‘lgan zarra va yadroning to‘la impulsiga teng bo‘ladi.

$$\vec{P}_A + \vec{P}_x = \vec{P}_B + \vec{P}_y \qquad (32.5)$$

Yadro reaksiyalari paytida yuqorida sanab o‘tilganlardan tashqari ham saqlanish qonunlari (izotopik spinning, barion zaryadining, lepton zaryadining, g‘alatilikning, maftunkorlikning va boshqa saqlanish qonunlari) bajariladi. Lekin, ular haqida oliy o‘quv yurtlarining fizika mutaxassislik yo‘nalishlarida o‘rganiladi.

Yadro va zarrachalarning reaksiyadan oldingi va keyingi energiyalari farqiga ***yadro reaksiyasining energetik farqi*** deyiladi. Yadro reaksiyalarini sun’iy ravishda o‘tkazishdan asosoiy maqsad ulardan energiya olishdir. Yadro reaksiyalariga oid dastlabki o‘tkazilgan tajribalardan bir nechta misollar keltiraylik.

Yadro o‘zgarishlari kuzatilgan birinchi tajriba (1919-yil, Rezerford):

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}\alpha \quad \rightarrow \quad ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H$$

Neytronning kashf etilishi (1932-yil, Chedvik):

$$^{9}_{4}Be + ^{4}_{2}\alpha \quad \rightarrow \quad ^{12}_{6}C + ^{1}_{0}n$$

Tezlashtirilgan protonlarning birinchi marta ishlatilishi (1932-yil):

SINOV UCHUN BERILGAN

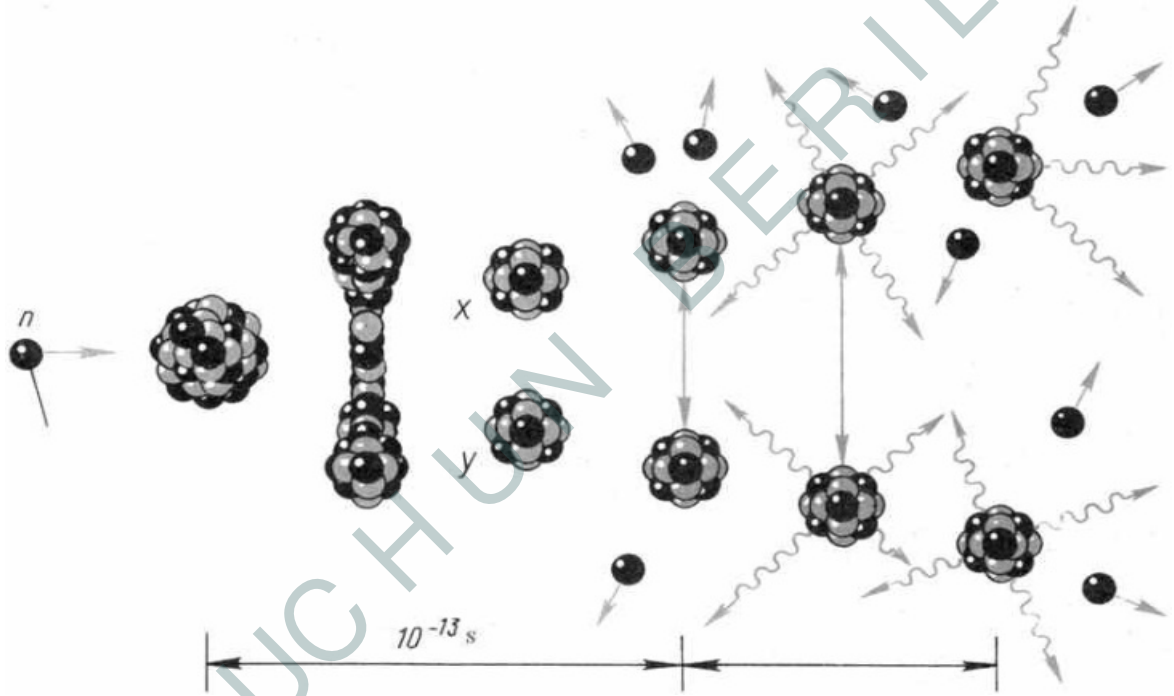
$$^{7}_{3}Li + ^{1}_{1}p \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{4}_{2}He$$

Sun'iy radioaktiv elementning birinchi bor olinishi va protonning topilishi (1932-yil, F.Julio-Kyuri):

$$^{27}_{13}Al + ^{4}_{2}\alpha \rightarrow ^{30}_{15}P + ^{1}_{0}n$$

$$^{30}_{15}P \rightarrow ^{30}_{14}Si + ^{0}_{+1}e$$

Yadro reaksiyalarida energiya yutilishi yoki ajralishi mumkin. Energiya ajralishi bilan boradigan reaksiyalarga ***ekzotermik reaksiyalar***, yutilishi bilan boradigan reaksiyalarga esa ***endotermik reaksiyalar*** deyiladi. Yadro reaksiyalarida energiya ajralishi bilan boradigan reaksiyalar, ya'ni ekzotermik reaksiyalar ko'proq uchraydi.



32.2-rasm

Og'ir yadrolarning neytron yutish yo'li bilan ikki bo'lakka ajraladigan yadro reaksiyasiga ***yadroning bo'linishi*** deyiladi (32.2-rasm).

Yadroning bo'linish reaksiyasini 1939-yilda Gan, Shtrassman, Meytner birinchi marta uranning $^{235}_{92}U$ izotopini neytronlar bilan bombardimon qilib amalga oshirgan.

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{145}_{56}Ba + ^{88}_{36}Kr + 3^{1}_{0}n + 200\,MeV \qquad (32.6)$$

Reaksiya natijasida $^{145}_{56}Ba$, $^{88}_{36}Kr$ izotoplari, uchta neytrondan tashqari juda ko'p miqdorda issiqlik ajralib chiqdi. Bunda reaksiyada qatnashuvchi barcha nuklonlarning har biriga o'rtacha $\frac{200}{236} \approx 0{,}8475 \frac{MeV}{nuklon}$ energiya to'g'ri keladi.

Reaksiya borish natijasida yana shunday ketma-ket reaksiyalar sodir bo'lsa, unga ***zanjir rekatsiya*** deyiladi. Zanjir reaksiyasi nishon yadro bo'linishida ajralib

SINOV UCHUN BERILGAN

chiqqan bir nechta neytron hisobiga sodir bo‘ladi. Uchib chiqqan neytronlar o‘z yo‘lida keyingi yadrolarga urilib ularni parchalaydi va bu parchalanishda keyingi bosqich neytronlari ajralib chiqadi va hokoza. Zanjir reaksiyasida ko‘payish geometrik progressiya bo‘yicha sodir bo‘ladi. Yadro parchalanishida uchib chiqqan neytron navbatdagi yadroni parchalamasdan jismdan tashqariga chiqib atrofga tarqalib ketishi ham mumkin. Bunday hollarda reaksiya uzoq vaqt davom etmasdan darrov so‘nadi. Reaksiya so‘nmasligi uchun esa neytronlar tashqariga chiqib ketmasligi kerak. Buning uchun uran (radioaktiv element) massasining qiymati yetarlicha katta bo‘lishi kerak. Zanjir reaksiyasi sodir bo‘lishi uchun kerak bo‘ladigan eng kichik massaga ***chegaraviy massa*** yoki ***kritik massa*** deyiladi.

Uran yadrosi bo‘linganda, bo‘lish uchun ishlatilgan neytrondan tashqari ikkita yoki uchta neytron hosil bo‘ladi. Bu neytronlar yangi yadrolarni bo‘lishda ishtirok etadi. Bo‘linishda neytronlar soni keskin ortadi. Reaksiya bardavom bo‘lishi uchun bir sikldan keyingi siklga o‘tganda uchib chiqqan neytronlar soni ko‘payishi kerak. Keyingi sikldagi neytronlar sonining dastlabki sikldagi neytronlar soniga nisbatiga ***ko‘payish koeffitsiyenti*** deyiladi. Ko‘payish koeffitsiyentini xuddi matematikadagi geometrik progressiyaning maxrajiga o‘xshatish mumkin. Agar reaksiyada $k=1$ bo‘lsa, reaksiya doimiy, $k<1$ bo‘lsa, reaksiya so‘nuvchi, $k>1$ bo‘lganda esa reaksiya ortib, portlash ro‘y beradi. Ko‘payish koeffitsiyenti $k\geq 1{,}01$ bo‘lganda zanjir reaksiyasi boshlanib ketadi.

Har bir $^{235}_{92}U$ yadrosi parchalanganda $200\ MeV$ miqdorda energiya ajraladi. Taqqoslash uchun eng tez yonuvchi benzinni olaylik. Massasi $1\ kg$ bo‘lgan benzin yonganda $Q_1 = 46\,MJ$ miqdordagi issiqlik ajraladi. $1\ kg$ uran $^{235}_{92}U$ parchalanganda esa

$$Q_2 = \frac{m}{M} N_A \cdot 200\,MeV = \frac{1}{0{,}235} \cdot 6 \cdot 10^{23} \cdot 3{,}2 \cdot 10^{-11}\,J = 8{,}17 \cdot 10^{13}\,J = 8{,}17 \cdot 10^{7}\,MJ$$

energiya, ya’ni $\frac{Q_2}{Q_1} = 1{,}776 \cdot 10^{6}$ marta ko‘p energiya ajraladi. Boshqacha aytganda, $1kg$ uran parchalanganda ajralgan energiya 1776 tonna benzin yonganda ajraladigan issiqlik bilan teng ekan. Benzin, kerosin, gaz, toshko‘mir, yog‘och, plastmassa va boshqa barcha uglevodorodlarning yonishi ximiyaviy reaksiya hisoblanib, bunda yadroviy reaksiyalaridagiga qaraganda million martalab kam energiya hosil bo‘ladi.

Shunday qilib, yadro bag‘rida juda katta energiya yashirinib yotgani ayon bo‘ldi. Bu energiyadan foydalanishni amalga oshirish galdagi dolzarb masala edi.

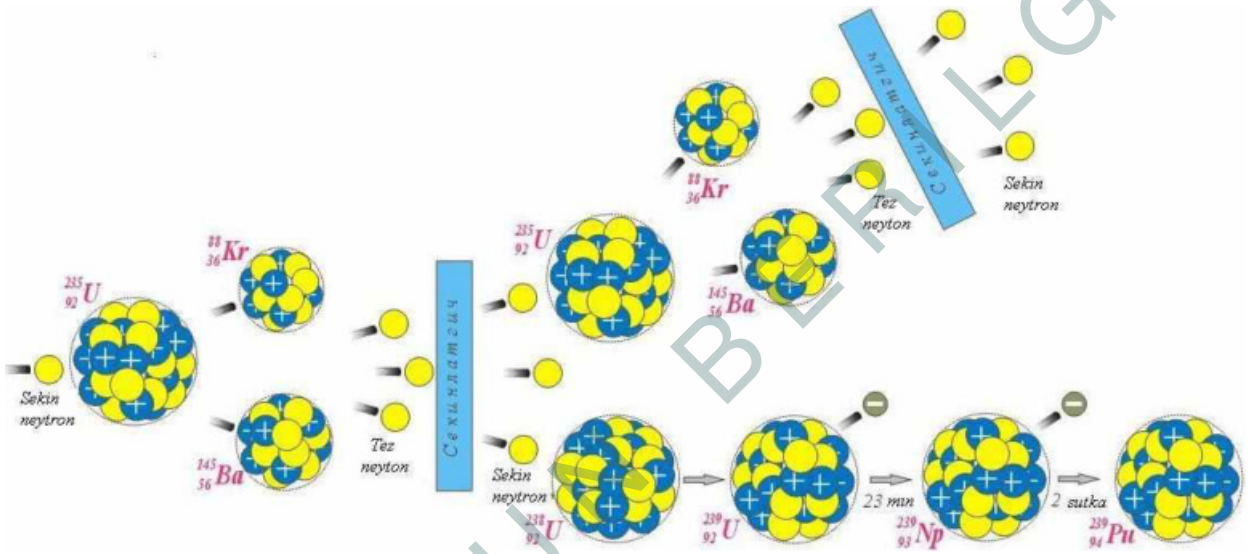
Yadro energiyasidan tinchlik maqsadida foydalanish:

61.1-rasmdan ko‘rinib turibdiki, atom massasi 45 – 90 oralig‘ida bo‘lgan yadrolarning solishtirma bog‘lanish issiqligi grafikning eng yuqori qismiga to‘g‘ri keladi. Demak, og‘ir yadrolarga qaraganda yengilroq yadrolarning solishtirma

SINOV UCHUN BERILGAN

bog‘lanish issiqligi kattaroq ekan. Shunga asosan, og‘ir yadro parchalanib, yengilroq yadro hosil bo‘lganda energiya ajralishi kerak degan fikr paydo bo‘ladi. Haqiqatan ham uran $^{235}_{92}U$ yadrosi yengilroq $^{145}_{56}Ba$ va $^{88}_{36}Kr$ yadrolariga parchalanganda *200 MeV* miqdorda energiya ajralishi bilan tanishdik. Zanjir reaksiyasi juda tez suratda, shiddat bilan sodir bo‘ladi. Shuning uchun ham odatda bu reaksiya portlash bilan yuz beradi. Yadro energiyasidan foydalanish uchun yadroviy zanjir reaksiyasini boshqarish kerak bo‘ladi.

Yadroning bo‘linishi boshqariladigan reaksiyani amalga oshiruvchi qurilmaga yadro reaktori deyiladi.



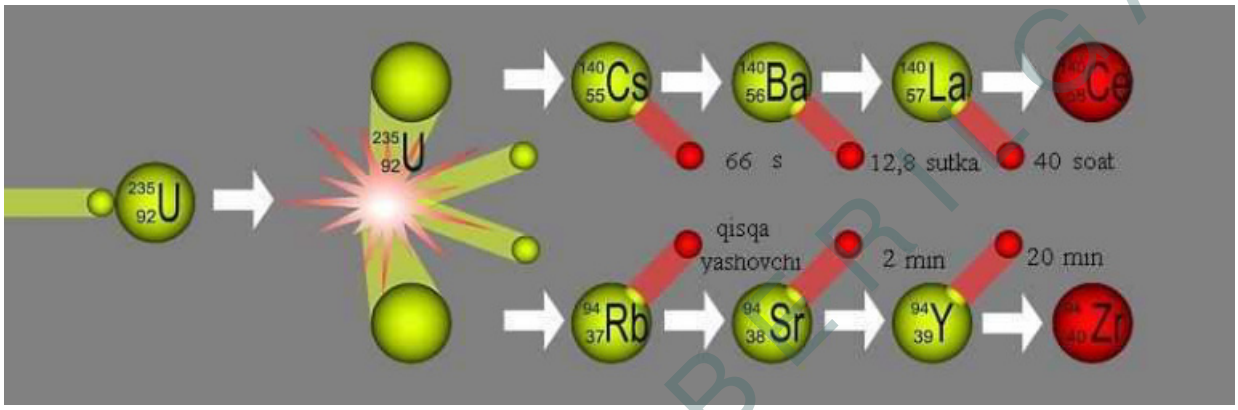
32.3-rasm

Tabiiy uran odatda 2ta izotopdan, ya’ni $^{235}_{92}U$ va $^{238}_{92}U$ izotoplaridan iborat bo‘lib, umumiy massaning *1/140* qismini $^{235}_{92}U$ izotop tashkil etadi. $^{235}_{92}U$ izotopi energetik jihatdan juda foydali bo‘lib, u tez neytronlar ta’sirida ham, sekin neytronlar ta’sirida ham parchalanishi mumkin, ayniqsa sust neytronlarni yaxshi yutadi. $^{238}_{92}U$ izotop esa faqat energiyasi *1MeV* dan katta bo‘lgan o‘ta tez neytronlar ta’siridagina parchalanadi. Bo‘linishda paydo bo‘ladigan ajmi neytronlarning taxminan 60% qismi shunday energiyadan katta energiyaga ega bo‘ladi. Lekin, har beshta neytrondan bittasigina $^{238}_{92}U$ izotopni parchalashi mumkin, qolganlari esa bu izotopga yutiladi. Shuning uchun, sof $^{238}_{92}U$ izotopidan iborat uran bilan zanjir reaksiyasi davom etmaydi. Boshqariladigan zanjir reaksiyasi sodir bo‘lishi uchun yoki sof $^{235}_{92}U$ izotopini ajratib olish (uranni boyitish) kerak yoki aralashma tarkibida aralashma ruda tarkibida $^{235}_{92}U$ izotopi ham ma’lum miqdordan kam bo‘lmasligi kerak bo‘ladi. Sust neytronlarning yutilish ehtimoli tez neytronlarning yutilish ehtimolidan 10^6 marta katta. Shuning uchun ham tabiiy uranda ishlaydigan yadro reaktorlarida ko‘payish koeffitsiyentini orttirish uchun neytronlarni sekinlatgichlardan foydalaniladi. Tabiiy uranda ishlaydigan yadro reaktorlarida

SINOV UCHUN BERILGAN

kechadigan jarayonlar 32.3-rasmda tasvirlangan. $^{238}_{92}U$ izotopi o‘ziga neytronni yutib $^{239}_{92}U$ izotopiga aylanadi, oradan *23 minut* vaqt o‘tgach esa elektronli β^--yemiriladi va $^{239}_{93}Np$ izotopiga aylanadi. Oradan 2 sutka vaqt o‘tgach, yana elektronli β^--yemiriladi va $^{239}_{94}Pu$ izotopiga aylanadi.

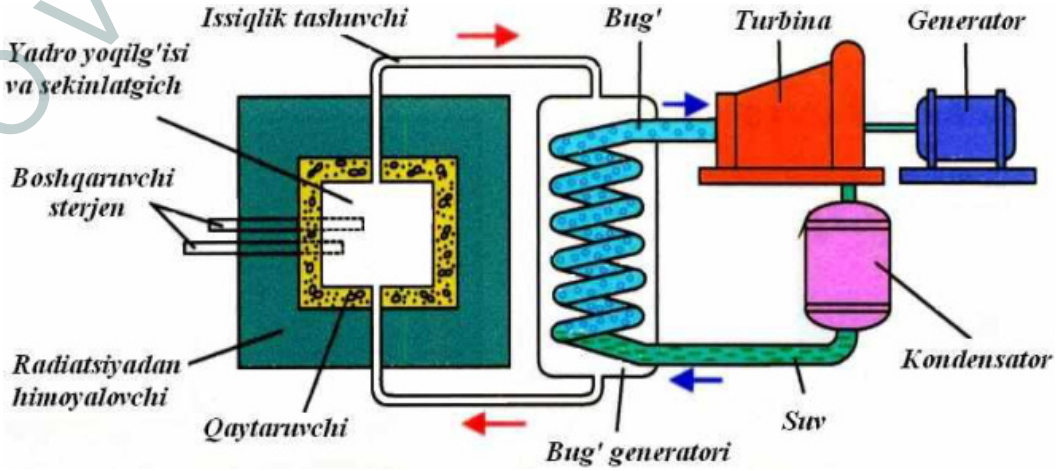
$^{235}_{92}U$ izotopi parchalari $^{145}_{56}Ba$ va $^{88}_{36}Kr$ izotoplari ham turg‘un bo‘lmasdan, ular ham yarim yemirilishlarga uchraydi. O‘z navbatida $^{145}_{56}Ba$ va $^{88}_{36}Kr$ izotoplari ham yemirilishlar ketma-ketligiga uchraydi (32.4-rasm).



32.4-rasm

Quyidagi rasmda yadro reaktorining sxemasi keltirilgan. Yadro reaktorining asosiy elementlari quyidagilardir (32.5-rasm):

1) Yadro yoqilg‘isi $^{235}_{92}U$, $^{235}_{92}U$, $^{239}_{92}Pu$ izotoplari – asosiy energiya manbaidir;
2) neytronlarni sekinlatgich – oddiy yoki og‘ir suv, grafit va hokoza;
3) issiqlik eltuvchi vosita – suv, suyuq natriy va hokoza;
4) neytronlarni yutib, reaksiya tezligini rostlovchi jismlar – bor, kadmiydan tayyorlanib, reaktorning ish fazasiga kiritiladigan sterjenlar;
5) neytronlarni va γ-nurlarni ushlab qoluvchi, reaktorni o‘rab turuvchi temirbetondan yasalgan himoya qobig‘i.



32.5-rasm

SINOV UCHUN BERILGAN

Og‘ir suv eng yaxshi sekinlatgich bo‘lib, neytronni tutib qolishi natijasida og‘ir vodorodga aylanadi. Grafit ham neytronlarni yutmasada, lekin sekinlatgich vazifasini o‘taydi.

Bo‘linayotgan moddaning yadroviy zanjir reaksiya sodir bo‘ladigan eng kichik massasiga ***kritik massa*** deyiladi. Agar yadro yoqilg‘isi massasi kritik massadan kam bo‘lsa, neytronlar yadroga yetib ulgurmasdan tashqariga uchib chiqib ketadi. Natijada, ko‘payish sodir bo‘lmaydi. Masalan, shar shaklida sof $^{235}_{92}U$ uchun kirtik massa $50\,kg$ atrofida bo‘ladi.

Reaktor kadmiy yoki bordan yasalgan sterjenlar yordamida boshqariladi. Sterjenlar reaktorning aktiv zonasidan chiqarilganda $k>1$, aktiv zonaga to‘la kiritilganda esa $k<1$ bo‘ladi. Hozirgi zamonaviy yadro reaktorlari masofadan turib boshqariladi.

Yuqorida ko‘rgan yadro reaktori sekin neytronlarda ishlaydigan yadro reaktoridir. Tez neytronlarda ishlaydigan yadro reaktori tabiiy uranda ishlay olmaydi. Chunki, uran yadrolarining tez neytrognlarda bo‘linish ehtimoli kam. Shuning uchun, tabiiy uranni 15% dan kam bo‘lmagan tarkibda $^{235}_{92}U$ ga boyitish lozim bo‘ladi. Tez neytronlarda ishlaydigan yadro reaktorlarining avzalliklaridan biri bunda ko‘p miqdorda plutoniy $^{239}_{94}Pu$ izotopi hosil bo‘lib, bu keyingi bosqichdagi yadro yoqilg‘isi sifatida ishlatiladi.

Termoyadro reaksiyalari:

31.1-rasmdan ko‘rinib turibdiki, atom massasi 45 – 90 oralig‘ida bo‘lgan yadrolarning solishtirma bog‘lanish issiqligi grafikning eng yuqori qismiga to‘g‘ri keladi. Demak, yengil yadrolarga qaraganda og‘irroq yadrolarning solishtirma bog‘lanish issiqligi kattaroq. Shuning uchun yengil yadrolar birikib, og‘irroq yadro hosil bo‘lganda energiya ajralishi kerak degan fikr paydo bo‘ladi.

Yuqori temperaturalarda (10^7—$10^9 K$) yengil yadrolarning birikib, og‘ir yadro hosil qilishiga termoyadro reaksiyasi deyiladi.

Bu reaksiyada deyteriy yadrosi bilan tritiy yadrosi birikib, geliy yadrosi hosil qilinadi va $17{,}6\,MeV$ energiya ajralib chiqadi.

$$^{2}_{1}He + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + n + 17{,}6\ MeV \qquad (32.7)$$

Bu reaksiyada bitta nuklonga to‘g‘ri keladigan bog‘lanish energiyasi $\frac{17{,}6}{5} = 3{,}46\frac{MeV}{nuklon}$ kelib chiqadi. Bunda har bir nuklonga uran yadrosi parchalanishidagiga qarganda $\frac{3{,}46}{0{,}8475} \approx 4{,}1$ marta ko‘proq energiya ajraladi.

Undan tashqari deyteriy bilan $^{3}_{2}He$ yadrosi birikganida ham geliy yadrosi hosil bo‘lishi va bu reaksiyada ham juda katta $18{,}3\ MeV$ energiya ajraladi.

$$^{3}_{2}He + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + p + 18{,}3\ MeV \qquad (32.8)$$

SINOV UCHUN BERILGAN

Bu reaksiyada bitta nuklonga to‘g‘ri keladigan bog‘lanish energiyasi $\frac{18,3}{5}=3,66\frac{MeV}{nuklon}$ kelib chiqadi. Bunda har bir nuklonga uran yadrosi parchalanishidagiga qarganda $\frac{3,46}{0,8475}\approx 4,32$ marta ko‘proq energiya ajraladi.

Yadro reaksiyalari sodir bo‘lishi uchun yengil yadrolar yetarlicha yaqin masofagacha yaqinlashishlari zarur, ya’ni Kulon kuchiga qarshi ish bajarish kerak bo‘ladi. Buning uchun yengil yadrolar bir-biri bilan yetarlicha katta tezlik bilan to‘qnashishlari kerak bo‘ladi. Bunday katta tezlikka esa juda ulkan temperaturalarda erishish mumkin. Shuning uchun ham bu reaksiyalarni termoyadro (issiq yadro) reaksiyalari deb ataladi. Bunday sharoit esa faqat Quyosh va yulduzlar bag‘ridagina mavjuddir. Quyosh va yulduzlarning har birida ularning markazlarida termoyadro reaksiyalari sodir bo‘ladi. Masalan, Quyosh markazida temperatura *13 mln.* gradusga yetadi. Bunday sharoitda vodorod atomlari to‘la ionlangan, ya’ni yalang‘och yadrolar ko‘rinishida bo‘ladi. Ularning birikishi natijasida dastlab deyteriy, tritiy yadrolari, so‘ngra esa geliy yadrolari hosil bo‘ladi. Bu reaksiyada ulkan energiya ajralishi hisobiga ular qizib nur sochadi (62.6-rasm). Termoyadro reaksiya paytida ajralgan energiya hisobiga milliard yillardan buyon yulduzlar nur sochib turadi. Unda yengil yadrolar birikib navbatdagi og‘ir yadrolar hosil bo‘ladi.

Quyoshning tarkibida 70 % vodorod, 29% geliy va 1% og‘ir neytronlar bo‘lib uning umumiy massasi taxminan $2\cdot 10^{30}\,kg$ ga teng. Quyosh xuddi hozirgidek har sekundda atrofga $4\cdot 10^{26}\,J$ energiya sochib tursa, u yana *100 mld*.yil nur sochib turadi.



32.6-rasm

Yulduzlar bag‘rida boshqa sintez reaksiyalari ham bo‘lishi mumkin. Buning uchun ularning bag‘ri juda issiq bo‘ilishi lozim. Agar yulduzlar bag‘rida 100

SINOV UCHUN BERILGAN

mln.gradusdan oshsa, navbatdagi termoyadro reaksiyalari boshlanadi va navbatdagi bosqich energiyasi ajraladi.

$$ {}_2^4He + {}_2^4He + {}_2^4He \rightarrow {}_6^{12}C + 7{,}65\ MeV \quad , \quad {}_6^{12}C + {}_2^4He \rightarrow {}_8^{12}O + 7{,}1\ MeV \qquad (32.9) $$

Vodorod bombasining ishlash prinsipi ham termoyadro reaksiyasiga asoslangan. Unda atom bobmbasi ichiga vodorod gazi qamalgan bo‘ladi. Atom bombasi portlaganda ajralgan ulkan energiya hisobiga temperatura ulkan qiymatlargacha oshadi. Bu temperatura esa termoyadro reaksiyasi boshlanishi uchun yetarli bo‘ladi. Natijada, ikkinchi bosqich reaksiya – termoyadro reaksiyasi boshlanadi. Vodorod bombasi portlaganda atom bombasidagiga qaraganda $5-7$ marta katta issiqlik ajraladi. Shunisi ahamiyatliki, atom bombasi ishga tushishi uchun undagi uran massasi kritik massadan yuqori bo‘lish kerak bo‘lsa, vodorod bombasida esa termoyadro reaksiyasi ixtiyoriy massada ro‘y berishi mumkin.

Mavzu yuzasidan savollar

1. *Yadro reaksiyasi deb nimaga aytiladi? Dastlabki yadro reaksiyalariga misolar keltiring.*
2. *Zanjir reaksiyasi deb nimaga aytiladi? Bunda qanday tartibdagi energiya ajraladi?*
3. *Yadro reaksiyasidan tinchlik maqsadida foydalanish haqida so‘zlab bering. Yadro reaktori nima va uni tuzilishi qanday?*
4. *Termoyadro reaksiyasi deb nimaga aytiladi? Termoyadro reaksiyasiga misollar keltiring.*
5. *Termoyadro va zanjir reaksiyasida ajralgan energiyalarning bir nuklonga to‘g‘ri kelgan hissasi qanday tartibda bo‘ladi?*

Masala yechish:

1. *Ushbu* ${}_3^7Li + {}_1^2H \rightarrow {}_4^8Be + {}_0^1n$ *yadro reaksiyasida qancha energiya ajralib chiqadi? Reaksiyaga kirishuvchi hamda reaksiya natijasida hosil bo‘lgan yadro va zarralar massalarini jadvaldan oling.*

Yechish:

Masalani uchish uchun reaksiyaga kirishuvchi yadro va zarraning dastlabki massalar yig‘indisi $m_1 = m\left({}_3^7Li\right) + m\left({}_1^2H\right)$ *bilan reaksiya natijasida hosil bo‘lgan yadro va zarralar massalari yig‘indisi* $m_2 = m\left({}_4^8Be\right) + m\left({}_0^1n\right)$ *orasidagi farq (massa defekti) topilishi zarur. Unga ko‘ra massalar farqi*

$$ \Delta m = m_1 - m_2 = \left(7{,}016004 + 2{,}014102\right) - \left(8{,}005307 + 1{,}008665\right) = $$
$$ = 9{,}030106 - 9{,}013972 = 0{,}016134\ m.a.b. $$

ga teng bo‘ladi. Massasi $1 m.a.b.$ *bo‘lgan zarraning tinchlikdagi energiyasi* $E_0 = 932{,}9\ MJ$ *ekanligini bilgan holda ajraladigan energiya*

$$ Q = \Delta m \cdot E_0 = 0{,}016134\ m.a.b. \cdot 932{,}9\ MJ = 15{,}51\ MJ $$

SINOV UCHUN BERILGAN

bo‘lishi kelib chiqadi.

VII BOBGA DOIR TESTLAR

1. Uch xil nurlanishlar (α, β, γ) dan qaysi biri eng katta kiruvchanlik qobiliyatiga ega?

A) γ -nurlanish B) β –nurlanish C) α-nurlanish.
D) hammasi taqriban bir xil E) TJY

2. Quyidagi ifodalarning qaysilari radioaktiv siljish qonunini tavsiflaydi:

1) ${}^{M}_{Z}X = {}^{M-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$
2) ${}^{M}_{Z}X = {}^{M}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e$
3) ${}^{M}_{Z}X + {}^{4}_{2}He = {}^{12}_{6}C + {}^{1}_{0}n$
4) ${}^{M}_{Z}X + {}^{1}_{0}n = {}^{24}_{11}Na + {}^{4}_{2}He$

A) 1, 2 B) 1, 3 S) 1, 4 D) 2, 3 E) 2, 4

3. Nuqtalar o‘rniga mos keladigan iborani aniqlang. Bitta β-emirilish natijasida element davriy sistemaning... siljiydi.

A) boshiga qarab uch katakka B) boshiga qarab bir katakka
C) oxiriga qarab ikki katakka D) oxiriga qarab bir katakka
E) boshiga qarab ikki katakka

4. Mendeleev jadvalidagi tartib nomeri Z bo‘lgan element yadrosining α-emirilishi natijasida hosil bo‘ladigan elementnmg tartib nomeri qanday?

A) Z-l B) Z-2 C) Z D) Z +2 E) Z+l

5. Qanday radioaktiv yemirilish natijasida toriy ${}_{90}Th^{232}$ radiy ${}_{88}Ra^{228}$ ga aylanadi?

A) α B) β C) proton bilan nurlantirilganda.
D) γ E) neytron bilan nurlantirilganda.

6. 1 marta α va 3 marta β yemirilishdan so‘ng elementning tartib raqami qanday o‘zgaradi?

A) 2 ga oshadi B) 2 ga kamayadi. C) 1 ga oshadi.
D) 3 ga oshadi E) 3 ga kamayadi.

7. Ketma-ket uchta β -yemirilishdan so‘ng ${}_{81}Tl^{210}$ (talliy izotopi) nimaga aylanadi?

A) ${}_{94}Po^{210}$ B) ${}_{84}Po^{207}$ C) ${}_{78}Pt^{210}$ D) ${}_{78}Pt^{207}$ E) ${}_{78}Pt^{213}$

8. Radon izotopining yarim yemirilish davri 3,82 sutkaga teng. 1,91 sutkadan so‘ng bu izotopdagi atomlar soni necha marta kamayadi?

A) 1,6 B) 1,2 C) 1,1 D) 1,41 E) 1,5

SINOV UCHUN BERILGAN

9. Radiyda $25 \cdot 10^6$ ta atom bor. Agar radiyning yarim yemirilish davri 1620 yil bo‘lsa, 1 sutkada qancha atom yemiriladi?

A) 2 B) 29 C) 47 D) 93 E) TJY

10. Sutkaning boshlang‘ich 8 soatida radioaktiv moddaning aktivligi 3 marta kamaydi. Sutka davomida modda aktivligi necha marta kamayadi?

A) 8 B) 9 C) 12 D) 24 E) 27

11. Agar radioaktiv elementning aktivligi 160 sutkada 16 marta kamaygan bo‘lsa, uning yarim emirilish davri necha sutkaga teng?

A) 80 B) 40 C) 20 D) 16 E) 10

12. Tinchlikdagi massalari m_0 dan bo‘lgan ikki zarra birlashganda E energiya ajraldi. Hosil bo‘lgan zarraning tinchlikdagi massasi qanday?

A) $2m_0+\frac{E}{c^2}$ B) $2m_0c^2+\frac{E}{c^2}$ C) $2m_0-\frac{E}{c^2}$ D) $2m_0-Ec^2$ E) $2m_0c^2 + E$

13. Zaryadi 2 proton zaryadiga teng ionda 8 ta elektron va 12 ta neytron bo‘lsa, uning yadrosida nechta zarra bor?

A) 20 B) 24 C) 22 D) 18 E) 16

14. Atom yadrosida 9 ta proton va 11 ta neytron bo‘lsa, shu neytral atomning elektron qobig‘ida nechta elektron bor?

A) 2 B) 9 C) 11 D) 20 E) 0

15. Molyar massasi *235 g/mol* bo‘lgan elementning Mendeleev davriy sistemasidagi tartib raqami 92 bo‘lsa, element atomi yadrosidagi neytronlar soni qanday?

A) 143 B) 235 C) 327 D) 92 E) 238

16. Quyidagi yadro reaksiyasidagi noma’lum zarracha nima: ${}_3He^7 + {}_1He^1 = {}_4He^7 + X$

A) gamma kvant. B) elektron C) neytron. D) positron E) proton

17. Texnetsiyni sun’iy usulda olishda qanday zarra hosil bo‘ladi: ${}_{42}Mo^{94} + {}_1H^1 = {}_{43}Te^{95} + ?$

A) elektron. B) proton. C) foton. D) pozitron. E) neytron.

18. Quyidagi yadroviy reaksiyadagi noma’lum zarrani aniqlang: ${}_9F^{19} + {}_1p^1 = {}_8O^{16} + ?$

A) elektron B) ${}_8O^{16}$ C) proton. D) neytron. E) ${}_2He^4$

19. Ushbu moddalarning qaysi biri yadro reaktorlarida issiqiik tashuvchi modda sifatida ishlatiladi:

SINOV UCHUN BERILGAN

1) uran; 2) grafit; 3) kadmiy; 4) oddiy suv; 5) plutoniy; 6) suyuq natriy.

A) 1 B) 2 C) 3 va 4 D) 2 va 5 E) 4 va 6

20. Quyida sanalgan moddalardan aaysilari yadro reaktorlarida neytronlarni yutuvchi moddalar sifatida ishlatiladi:

l) uran; 2) grafit; 3) kadmiy; 4) og‘ir suv; 5) bor; 6) plutoniy?

A) 2, 4 B) 3, 5 C) 2, 3 D) 3, 4 E) 1, 6

21. Quyida sanalgan moddalardan qaysilari yadro reaktorlarida yadro yoqilg‘i sifatida ishlatiladi:

1) uran; 2) grafit; 3) kadmiy; 4) og‘ir suv; 5) bor; 6) plutoniy?

A) 1 va 5 B) 1 va 2 C) 1 va 3 D) 1 va 6 E) 1 va 4

22. ${}_3Li^6+n={}_2He^4+X$ yadro reaksiyasining ikkinchi mahsuli nima?

A) pozitron B) β-zarra C) proton D) deytron E) triton

VII BOBGA DOIR TOPSHIRIQLAR

1. Serpuxovodagi yuqori energiyalar fizikasi institutidagi tezlatgichda protonlar $W=76GeV$ bo‘lgan elektronlar olsa, ularning massasi necha marta ortadi? Protonning tinchlikdagi energiyasi $E_0=938MeV$.

2. Erevan fizika institutidagi tezlatkichda energiyasi $W=6GeV$ bo‘lgan elektronlar olish mumkin. Bunday elektronlarning massasi qanday va ularning massasi tinchlikdagi massasidan necha marta katta? Elektronning tinchlikdagi energiyasi $E_0=0{,}511MeV$, massasi esa $m_0=9{,}11\cdot10^{-31}kg$.

3. Agar bir oydan so‘ng radioaktiv moddaning 75% qolsa, shu modda yadrolarining yarim yemirilish davri necha kun? (1 kun - 24 soat.)

4. ${}_{53}J^{131}$ yod izotopi yadrolarining yarim yemirilish davri 8 sutka. Agar dastlabki radioaktiv yadrolar soni 10^9 ta bo‘lsa, 80 sutkadan keyin bu izotopning nechta radioaktiv yadrosi qoladi?

5. Yod-131 izotopining yarim yemirilishi $T=8sutka$. Bu izotopning o‘rtacha yashash davri τ qanday?

6. Radioaktiv kobalt ${}^{60}_{27}Co$ ning o‘rtacha yashash vaqti $\tau=7{,}35\,yil$. Uning yarim yemirilish davri T qanday?

7. Radioaktiv elementning aktivligi t=8 sutkada $n=4$ marta kamaydi. Yarim yemirilish davri T qanday?

8. Uran ${}^{238}_{92}U$ uchun $\alpha-$yemirilish va qo‘rg‘oshin ${}^{209}_{82}Pb$ uchun $\beta-$yemirilish reaksiyasini yozing.

SINOV UCHUN BERILGAN

9. Radioaktiv marganets $^{54}_{25}Mn$ ikki usul bilan olinadi. Birinchi usulda temir izotopi $^{56}_{26}Fe$ deytron $^{2}_{1}H$ lar bilan. Ikkinchi usulda temir izotopi $^{54}_{26}Fe$ neytronlar bilan nurlantirilib olinadi. Shu yadroviy reaksiyalarni yozing.

10. Eynshteyniy elementi $^{253}_{99}Es$ α – zarralar bilan nurlantirilganda neytron ajralgan va mendeleeviy elementi hosil bo‘lgan. Shu reaksiyani yozing.

11. Bor izotopi $^{10}_{5}B$ neytronlar bilan bombordimon qilinganda hosil bo‘ladigan yadrodan α – zarra otilib chiqadi. Shu reaksiyani yozing.

12. Bor $^{11}_{5}B$ α – zarralar bilan bombordimon qilinganda neytron urib chiqariladigan yadroviy reaksiyani yozing.

13. Alyuminiy $^{27}_{13}Al$ ni α – zarralar bilan bombordimon qilishda sodir bo‘ladigan reaksiyani yozing.

14. Uran $^{235}_{92}U$ ning yadrosi bita neytron yutib, ikki bo‘lakka ajraldi. Bunda ikki neytron bo‘shadi. Bo‘laklardan biri ksenon $^{140}_{54}Xe$ yadrosi ekanligi ma’lum bo‘ldi. Ikinchi bo‘lak qanday yadrodan iborat?

15. Tritiy $^{3}_{1}H$ izotopining, litiy $^{7}_{3}Li$ izotopining massalar defektini toping. $^{3}_{1}H$, $^{7}_{3}Li$, $^{1}_{1}H$ izotoplarining va neytronning massalari mos ravishda $3{,}016046$, $7{,}016004$, $1{,}007825$ va $1{,}008665\ u$ ga teng. $1u = 1{,}6605 \cdot 10^{-27}\ kg$.

16. Deytron $^{2}_{1}H$, geliy $^{4}_{2}He$ yadrosi va kalsiy $^{40}_{20}Ca$ yadrosining bog‘lanish energiyasini toping. $^{1}_{1}H$, $^{2}_{1}H$, $^{4}_{2}He$ va $^{40}_{20}Ca$ izotoplarining va neytronning massalari mos ravishda $1{,}007825$, $2{,}014102$, $4{,}002603$, $39{,}962589$ va $1{,}008665\ u$ ga teng.

17. Quyidagi yadroviy reaksiyalarda energiya ajraladimi yoki yutiladimi: 1) $^{6}_{3}Li + {}^{1}_{1}H \to {}^{4}_{2}He + {}^{3}_{2}He$; 2) $^{7}_{3}Li + {}^{4}_{2}He \to {}^{10}_{5}B + {}^{1}_{0}n$? $^{6}_{3}Li$, $^{1}_{1}H$, $^{4}_{2}He$, $^{7}_{3}Li$, $^{10}_{5}B$ izotoplarining va neytronning massalari mos ravishda $6{,}015125$, $1{,}007825$, $4{,}002603$, $7{,}016004$, $10{,}012939$ va $1{,}008665\ u$ ga teng.

18. $^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}He \to {}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}H$ yadroviy reaksiyada ajraladigan energiyani hisoblang. $^{14}_{7}N$, $^{4}_{2}He$, $^{17}_{8}O$ va $^{1}_{1}H$ izotoplarning massalari mos ravishda $14{,}003074$, $4{,}002603$, $16{,}999133$ va $1{,}007825\ u$ ga teng.

19. $^{10}_{5}B + {}^{1}_{0}n \to {}^{7}_{3}Li + {}^{4}_{2}He$ yadroviy reaksiyada ajralib chiqadigan energiyani aniqlang. $^{10}_{5}B$, $^{7}_{3}Li$, $^{4}_{2}He$ izotoplarining va neytronning massalari mos ravishda $10{,}012939$, $7{,}016004$, $4{,}002603$ va $1{,}008665\ u$ ga teng.

SINOV UCHUN BERILGAN

20. ${}^{6}_{3}Li+{}^{2}_{1}H \rightarrow 2\ {}^{4}_{2}He$ yadroviy reaksiyada chiqadigan energiyani aniqlang. ${}^{6}_{3}Li$, ${}^{2}_{1}H$, va ${}^{4}_{2}He$ izotoplarining massalari mos ravishda $6{,}015125$, $2{,}014102$ va $4{,}002603\ u$ ga teng. J:

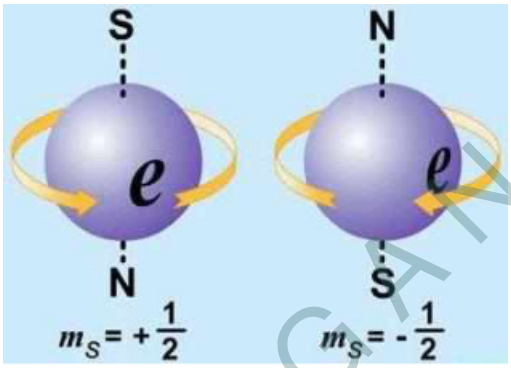
21. ${}^{2}_{1}H+{}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He+{}^{1}_{0}n$ termoyadroviy reaksiyada qancha energiya ajraladi? ${}^{2}_{1}H$, ${}^{3}_{1}H$, ${}^{4}_{2}He$ izotoplarining va neytronning massalari mos ravishda $2{,}014102$, $3{,}016046$, $4{,}002603$ va $1{,}008665\ u$ ga teng.

22. Alyuminiy ${}^{27}_{13}Al$ yadrosining bog‘lanish energiyasini toping. ${}^{27}_{13}Al$ atomining massasi $M = 26{,}981539\ u$, proton, neytron va elektronlarning massalari: $m_p = 1{,}007276\ u$, $m_n = 1{,}008665\ u$ va $m_e = 0{,}000549\ u$

23. Litiy ${}^{7}_{3}Li$ va kislorod ${}^{16}_{8}O$ yadrolarining solishtirma bog‘lanish energiyalarini toping. Bu yadrolarning, protonning va neytronning massalari mos ravishda *7,014358, 15,990526, 1,007276 va 1,008665 u* ga teng.

SINOV UCHUN BERILGAN

VIII BOB. ZARRALAR FIZIKASI



Biz elektron, proton, neytron, foton va pozitron kabi zarralar haqida ma'lumotga ega bo'ldik. Bir paytlar "bo'linmas" deb atalgan "Demokrit atom"lari aslida murakkab ichki tuzilishga ega ekanligi ma'lum bo'ldi. Olamda bo'layotgan barcha modda o'zgarishlari atomlardagi oddiy o'rin almashishlardan iborat ekan. Biroq XX asrning 2-yarmida kosmik nurlarda o'tkazilgan tadqiqotlar natijasi elementar zarralarning nihoyatda xilma-xil ekanligini ko'rsatdi. Shunday qilib fanda yangi soha – elementar zarralar fizikasi yo'nalishi paydo bo'ldi va gurkirab rivojlana boshladi.

§ 33. ELEMENTAR ZARRALARNI QAYD ETISH. DASTLABKI KASHF QILINGAN ZARRALAR.

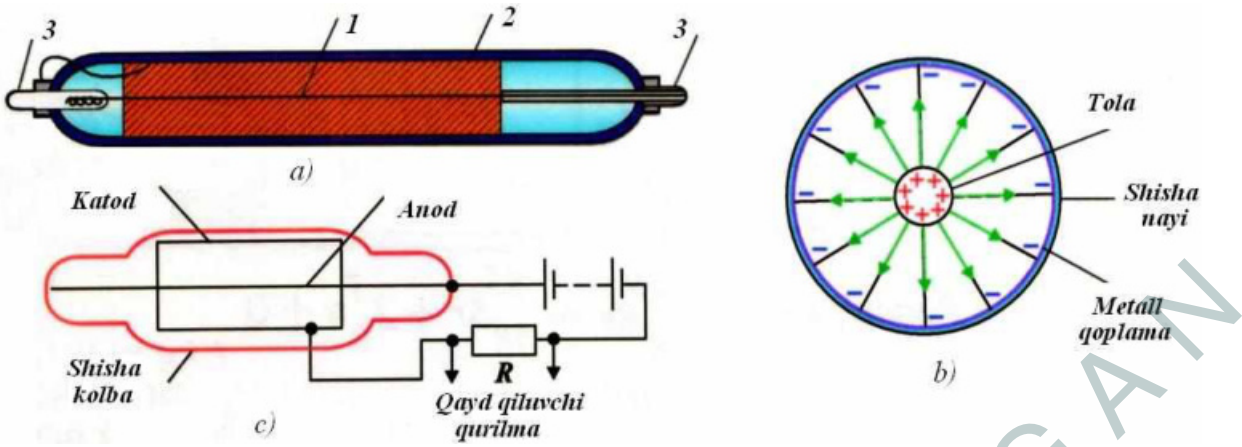
Atom bag'riga yo'l ochilgandan so'ng yadro tuzilishi va elementar zarralar haqida yangi nazariyalar paydo bo'ldi. Bu nazariyalarni isboti sifatida zarralarni qayd etish lozim edi. Zaryadli zarra yoki atom yadrolari harakatini kuzatishning bir necha usullari mavjud. Bu usullarda turli asbob va qurilmalardan foydalaniladi. Elementar zarralarni qayd qiluvchi qurilmalarning barchasining ishlash prinsipi uchib o'tgan zarraning ta'siri natijasida sistemaning yangi holatga o'tishiga asoslanadi. Ana shu qurilmalarning ba'zilari bilan tanishib chiqaylik.

Geyger sanagichi:

Bu asbob avtomat holatda uchib o'tgan zaryadli zarralarni sanaydi. Sanagichning ichki tomoni metall qoplama bilan (katod) qoplangan shisha nay bo'lib, shisha nay o'rtasidan ingichka metall tola (anod) o'tgan. Sanagichning ishlashi zarbdan ionlashga asoslangan. Tashqaridan kirib kelgan elektron, proton yoki α-zarralar nay ichidagi gaz (argon gazi)ni zarbdan ionlantiradi, ya'ni neytral argon atomidan elektronni urib chiqaradi. Natijada, hosil bo'lgan elektron va musbat ion katod va anod orasidagi kuchli elektr maydonida ko'chkiga keladi. Elektronlar gaz atomlarini zarbdan ikkilamchi ionlantiradi. Sanagichdan o'tayotgan tok kuchi keskin ortib ketadi. R nagruzkada kuchlinish impulsi yuzaga keladi. Bu impuls esa qayd qiluvchi qurilmaga uzatiladi (33.1-rasm).

Sanagich o'ziga tushayotgan deyarli hamma elektronlarni qayd etadi, γ-kvantlarning esa atigi yuztadan bittasini qayd etadi. Og'ir bo'lgani uchun α-zarralarni qayd qilish birmuncha qiyinroq kechadi. Chunki, sanagichdan α-zarralar o'ta oladigan yetarlicha yupqa devorli nay yasash qiyinroqdir.

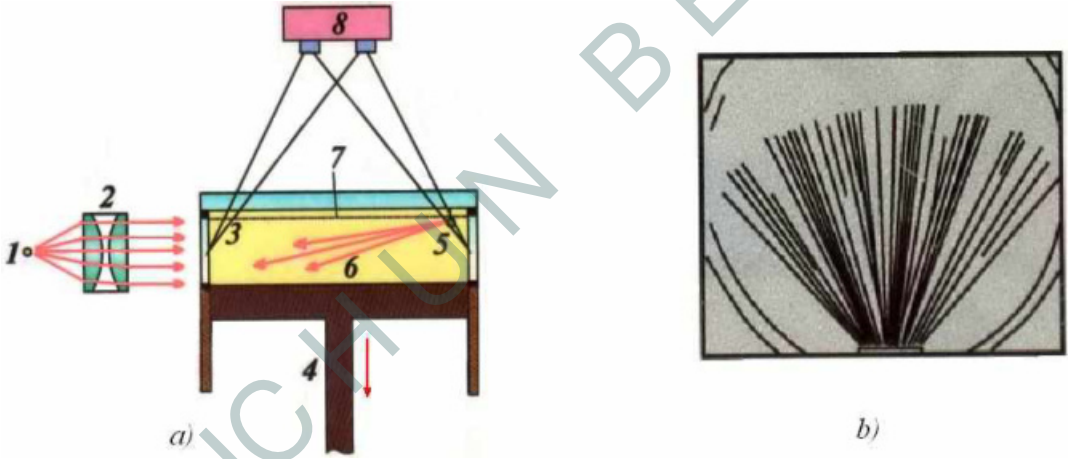
SINOV UCHUN BERILGAN



33.1-rasm

Vilson kamerasi:

Sanagichlar faqat o‘tgan zarralarni sanasa, 1912-yilda yaratilgan Vilson kamaerasi esa bu zarralarning trekini (izini) kuzatish yoki sur’atga olish imkonini beradi. Vilson kamerasining ishlash prinsipi o‘ta to‘yingan suv bug‘laridan zarra uchib o‘tgan joyda kondesatsiyalanib suv tomchilari paydo bo‘lishiga asoslangan.



33.2-rasm

Vilson kamerasiga to‘yinishga yaqin bo‘lgan suv bug‘i yoki spirt bug‘i to‘ldirilgan porshenli idishdan iborat. Porshen keskin pastga surilganda slindr ichidagi to‘yinishga yaqin bug‘ o‘ta to‘yingan holatga o‘tadi (33.2-rasm). O‘ta to‘yinish beqaror holat bo‘ib, unda bug‘ ososngina kondensatsiyalana boshlaydi. Kamera ichida uchib o‘tgan zarra kondensatsiya markazi bo‘lib xizmat qiladi. Zarra yo‘lida mayda-mayda suv tomchilari paydo bo‘lib, zarra trekini hosil qiladi. Kuzatish to‘xtagandan so‘ng, elektr maydon ta’sirida kameradagi zaryadli zarrachalar tozalanadi va navbatdagi kengayish oldidan elektr maydon ta’siri to‘xtatiladi. Jarayon qaytadan boshlanadi. Kamera hajmi va o‘lchamlariga qarab tiklanish vaqti bir necha sekunddan bir necha minutlargacha bo‘lishi mumkin.

Vilson kamerasi yordamidada sanagichdan ko‘ra ko‘proq axborot olish mumkin. Trekning uzunligiga qarab zarra energiyasini, trekdagi birlik uzunlikka to‘g‘ri kelgan tomchilar soniga qarab zarra tezligi, trek yo‘g‘onligiga qarab zaryad miqdori aniqlanadi. Agar uzunlik birligida qancha ko‘p suv tomchilari bo‘lsa, zarra

SINOV UCHUN BERILGAN

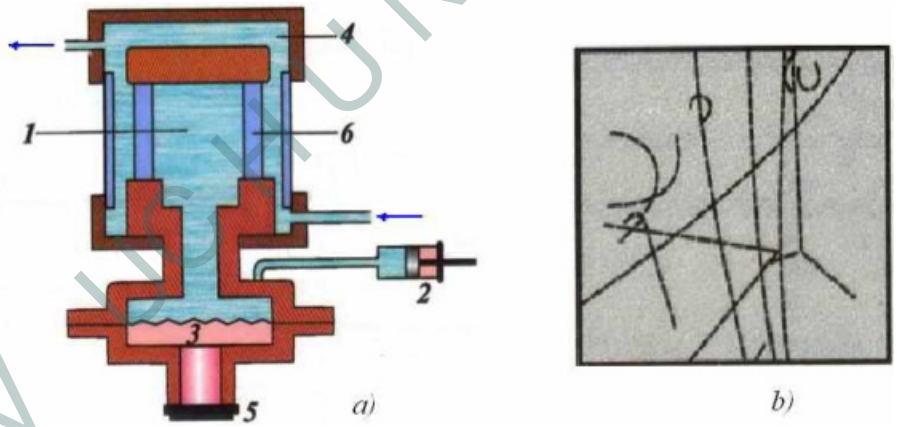
tezligi shuncha past ekanligini bildiradi. Agar trek qancha yo‘g‘on bo‘lsa, zarraning zaryadi shuncha katta ekanini bildiradi.

Rus fiziklari P.L.Kapitsa va D.V.Skobelsinlar Vilson kamerasini magnit maydoniga kiritishni taklif qiladi. Ma’lumki, magnit maydonida zaryadli zarralar Lorens kuchi ta’sirida egri chiziqli harakat qiladi. Trek egriligiga qarab zaryadli zarraning solishtirma zaryadini aniqlash mumkin. Agar zaryadli zarra massasi ma’lum bo‘lsa, zaryadini va aksincha, zaryadi ma’lum bo‘lsa, massasini aniqlash mumkin.

Pufakli kamera:

Pufakli kamera 1952-yilda amerikalik olim D.Gleyzer tomonidan yaratilgan bo‘lib, unda to‘yingan bug‘ o‘rniga o‘ta isitilgan suyuqlikdan foydalanish tavsiya etilgan. Uning ishlashi tuz zaryadli zarralar bu o‘ta isitilgan suyuqlikdan o‘tganda, suyuqlik moleklalarini ionlantirib pufakchalar hosil qilishga asoslangan.

Dastlab suyuqlik atmosfera bosimitdan ancha yuqori bosimda turadi. Bu bosim suyuqlik garchi qaynash temperaturasida turgan bo‘lsa-da, suyuqlikni qaynab ketishdan saqlab turadi. Bosim keskin pasaytirilganda esa, suyuqlik o‘ta to‘yingan holatga o‘tadi va qisqa vaqt beqaror holatda bo‘ladi. Ana shu payt uchib o‘tgan zarrachalar o‘z yo‘lida pufakchalar hosil qiladi (33.3-rasm).



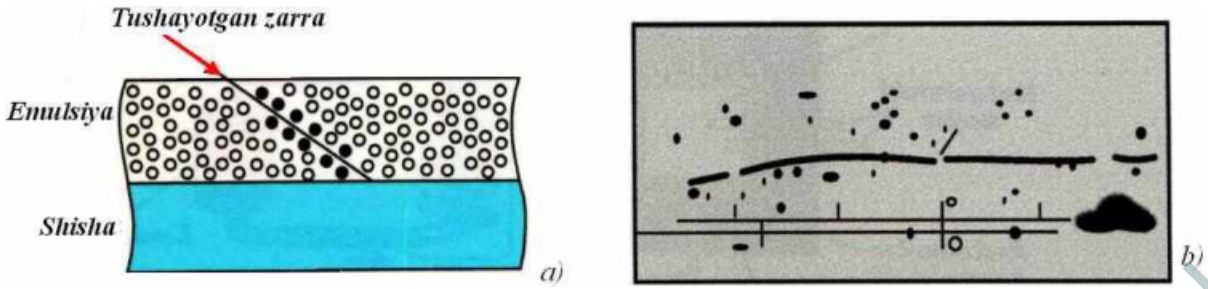
33.3-rasm

Suyuqlik sifatida asosan suyuq vodorod yoki suyuq propan ishlatiladi. Pufakli kameraning ish sikli ancha qisqa bo‘lib, u $0{,}1\,s$ atrofida. Pufakli kameraning Vilson kamerasidan avzalligi foydalaniladigan ishchi moddaning zichligi katta bo‘lgan uchun zarralar izi va egrilik radiuslari kichik bo‘ladi. Pufakli kamera yordamida zarraning magnit maydonda bir necha marta aylanishlarini sur’atga olish mumkin.

Fotoemulstya usuli:

Juda tez harakatlanayotgan zaryadli zarralar oqimi fotoplastika emulsiya qatlamiga tushganda uni ionlashtirish hodisasi fransuz olimi A.Bekkerelga 1896 yilda radioaktivlikni kashf qilishga sabab bo‘ldi.

SINOV UCHUN BERILGAN



33.4-rasm

Fotoemulsiyada kumush bromidning ko‘p miqdordagi kristal donachalari bor. Tez harakatlanayotgan zaryadli zarra kumush atomlaridan elektronni chiqarib uni ionlantiradi. Kristallchalarda ichki yashirin tasvir hosil bo‘ladi. Bu tasvir ochilganda kristallchalarda kumush metali qayta tiklanib, kumush donlarining zanjiri zarra trekini hosil qiladi (33.4-rasm). Trekning uzunligi va yo‘g‘onligiga qarab zarraning energiyasi va massasini aniqlash mumkin. Fotoemulsiya moddasi zichligi katta bo‘lgani uchun trek uzunligi juda qisqa 10^{-3} *sm* atrofida bo‘ladi. Sur’atga olishda kattalashtirishdan foydalaniladi. Kameralardan fotoemulsiyaning avzalligi shundan iboratki, bunda ekspoziyasiya vaqti hohlagancha uzoq.

Yuqorida sanab o‘tilgan va boshqa usullar yordamida zaryadli zarralarni kuzatish orqali nafaqat zarralar mavjudligi o‘z isbotini topdi, balki ularning solishtirma zaryadlari, energiyalari, impuls va magnit momentlari, tezliklari va boshqa kattaliklari haqida miqdoriy natijalar olindi.

Dastlabki kashf qilingan zarralar:

Elementar zarralar *deb, fizika fanining hozirgi taraqqiyot bosqichida eng sodda, ichki strukturaga ega bo‘lmagan faqat bitta zarra – o‘zidangina tashkil topgan zarraga aytiladi.*

1932-yilgacha elementar zarralarnig soni faqat 3 ta edi. 1956-yilga kelib esa ularning soni 30 dan ortdi. Hozirgi vaqtda elementar zarralar jadvalida 400 dan ortiq elementar zarra (antizarralar bilan birga) mavjuddir. Mana shulardan ba’zilarinng kashf etilish tarixi va fizik xususiyatlari quyidagicha bo‘ladi:

1) Elektron (e) – 1891 yilda Stoni tomonidan oldindan postulat tarzida aytilgan. Lekin, bu zarraning ochilishini ko‘pchilik hollarda Tomson nomi bilan bog‘lanadi. Sababi, u 1897 yilda elektronning solishtirma zaryadini tajribada aniq o‘lchagan.

Hozirgi zamon fizikasi elektronni ichki tuzilish va o‘lchamga ega bo‘lmagan haqiqiy elementar zarra deb qaraydi. O‘lchashlarga muvofiq, elektronning chiziqli o‘lchami (radiusi) $10^{-18}m$ dan kichik deb qaraladi. Elektron elektromagnit, kuchsiz va gravitatsion ta’sirlashuvlarda ishtirok qiladi va u zaryadlangan zarralarning ichida eng yengilidir. Shuning uchun ham u turg‘undir.

2) Proton (p) – atom yadrosining tarkibiga kirgan elementar zarra bo‘lib, 1919 yilda Rezerford tomonidan kashf qilingan. Lekin, qaysi hodisani proton kashf

SINOV UCHUN BERILGAN

qilingan hodisa deb aytish qiyin. Chunki, u vodorod ioni sifatida uzoq vaqtdan buyon ma'lum edi. Protonning ochilshiga 1911-yilda rezerford o'tkazgan tajriba ham, 1906–1919-yillarda J.Tomson, F.Soddi, F.Aston tomonidan izotoplarning ochilishi ham, azot yadrosidan α-zarralar urib chiqargan vodorod yadrolarini kuzatish ham rol 'ynaydi.

3) Foton (γ) – Plank va Eynshteyn ishlariga asosan fizikada paydo bo'ldi. Kompton tajribasidan keyin elementar zarra sifatida tan olindi. U atom tarkibiga kirmaydi, undagi elektronlarning bir energetik sathdan boshqasiga o'tish protsessida paydo bo'ladi va yo'qoladi. U neytral zarradir. Fotonning spin kvant soni 1 ga teng. Erkin holatdagi foton absolyut turg'undir. Fotonni ham haqiqiy elementar zarra deb hisoblash mumkin. U faqatgina elektromagnit va gravitatsion ta'sirlashuvlarda ishtirok qiladi va elektromagnit ta'sirlashuv tashuvchisidir. U barcha turdagi elektromagnit to'lqinlari tarkibiga kiradi. 1964-yilda amerikalik radioastronomlar A.Penzias va R,Vilson olam fazosi millimetrli radioto'lqinlar bilan to'lganini aniqladilar. Aniqlanishicha koinotda fotonlar soni protonlar sonidan milliard marta ko'p ekan.

4) Graviton (G) – bu zarra gravitatsion ta'sirlashuv tashuvchisidir. Gravotonning mavjudligi Eynshteynning tortish nazariyasidan, kvant mexanikasi prinsiplaridan va nisbiylik nazariyasidan kelib chiqadi. Bu ta'sirlashuv intensivligi juda ham kichik bo'lganligi uchun shu vaqtgacha u qayd qilinmagan.

5) Neytron (n) – atom yadrosining tarkibiga kiruvchi ikkinchi elementar zarra bo'lib, uni 1932 yilda Chedvik kashf qilgan. Neytron faqat barqaror atom yadrolaridagina turg'undir. Atomdan tashqarida erkin holda u barqaror bo'lmasdan, taxminan 16 minutda parchalanib ketadi.

6) Pozitron ($\tilde{e}$) – 1930 yilda Oppengeymer tomonidan nazariy aytilgan, 1932 yilda Anderson tomonidan kosmik nurlar tarkibida kashf etilgan birinchi antizarra. U elektronning antizarrasi bo'lib, massasi elektron massasi bilan bir xil. Zaryadining modullari ham bir xil. Zaryadining ishorasi bilan elektrondan farq qiladi. Pozitron musbat elektr zaryadiga ega.

7) Myuon (μ) – 1937 yilda Anderson va Nedermayer tomonidan kosmik nurlar tarkibida kashf etilgan zarra. Massasi elektron massasidan katta, proton massasidan esa ancha kichik. Zaryadining moduli elektron zaryadiga teng. Tabiatda ikki xil elektr ishorali myuon mavjud, ya'ni μ^- (myu-minus) va μ^+ (myu-plyus) mezonlar mavjud. Avvaliga bu zarrani Yukava nazariyasiga asosan kuchli ta'sirlashuv tashuvchisi sifatida qabul qilingan va myu-mezon deb atalgan. Lekin shu narsa ma'lum bo'ldiki, bu zarraning kuchli ta'sirlashuvga hech qanday aloqasi yo'q ekan. Myuon turg'un bo'lmagan zarra bo'lib, uning o'rtacha yashash vaqti $2{,}2 \cdot 10^{-8} s$ ni tashkil qiladi.

SINOV UCHUN BERILGAN

8) Neytrino (ν) – 1930 yilda Pauli tomonidan nazariy yo‘l bilan kiritilgan bo‘lib, o‘tgan asrning 50-yillarining o‘rtalariga kelganda tajribada qayd qilingan zarra. Energiyaning saqlanish qonuni bajarilishi nuqtai-nazaridan kiritilgan. Neytrinoning elektr zaryadi yo‘q, tinchlikdagi massasi 0 ga yaqin, o‘tish qobiliyat juda ham katta. 1934-yilda Fermining beta yemirilish nazariyasida eksperimentlarda tasdiqlandi. Uni tutishga 20 yil vaqt kerak bo‘ldi. 1953-yil F.Reynis va K.Kouen tomonidan atom reaktorida o‘tkazilgan tajribada qayd etildi. Hozirgi vaqtda uning uch xil turi mavjud bo‘lib, ular ν_e – ***elektron neytrino,*** ν_μ – ***myuon neytrino,*** ν_τ – ***taon neytrino***lardir. Neytrino barqaror zarradir.

9) Pion (π) – 1935 yilda Yukava tomonidan yadro kuchlarining tabiatini tushuntirish uchun nazariy yo‘l bilan kiritilgan zarra. Yukava uch xil π^+, π^-, π^0 pionlarni nazariy yo‘l bilan kiritgan. Uning mavjudligi 1947-50 yillarda Pauell, Okkialini, Berklundlar tomonidan tajribada kashf qilingan**.**

Mavzu yuzasidan savollar

1. Geyger sanagichi qanday ishlaydi?
2. Vilson kamerasi qanday ishlaydi?
3. Pufakli kamera qanday ishlaydi?
4. Fotoemulsiya usulida elementar zarraning qaysi parametrlarini aniqlash memkin?
5. Elementar zarralar haqida so‘zlab bering.

§ 34. ELEMENTARZARRALARNI XARAKTERLOVCHI KATTALIKLAR. ANNIGLYATSIYA. ELEMENTAR ZARRALARNING SINFLARI

Elementarzarralarni xarakterlovchi kattaliklar:

Barcha elementar zarralar massasi, elektr zaryadi, o‘rtacha yashash vaqti, spini va boshqa kattaliklar bilan ham xarakterlanadi. Ana shu kattaliklarga qisqacha to‘xtalib o‘taylik.

a) Elementar zarralarni barchasi massaga ega. Ularning massasi va energiyasi orasida ushbu bog‘lanish mavjud.

$$W^2 = p^2c^2 + m_0^2c^4 = m^2c^2$$

Foton tinchlikda massaga ega bo‘lmagani bois, fotonda bu bog‘lanish

$$W = pc$$

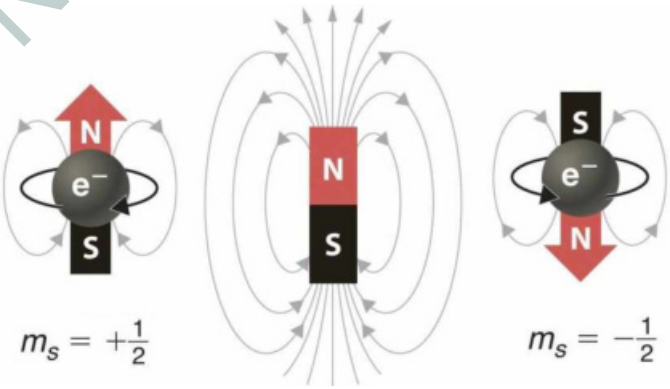
bo‘ladi.

b) Elementar zarralarning ko‘pi elektr zaryadiga ega. Ularning zaryadi *e* elementar zaryad birligida +1 va -1ga tengdir. Ikki yoki undan ko‘p zaryadli zarralar mavjud emas. Zaryadsiz zarralar ham bor. Masalan, neytron va neyrtinoni zaryadi 0 ga teng.

SINOV UCHUN BERILGAN

c) *Elementar zarralarning ko‘pi barqaror emas va o‘rtacha yashash vaqti juda qisqa.* Bu zarralar hech qanday tashqi ta’sir bo‘lnasa ham $2\cdot10^{-6}\,s$ vaqtdan ko‘p yashay olmas ekan. Faqatgina to‘rtta zarra – foton, elektron, proton va neytrino barqarordir. Bu zarralardan har biri olamda faqat o‘zi bo‘lganda edi o‘zining o‘zgarmasligini saqlar edi.

d) Barcha elementar zarralar spini bilan xarakterlanadi. Ko‘pchilik elementar zarralarning spini $\hbar\left(\hbar=\frac{h}{2\pi}\right)$ birligida $\frac{1}{2}$ ga tengdir. Masalan, elektron, proton va neytronning spini $\frac{1}{2}$ ga teng. Undan tashqari spini 1 ga teng bo‘lgan foton hamda spini 0 ga teng bo‘lgan K-mezon, π-mezon, η-mezon ham mavjud. Spin tushunchasiga to‘xtaladigan bo‘lsak, bu zarrachaning o‘z o‘qi atrofida aylanishidan hosil bo‘ladigan xususiy mexanik momentidir, ya’ni xususiy impuls momentidir. Mexanika bo‘limidan ma’lumki, aylanayotgan jism $L=I\omega$ impuls momentiga ega bo‘ladi. Xuddi shi singari aylanayotgan zarralar ham spinga ega bo‘ladi. Faqat jismlarni impuls momentini tezlashtirish yoki sekinlashtirish orqali mexanik momentini o‘zgartirish imkoni bo‘lgani kabi zarralarning spinini o‘zgartib bo‘lmaydi. Har bir zarraning o‘zgarmas o‘z spini bo‘lib, bu uning massasi va zaryadi kabi ajralmas xossasidir. Zaryadli zarra harakatidan magnit moment paydo bo‘ladi. O‘z o‘qi atrofida aylanishidan hosil bo‘lgan magnit momentni spin moment deyiladi. Spinga ega bo‘lgan zarra borki, u spin momentga ham ega bo‘ladi. Zarralarning spin momentlari ularning atrofida magnit sterjen kabi magnit maydon hosil qiladi. 34.1-rasmda ana shu holat tasvirlangan.



34.1-rasm

e) Elementar zarralarning antizarrasi. Elementar zarralarning yana bir xarakterli xususiyati ularning antizarrasining mavjudligidir. Zarra va antizarra bir xil miqdordagi massaga, elektr zaryadiga, spinga ega bo‘ladi. Lekin, ular zaryadlari qarama-qarshi ishorali va spinlari qarama-qarshi yo‘nalgan bo‘ladi. Elektr zaryadi yo‘q bo‘lganda esa ular faqat o‘zaro qarama-qarshi yo‘nalgan spinlari bilan farq qiladi. Maslan, proton p va antiproton $\tilde{p}$, elektron e va pozitron $\tilde{e}$, neytron n va antineytron $\tilde{n}$ kabilar zarra va antizarralarga misol bo‘ladi. To‘rtta zarra – γ-foton, π^0-mezon, K_1^0-mezon, K_2^0-mezon zarralarning antizarrasi mavjud emas. Bu zarralar ***absalyut neytral zarralar*** deb ataladi. Absalyut neytral degan

SINOV UCHUN BERILGAN

tushunchani elektroneytal degan tushuncha bilan adashtirmaslik kerak. Masalan, neytron elektroneytral bo‘lsa-da antizarraga ega.

Antizarralar ichida pozitron eng birinchi kashf qilingan antizarradir. Uning mavjudligi Dirak tenglamalarida 1930-yilda nazariy aytilgan, 1932-yilda esa K.Anderson tomonidan kosmik nurlar tarkibida aniqlangan. 1955-1956 yillarda Amerikalik fiziklar B.Kork, G.Lambertson, O.Pichchioniy, V.Venzellar tezlatkichlarda antiproton va antineytronni kuzatganlar. Keyinroq yuqori energiyali zarralar yadro reaksiyalarining mahsulotlari orasida antideytronlar (antiproton va antineytrondan iborat yadro) borligi aniqlandi. 1970-yilda Serpuxovada Yuqori energiyalar fizikasi institutida antigeliy-3 (ikkita antiproton va bitta antineytrondan iborat yadro) olindi. Nazariy jihatdan antiproton va antineytronlardan antiyadro qurish va u bilan pozitron birgalikda antiatomni hosil qilish mumkin. Antiatomlar birikib antimoddani tashkil qilishi mumkin. Lekin, hozirchalik antimodda aniqlanmagan.

Elementar zarralarning o‘zaro aylanishlari, anniglyatsiya:

Elementar zarralarning o‘zaro ta’sirlashishi ularning bir-biriga aylanishiga olib keladi. Bu o‘zgarish ularning o‘z-o‘zidan parchalanib, bir necha yengilroq zarralarga bo‘linib ketishidan iborat bo‘lishi mumkin. Foton, elektron, proton, elektron neytrinosi va myu-mezon neytrinosi bularga kirmaydi. Chunki ular barqaror zarralardir. O‘z-o‘zidan parchalanish har bir barqaror bo‘lmagan zarra uchun biror vaqt oralig‘ida sodir bo‘lib, bu vaqtga ***o‘rtacha yashash vaqti*** deyiladi. Bundan tashqari ular o‘zaro ta’sir vaqtida bir-biriga aylanishlari mumkin, bu ularning xarakterli xossasidir.

Zarra va antizarra o‘zaro to‘qnashganda ular boshqa elementar zarralarga aylanadi hamda o‘z mavjudligini yo‘qotadi. Bu hodisaga ***anniglyatsiya*** deyiladi. Jufatlarning anniglyatsiysiga masalan, proton va antiprotonning uchrashib pi-nol-mezonga aylanishi

$$p + \tilde{p} \to 2\pi^0$$

yoki proton va antiprotonning uchrashib neyron va antineytronga aylanishi

$$p + \tilde{p} \to n + \tilde{n}$$

yoki bo‘masa elektron va pozitronning uchrashib pozitronga aylanishi

$$e + \tilde{e} \to 2\gamma$$

jarayonlarini misol qilish mumkin.

Anniglyatsiyaga teskari jarayonlar ham uchraydi. Bunda zarralar va antizarralar paydo bo‘ladi. Bu hodisaga ***juftlarning paydo bo‘lishi*** deyiladi. Bunga misol qilib, elektomagnit maydonning elektron bilan ta’sirlashishidan

$$e + \gamma \to e + e + \tilde{e}$$

ikki elektron o‘zaro to‘qnashganda

SINOV UCHUN BERILGAN

$$e+e\to e+e+e+\tilde{e}$$

juftlar paydo bo‘lishini olish mumkin.

Anniglyatsiyaga so‘zi yo‘qolish degan ma‘noni beradi. Lekin, bunda materiya butunlay yo‘qolmaydi.

Anniglyatsiyadan tashqari zarralarning bir-biriga aylanishlari ham kuzatiladi. Yadro β^- yemirilishga uchraganda neytron

$$n\to p+e+\tilde{\nu}_e$$

uchta zarraga sochiladi. Shuningdek, β^- yemirilishga uchraganda proton

$$p\to n+\tilde{e}+\nu_e$$

uchta zarraga sochiladi. Shunday qilib, elementar zarralar bir-biriga aylanishlari mumiin ekan.

Elementar zarralardag o‘zgarishlar paytida ular massa, energiya, impuls, impuls momenti, elektr zaryadi va boshqa saqlanish qonunlariga qat’iy bo‘ysunadi.

Elementar zarralarning sinflari:

Barcha elementar zarralar tinchlikdagi massasining ortib borishi tartibida va ularning bir qancha xususiyatlarini e’riborga olgan holda 4 ta sinfga bo‘linadi (34.1-jadval).

1. Fotonlar $\left(m_0=0\right)$.
2. Leptonlar yoki yengil zarralar $\left(0<m_0<m_e\right)$.
3. Mezonlar yoki oraliqdagi zarralar $\left(m_e<m_0<m_p\right)$.
4. Barionlar yoki og$m_e$ir zarralar $\left(m_p<m_0<m_d\right)$

Bu yerda: m_d – deytronning massasi. Barionlar o‘z navbatida yana nuklonlar va giperonlarga bo‘linadi. Barionlar va mezonlarni birgalikda ***adronlar*** deb ataladi. Tau-mezonning ko‘p xossasi leptonlar xossalariga yaqin bo‘lgani sababli ularni leptonlar sinfiga kiritilgan. Jadvalda zarralarning massalarini elektron massalarida, zaryadlar elektron zaryadi birligida va spinlari $\hbar\left(\hbar=\frac{h}{2\pi}\right)$ birligida berilgan.

34.1-jadval

	Zarraning nomi	Zarra	Antizarra	Massasi	Zaryadi	O‘rtacha yashash vaqti, s	Spini
Foton		γ	-	0	0	stabil	1
Leptonlar	Elektron neytrinosi	ν_e	$\tilde{\nu}_e$	0	0	stabil	½
	Myu-mezon neytrinosi	ν_μ	$\tilde{\nu}_\mu$	0	0	stabil	½
	Tau-mezon neytrinosi	ν_τ	$\tilde{\nu}_\tau$	0	0	stabil	½
	Elektron	e^-	e^+	1	-1	stabil	½
	Myu-minus-mezon	μ^-	μ^+	206,7	-1	$2{,}2\cdot10^{-6}s$	½

SINOV UCHUN BERILGAN

	Tau-minus-mezon		τ^-	τ^+	352,8	-1	$2{,}8\cdot10^{-13}\,s$	½
Mezonlar	Pi-nol-mezon		π^0	-	264,1	0	$2\cdot10^{-17}\,s$	0
	Pi-plyus-mezon		π^+	π^-	273,1	+1	$2{,}6\cdot10^{-8}\,s$	0
	Ka-minus-mezon		K^-	K^+	966,4	+1	$1{,}22\cdot10^{-8}\,s$	0
	Ka-nol-mezon		K^0	-	974,2	0	$10^{-10}\,s$	0
	Eta-nol-mezon		η^0	-	1074	0	$10^{-10}\,s$	0
Barionlar	Nuklonlar	Proton	p	$\tilde{p}$	1836,1	+1	stabil	½
		Neytron	n	$\tilde{n}$	1838,6	0	960 s	½
	Giperonlar	Lyambda-nol-giperon	Λ^0	$\tilde{\Lambda}^0$	2183	0	$2{,}5\cdot10^{-10}\,s$	½
		Sigma-plyus-giperon	Σ^+	$\tilde{\Sigma}^+$	2327,7	+1	$8{,}1\cdot10^{-11}\,s$	½
		Sigma-nol-giperon	Σ^0	$\tilde{\Sigma}^0$	2331,8	0	$10^{-14}\,s$	½
		Sigma-minus-giperon	Σ^-	$\tilde{\Sigma}^-$	2340,6	-1	$1{,}65\cdot10^{-11}\,s$	½
		Ksi-nol-giperon	Ξ^0	$\tilde{\Xi}^0$	2572	0	$3\cdot10^{-10}\,s$	½
		Ksi-minus-giperon	Ξ^-	$\tilde{\Xi}^-$	2585	-1	$1{,}75\cdot10^{-10}\,s$	½
		Omega-minus-giperon	Ω^-	$\tilde{\Omega}^-$	3273	-1	$1{,}75\cdot10^{-10}\,s$	3/2

Shuni alohida qayd etib ’tish kerakki, elementar zarralarning jadvaldagidan tashqari yana barion zaryad, lepton zaryad, g’alatilik kvant soni, maftunkorlik kvant soni, izotoplik spin kabi kattaliklar bilan ham xarakterlanadi.

Mavzu yuzasidan savollar

1. Elementar zarra deb nimaga aytiladi?
2. Qanday elementar zarralarni bilasiz?
3. Elementar zarralarni xarakterlovhci asosiy kattaliklarni aytib bering.
4. Antizarra qanday zarra? Absalyut neytal zarra nina?Anniglyatsiya nima?
5. Barqaror zarralarga qaysi zarralar kiradi?
6. Elementar zarralarning sinflarini aytib bering.

§ 35. OLAMNING YAGONA FIZIK MANZARASI.

Shunday qilib biz fizika kursining barcha bo’limlari bilan tanishib chiqdik. Fizika fanining maqsadi tabiatning umumiy qonunlarini amiqlash, shu asosda jarayonlarning sabablarini tushuntirib berish hamda bu qonunlardan amaliyotda foydalanish yo’l-yo’riqlarini ko’rsatib berishdan iborat. Bu maqsadga yaqinlashgan sari olimlar oldida tabiat birligining murakkab manzarasi tobora yaqinlasha

SINOV UCHUN BERILGAN

bishladi. Olam bir-biriga bog'liq bo'lmagan alohida-alohida hodisalarninng to'plami emas, balki bir butunnning turli-tuman ko'rinishlarda namoyon bo'lishidir.

Fizika faninnig rivojlanish tarixida kashf etilgan nazariyalar asosida olimlar olamning yagona manzarasini tuzishga harakat qilib kelganlar.

Olamning mexaniki manzarasi:

Jismlarning harakati va muvozonati haqida fan – mexanika dunyoning fizik manzarasini shakllanishidagi dastlabki bisqichda turadi. Bunda Nyuton qonunlari mustahkam poydevor vazifasini o'taydi. I.Nyuton kiritgan qonunlarga asoslanib olimlar olamning mexanik manzarasini tuzishga harakat qilganlar. Masalan, Nyutinning fikriga ko'ra olam qattiq va ichiga hech narsa kira olmaydigan harakatchan zarralardan iborat. Ular jismlarga qaraganda o'ta qattiq bo'lib, ular hech qachn yemirilmaydi yoki mayda bo'laklarga bo'linib ketmaydi. Bu qattiq zarralar massalari bilan farqlanadi. Olamning butun borlig'i bu mayda zarralarning harakatidagi farqlar natijasidir deb qaraldi. XIX asrning o'rtalarigacha olimlar Nyuton mexanikasi qonunlarini olamning yagona qonunlari deb qarab keldilar. Biroq elektromagnit jarayonlarni o'rganishda bu qonunlar ish bermay qoldi. Maksvell tomonidan yaratilgan elektromagnit maydon qonunlarini Nyuton mexanikasiga keltirib bo'lmadi.

Olamning elektromagnit manzarasi:

Fizikaning elektr zaryadlari ta'sirini o'rganuvchi bo'limi elektrodinamika deb atalib, unga J.K.Maksvell o'zining 4 ta tenglamasi orqali asos solgan. Bu qonunlar Nyuton tarafdori bo'lgan uzoqdan ta'sir qilish nazariyasini rad etib, yaqindan ta'sir nazariyasiga asos soldi. Bu nazariyaga ko'ra fazoda ta'sirlashayotgan har bir zarra chekli tezlik bilan tarqaladigan elektromagnit maydon hosil qiladi va shu maydon ta'sir uzatuvchi vazifani bajaradi.

Elektromagnit kuchlar olamda eng ko'p tarqalgan kuchlardir. Ular atom yadrosida, atom va molekulada, moddalarda uchraydi. Elektrodinamikaning taraqqiyoti olamning yagona elektromagnit manzarasini yaratishga doir urinishga olib keldi. Bu manzaraga muvofiq olamdagi barcha hodisalar elektromagnit kuchlar bilan boshqariladi. Olamning elektromagnit manzarasi nisbiylik nazariyasi yaratilgandan so'ng eng oliy darajaga ko'tarildi. Olamning mexanik manzarasi ravnaq topgan paytlarda 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 jarayonlardan keltirib chiqarib bo'lmadi. Zarralarning harakati, gravitatsion o'zaro ta'sir qonunlarini elektromagnit ta'sir tenglamalaridan keltirib chiqarib bo'lmadi. Tabiat oldin tasavvur qilgandan ko'ra ancha murakkab bo'lib chiqdi. Tabiatdagi turli-tuman

SINOV UCHUN BERILGAN

hodisa va jarayonlarrni yagona qonun qamrab olomas ekan. Olam qancha turli-tuman bo'lmasin, ulardagi atomlar bit xil. XX asrning 1-yarmida barcha elementar zarralar bir-biriga aylana olishi aniqlandi. Elementar zarralar va ularning o'zaro aylanishlari kash qilingandan so'ng materiya tuzilishining birligi olamning yagona manzarasida asosiy o'ringa chiqdi. Buning zamirida barcha zarralarning moddiyligi yotadi. Turli elementar zarralar materiya mavjudligining turli konkret shakllaridir.

Olamning zamonaviy manzarasi:

Olamning yagonaligi materiya tuzilishining birligi bilan cheklanib qolmaydi. Olamning yagonaligi zarralarning harakat qonunlarida va o'zaro ta'sirlarida ham namoyon bo'ladi. So'nggi o'n yilliklarda fiziklar erishgan muvaffaqiyatlar bizni o'rab olgan olam qanday tuzilgani va qanday qonunlar asosida rivojlangani haqida tasavvur qilishga imkon berdi.

Barcha o'zaro ta'sirlashuvch jismlar 2 gurugdagi zarralardan iborat. Ularning bir guruhi fundamental o'zaro ta'sirda ishtirok etuvchi zarralar kirsa, ikinchisiga esa ta'sir tashuvchilar kiradi.

Jismlarning o'zaro ta'sirlari nihoyatda turli-tuman bo'lishiga qaramay ular 4 ta ta'sir turiga bo'ysunadilar. Bu o'zaro ta'sir ishtirokchisiga leptonlar va kvarklar kiradi. Leptonlar soni 6 ta bo'lib ularning yana shuncha antizarrasi ham bor. Xuddi shu kabi ma'lum aromatli har bir kvark rangi bo'yicha farqlanuvchi uch holatda bo'lishi mumkinligini inobatga olinsa, har xil aromatli va rangli kvarklarning soni 18 ta bo'ladi. Har bir kvarkka antikvark mos keladi.

Shunday qilib o'zaro ra'sir ishtirokchilar guruhiga 12ta lepton va 36 ta kvark, jami 48 ta turli zarralar kiradi. Bu zarralar ***tabiatning qurilish "g'isht"lari bo'lgan fundamental zarralar***dir.

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, kuchli o'zaro ta'sir glyuonlar vositasida, elektromagnit o'zaro ta'sir fotonlar vositasida amalga oshadi. Fundamental o'zaro ta'sirlarning almashinish nazariyasi va modda tuzilishining lepton-kvark modeli umumiy ma'nodagi olamning hozirgi zamon fizik manzarasini tuzishga imkon beradi.

Mavzu yuzasidan savollar



1. Olamning mexanik manzarasini aytib bering
2. Olamning elektromagnit manzarasini aytib bering
3. Olamning zamonaviy manzarasini aytib bering
4. Lepton-kvark model mima?

SINOV UCHUN BERILGAN

Laboratoriya ishi: № 9.
Zaryadli zarralarning trekini o‘rganish va ularni tahlil qilish.

Ishning umumiy maqsadi: quyida keltiriladigan 4 ta ishda zaryadli zarraning iziga qarab zarra haqida fikr ma’lumotlarga ega bo‘lish.

Kerakli bo‘lgan umumiy asbob va jihozlar: Pufakli kamera, Vilson kamerasi, fotoemulsion qatlam.

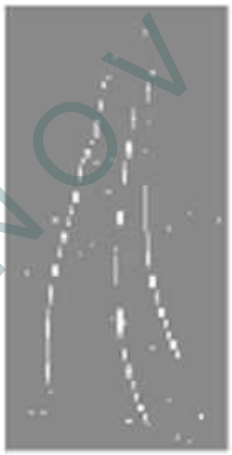
1-ISH.

Ishning maqsadi: talabalarni Uilson kamerasining qurilmasi va ishlash printsipi bilan tanishtirish, zaryadlangan zarrachalar izlari fotosuratlarini tahlil qilishning boshlang'ich ko'nikma va malakalarini shakllantirish.

Kerakli asbob va jihozlar: Vilson kamerasida olingan trek (iz) lar.

NAZARIY QISM

Talabalarga zaryadlangan zarrachalarni kuzatish va qayd etish usullari haqida asosiy ma'lumotlar o'rgatiladi. Talabalar mustaqil ravishda Wilson kamerasining qurilmasi va ishlash tamoyilini o'rganadilar. Uilson kamerasidagi zaryadlangan zarrachalarning izlari - bu suyuqlikning to'yingan bug'ining ionlarga kondensatsiyasi natijasida hosil bo'lgan suyuqlikning (suv yoki spirt) mikroskopik tomchilari zanjirlari. Yo'l uzunligi zaryadlangan zarrachaning boshlang'ich energiyasiga va atrof -muhit zichligiga bog'liq. Yo'lning qalinligi zarrachaning zaryadiga va tezligiga bog'liq: u qanchalik katta bo'lsa, zarrachaning zaryadi shunchalik katta bo'ladi va uning tezligi past bo'ladi. Zaryadlangan zarracha magnit maydonida harakat qilganda, uning izi egri bo'lib chiqadi. Yo'lning egilish radiusini o'zgartirib, zaryadlangan zarrachaning harakat yo'nalishini va uning tezligining o'zgarishini aniqlash mumkin.



1-rasm

Talabalar tasvirni tahlil qilib quyidagi savollarga javob berishlari kerak bo‘ladi:

1. α-zarra qaysi tomonga harakatlangan?
2. α-zarraning treki nega egrilangan?
3. magnit maydoni qanday yo‘nalgan?
4. nega α-zarra trekining egrilik radiusi hamda bosib o‘tilgan yo‘l oxiridagi trek qalinligi o‘lchanadi?

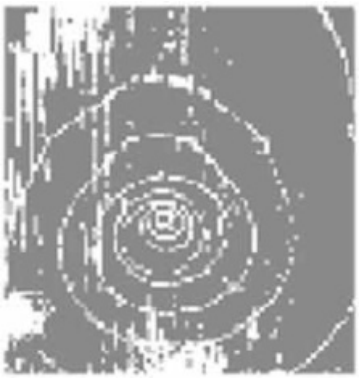
2-ISH.

SINOV UCHUN BERILGAN

Ishning maqsadi: talabalarni pufakchali kameraning qurilmasi va ishlash tamoyili bilan tanishtirish, zaryadlangan zarrachalar izlari fotosuratlarini tahlil qilishning boshlang'ich ko'nikma va malakalarini shakllantirish.

Kerakli asbob va jihozlar: Pufakli kamerada olingan trek (iz) lar.

Talabalar mustaqil ravishda qurilma va pufak kamerasining ishlash prinsipini o'rganadilar.



2-rasm

Talabalar tasvirni tahlil qilib quyidagi savollarga javob berishlari kerak bo‘ladi:

1. elektronning treki nega spiral shaklida?
2. elektron qaysi tomonga harakatlanmoqda?
3. magnit maydoni qanday yo‘nalgan?

3-ISH.

Ishning maqsadi: talabalarni qalin qatlamli fotografik emulsiyalar usuli bilan tanishtirish, zaryadlangan zarrachalar izlari fotosuratlarini tahlil qilishning boshlang'ich ko'nikma va malakalarini shakllantirish.

Kerakli asbob va jihozlar: fotoemulsiya metodi bilan olingan zaryadli zarralar trekining tasvirlari.

Talabalar mustaqil ravishda qalin qatlamli fotografik emulsiyalar usuli bilan tanishadilar.



2-rasm

Talabalar tasvirni tahlil qilib quyidagi savollarga javob berishlari kerak bo‘ladi:

1. nima uchun treklar markazlari turli xil qalinlikda?
2. Treklardan qaysinisi magniy, kalsiy, temir yadrolariga tegishli ekanini aytib bering.
3. turli element atomlari yadrolarining treklarini solishtirish orqali qanday xulosalar qilish mumkin?
4. zarralaning fotoemulsiya metodi yordamida olingan treklari Vilson kamerasi hamda pufakli kamerada olingan treklardan nimasi bilan farqlanadi?

4-ISH.

Ishning maqsadi: Vilson kamerasida suratga olingan, zaryadlangan zarrachalar harakatining fotosuratlarini o'qishda eksperimental ko'nikmalarga ega bo'lish.

SINOV UCHUN BERILGAN

Materiallar va jihozlar: yo'llarning fotosuratlari, shaffof qog'oz (kuzatuv qog'ozi) yoki uglerodli qog'oz, kvadrat, kompas yoki egri chiziqli qalam.

NAZARIY QISM

Vilson kamerasidagi zaryadlangan zarrachaning izi - bu suyuqlikning to'yingan bug'larining ionlarga kondensatsiyasi natijasida hosil bo'lgan suv yoki spirtli mikroskopik tomchilar zanjiri. Ionlar zaryadlangan zarrachaning kameradagi bug'lar va gazlar atomlari va molekulalari bilan o'zaro ta'siri natijasida hosil bo'ladi.

Fotosuratda magnit maydonida induktsiya $B = 2,2\ Tl$ bo'lgan zarrachalar izlari ko'rsatilgan. Magnit indüksiyon vektori fotosurat tekisligiga perpendikulyar. Pastki trek boshlang'ich energiyasi *1,6 MeV* bo'lgan protonga tegishli.



4-rasm

Ishni bajarish ketma-ketligi

1. Kuzatuv qog'ozi yoki uglerodli qog'ozdan foydalanib, zarracha izlari va fotosuratning o'lchovini kuzatib boring.
2. Zarrachalarning harakat yo'nalishini va magnit maydon chiziqlarining yo'nalishini aniqlang. Nima uchun proton izi yugurish oxirigacha qalinlashishini tushuntiring.
3. Proton energiyasining kattaligi bo'yicha uning umumiy massasining qolgan massaga nisbatini hisoblang va massaning o'zgarishiga e'tibor bermaslik kerakligini ko'rsating.
4. Yuqori yo'l proton bilan bir xil boshlang'ich tezligiga ega bo'lgan zarrachaga tegishli ekanligini bilib, bu zarracha uchun zaryad-massa nisbatini aniqlang. Bu trek qaysi zarrachaga tegishli? Nima uchun u proton izidan ko'ra qalinroq?
5. Yuqori iz qoldirgan zarrachaning boshlang'ich energiyasini hisoblang.

SINOV UCHUN BERILGAN

TESTLARNING JAVOBLARI

I-BOB

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		B	B	A	A	B	C	B	A	D
1	C	B	C	D	A	B				

II-BOB

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		D	B	C	D	B	B	B	C	A
1	B	E	A	E	D	D	E	D	B	A
2	C	B	E	C						

III-BOB

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		B	A	C	B	C	C	D	B	A
1	A	A	D	D	B	C	A	C	C	A
2	A	A	C	B	E	A	A	E	E	C
3	C	D	A	A						

IV-BOB

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		B	D	E	E	A	D	E	D	D
1	E	A	A	B	A	B	D	E	C	E
2	A	D	B	D	A	C	B			
3										

V-BOB

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		D	C	A	A	D	E	E	B	A
1	B	D	B	D	B	A	C	D	D	

VI-BOB

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		A	A	C	A	B	A	B	A	C
1	E	B	C	E	C	B	A	D	D	B
2	B	A	D	B	B	E	A	E	C	A

VII-BOB

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		A	A	B	B	A	C	B	D	D
1	E	B	C	C	B	A	C	C	E	E
2	B	D	E							

SINOV UCHUN BERILGAN

TOPSHIRIQLARNING JAVOBLARI

I-BOB

1. *0,37 m* ; **2.** *14,6 lk, 14,6 lk, 12,8 lk*; **3.** *400 kd*; **4.** *36 kd*; **5.** *65lk, 35 lk, 12, 5lk*; **6.** *Kichik lampadan 0,33 m masofada*; **7.** *210 lk*; **8.** *0,1 m*; **9.** *17,6 lm/W*; **10.** *3,16 m*; **11.** $8\cdot10^4$ *lk* ; **12.** *6.15 m*; **13.** *1,5 m*; **14.** *2515,6 kd*; **15.** *44,5 lk*; **16.** *8,33 lm*; **17.** *15,3 lk*; **18.** $E=\frac{I}{(n+1)^2H^2}$; **19.** $I_1=I_2=104$ *kd*; **20.** *7000 nit*

II-BOB

1. 55^0; **2.** $1{,}23\cdot10^8\ m/s$; **3.** $\sqrt{3}$; **4.** $60°$; **5.** $\sqrt{3}$; **6.** 30^0; **7.** 45^0; **8.** $K=4$; **9.** *6sm*; **10.** *20 sm*; **11.** 1,5 ; **12.** -4; **13.** -1. **14.** *0,2m*; **15.** 30^0 ; **16.** 45^0 ; **17.** *Cheksizda*; **18.** *0,3 m*; **19.** *0,6 m*; **20.** *2 m*; **21.** *7,5 cm; -1,5 sm*; **22.** *2 m*; **23.** $1{,}5^0$; **24.** *18,6 cm*; **25.** *0,86 m*; **26.** $R_1=R_2=0{,}4m$; **27.** *1,5*; **28.** *11 sm.*; **29.** *12,5 cm*; **30.** *520 m*; **31.** *0,5 cm.*

III-BOB

1. 223380 $\frac{km}{s}$; **2.** *1,5*; **3.** $2\cdot10^{-7}\ m$; **4.** $0{,}45\,\mu m$; **5.** $\pi/2$; **6.** 4π; **7.** π; **8.** $\frac{\lambda}{8}$; **9.** *maksimum*; **10.** *1*; **11.** *5* μm ; **12.** 30^0 ; **13.** *585*; **14.** $k=3$; **15.** 45^0 ; **16.** *0,125* ; **17.** *2*.

IV-BOB

1. *40*; **2.** $4{,}1\cdot10^{-11}\ m$; **3.** *130*; **4.** $10^{15}\ Gs$; **5.** 4,3 eV ; **6.** $3{,}3\cdot10^{-19}$; **7.** $1{,}6\cdot10^{-19}$; **8.** $1{,}7\cdot10^6\ m/s$; **9.** *98,6 nm* ; **10.** $10^{15}\ Gs$; **11.** *0,51*; **12.** *132*; **13.** *14 eV*; **14.** $3\cdot10^{32}$; **15.** *200 nm*; **16.** 10^{18} ta. **17.** $T=1000\,K$; **18.** $W=6{,}53\cdot10^{21}\,kW\cdot soat$; **19.** *4,41 kJ;* **20.** $T=1000\,K$; **21.** $W=7{,}35\cdot10^3\,J$; **22.** $S=1{,}44\cdot10^{-3}m^2$; **23.** 52,5*Vt*; **24.** *16 марта ортаδи*; **25.** $\Delta T=T_1\left(\sqrt[4]{\frac{E_2}{E_1}}-1\right)=126\,K$; **26.** $\lambda'=\lambda+2\lambda_c\sin^2\frac{\varphi}{2}=59{,}9\ pm$; **27.** *2,8 марта.*

V-BOB

1. *1,25 marta*; **2.** *1,26 marta ortadi*; **3.** *4 marta*; **4.** $10^{-14}\,kg$; **5.** $4{,}667\cdot10^{-12}\,kg$ ortadi. **6.** $\frac{13}{14}c$; **7.** $\ell=0{,}8m$; **8.** *5 marta*; **9.** 53 yil ; **10.** *1,67 u*; **11.** $\vartheta=\frac{\sqrt{n^2-1}}{n}c$; **12.** *68,6%*; **13.** *7,1 marta*; **14.** *Isbotlash*; **15.** $1{,}5\cdot10^8\,m/s$; **16.** *22,37 marta*; **17.** *1,2 marta*; **18.** $E_k^{klas}=114keV$; $E_k^{rel}=175keV$; **19.** $1{,}11\cdot10^{-17}\,kg$; **20.** $8{,}2\cdot10^{-14}\,J$; **21.** *0,9c*; **22.** *42 000 km/s*; *71900 km/s*; **23.** *0,357c*; **24.** $\frac{8}{13}c$; $\frac{19}{44}c$; **25.** *0,615c*; **26.** *0,696c*; **27.** *229 s*; *174 s*; **28.** *45 m/s*; **29.** *2000 km/s*; **30.** $2{,}78\cdot10^{20}$ *ta.*

VI-BOB

1. *3,13*; **2.** *775*; **3.** $13{,}4\cdot10^7$; **4.** $3{,}31\cdot10^{-14}$ *m;* **5.** $5{,}44\cdot10^{-15}$ *м;* **6.** $\alpha\approx160^0$; **7.** *1087*; **8.** $3\hbar$; **9.** *288,5*; **10.** *800*; **11.** *105348*; **12.** *691*; **13.** *9145*; **14.** *154*; **15.** *2675*; **16.** *12193*; **17.** 4; **18.** *8,46*; **19.** 6; **20.** *0,438*; **21.** *1,51*; **22.** *-6,8*; **23.** 3,42*eV* ; **24.**

SINOV UCHUN BERILGAN

$\lambda_{1,2}=121,6\,nm$; $\lambda_{1,3}=102,6\,nm$; $\lambda_{2,3}=656,3\,nm$; **25.** 1) $T=1,43\cdot10^{-16}\,s$, $\omega=4,4\cdot10^{16}\,rad/s$; **26.** *10,2 eV*; **27.** $K=13,6eV$; $\Pi=-2K=-27,2eV$; $E_{um}=K+\Pi=-13,6\,eV$; **28.** 2; **29.** $6,62\cdot10^{-25}$; **30.** *2*; **31.** *5,95*; **32.** $2,68\cdot10^{-18}$; **33.** 1) $\lambda=7,3\overset{0}{A}$; 2) $\lambda=1,44\overset{0}{A}$; 3) $\lambda=6,6\cdot10^{-25}\,m$; **34.** $0,122\overset{0}{A}$; $0,0087\overset{0}{A}$. **35.** $\ell=1$; $m=-1,\,0,\,1$; **36.** $L=0,\pm\hbar,\pm2\hbar$; $\mu=0,\pm\mu_{Bor},\pm2\mu_{Bor}$; **37.** $L=2\sqrt{3}\,\hbar$, $\mu=2\sqrt{3}\,\mu_{Bor}$;

VII-BOB

1. *82 marta*; **2.** *11 742 marta*; **3.** *72 soat*; **4.** $9,76\cdot10^{5}$; **5.** $\tau=T/\ln2=11,5\,sutka$; **6.** $T=\tau\cdot\ln2=5,09\,sutka$; **7.** $T=t/\log_2 n=4\,sutka$; **8.** ${}^{238}_{92}U\rightarrow{}^{234}_{90}Th+{}^{4}_{2}He$; ${}^{209}_{82}Pb\rightarrow{}^{209}_{83}Bi+{}^{0}_{-1}e+\tilde{\nu}_e$; **9.** ${}^{56}_{26}Fe+{}^{2}_{1}H\rightarrow{}^{54}_{25}Mn+{}^{4}_{2}He$; ${}^{54}_{26}Fe+{}^{0}_{1}n\rightarrow{}^{54}_{25}Mn+{}^{1}_{1}H$; **10.** ${}^{253}_{99}Es+{}^{4}_{2}He\rightarrow{}^{256}_{101}Md+{}^{1}_{0}n$; **11.** ${}^{10}_{5}B+{}^{1}_{0}n\rightarrow{}^{7}_{3}Li+{}^{4}_{2}He$; **12.** ${}^{11}_{5}B+{}^{4}_{2}He\rightarrow{}^{14}_{7}N+{}^{1}_{0}n$; **13.** ${}^{27}_{13}Al+{}^{4}_{2}He\rightarrow{}^{30}_{14}Si+{}^{1}_{1}H$; **14.** ${}^{94}_{38}Sr$; **15.** $1,513\cdot10^{-29}\,kg$; $6,996\cdot10^{-29}\,kg$; **16.** *2,224 MeV*; *28,3 MeV*; *342,05 MeV*; **17.** *4,04 MeV energiya ajraladi*; *2,792 MeV energiya yutiladi*; **18.** *-1,193 MeV, energiya yutiladi*; **19.** *2,792 MeV*; **20.** *22,38 MeV*; **21.** *17,59 MeV*; **22.** $\Delta E=\left(Zm_p+Nm_n-M+Zm_e\right)\cdot931,5\,MeV=224,9\,MeV$; **23.** $5,606\,MeV/nuklon$.

SINOV UCHUN BERILGAN

ILOVALAR

Xalqaro sistema(SI)da fizik kattaliklarning o‘lchov birliklari

Kattalikning nomi	Kattalikning o‘lchov birligi		
	Nomlanishi	Belgisi	Ta’rifi
1	2	3	4
Uzunlik	Metr	m	Kripton-86 $2P_{10}$ va$5d_5$ sathlari orasidagi o‘tishga mos bo‘lgan vakkuumdagi nurlanishning 1 650 763 730 to‘lqin uzunligi 1 metr deb qabul qilingan.
Massa	Kilogram	kg	Xalqaro kilogram protipining massasini 1 kg deb qabul qilingan.
Vaqt	Sekund	s	Seziy-133 atomi asosiy holatining ikki o‘ta nozik sathlari orasidagi o‘tishga mos bo‘lagan 9 192 631 770 nurlanish davri 1 sekund deb qabul qilingan
Tok kuchi	Amper	A	Amper – vakkuumda bir-biridan 1 metr masofa-da joylashgan ikki parallel cheksiz uzun va kesimi juda kichik to‘g‘ri o‘tkazgichlardan tok o‘tganda o‘tkazgichning har bir metr uzunligida $2\cdot10^{-7}$ N o‘zaro ta’sir kuchi hosil qiladigan o‘zgarmas tok kuchidir.
Absalyut temperatura	Kelvin	K	Suvning uchlanma nuqtasini xarakterlovchi termodinamik temperaturaning 1/273,16 ulushi 1 Kelvin deb qabul qilingan.
Modda miqdori	Mol	mol	Uglerod-12 ning 0,012 kg massasidagi atomlar soniga teng element (atom, molekula, ion,...) lardan tashkil topgan sistemadagi modda miqdori 1 mol deb qabul qilingan.
Yorug‘lik kuchi	Kandela	kd	101325 Pa bosim ostidagi platinaning qotish temperaturasiga teng temperaturadagi to‘la nur-langichning 1/600000 m^2 yuzidan perpendikulyar ravishda chiqarilayotgan yorug‘lik kuchi 1 kandela deb qabul qilingan.
Yassi burchak	Radian	rad	Uzunligi radiusga teng yoyga tiraluvchi markaziy burchak 1 radian deb qabul qilingan.
Fazoviy burchak	Steradian	sr	Uchi sfera markazida bo‘lgan va shu sfera markazidan radius kvadratiga teng yuzli sirtni ajratadigan fazoviy burchakni 1 steradian deb qabul qilingan.
Yuza	Metr kvadrat	m^2	1 m^2 – tomonlarining uzunligi 1m dan bo‘lgan kvadratning yuzi
Hajm	Metr kub	m^3	$1m^3$ – qirralarining uzunligi 1m dan bo‘lgan kubning xajmi.
Tezlik	Metr taqsim sekund	m/s	To‘g‘ri chiziqli tekis harakat qilayotgan moddiy nuqta 1s da 1 m masofaga ko‘chsa, uning tezligi 1 m/s ga teng.
Tezlanish	Metr taqsim sekund kvadrat	m/s^2	To‘g‘ri chiziqli tekis tezlanuvchan harakat qilayotgan moddiy nuqta 1s da o‘z tezligini 1 m/s ga o‘zgartsa, uning tezlanishi 1 m/s^2 ga teng
Burchak tezlik	Radian taqsim sekund	rad/s	Tekis aylanma harakat qilayotgan jismning barcha nuqtalari 1s da 1rad ga burilsa, uning burchak tezligi 1 rad/s ga teng.

SINOV UCHUN BERILGAN

Zichlik	Kilogram taqsim sekund	kg/m^3	$1kg/m^3$ shunday bir jinsli moddaning zichligiki, mazkur moddadan ajratib olingan $1m^3$ hajmning massasi 1kg
			bo‘ladi.
Impuls	Kilogram metr taqsim sekund	kg·m/s	1 kg·m/s – tezligi 1 m/s bo‘lgan 1 kg massali moddiy nuqtaning impulsi.
Impuls momenti	Kilogram metr kvadrat taqsim sekund	$kg·m^2/s$	1 $kg·m^2/s$ – radiusi 1m li aylana bo‘ylab harakatlanayotgan impulsi 1 kg·m/s bo‘lgan moddiy nuqtaning impuls momenti.
Kuch	Kilogram metr taqsim sekund	N	1N – massasi 1 kg jismga ta’sir qilib, shu ta’sir yo‘nalishida jsmga 1 m/s^2 tezlanish beradigan kuch.
Kuch momenti	Nyuton metr	N·m	1N·m – kuchning ta’sir chizig‘ida 1m masofada joylashgan nuqtaga nisbatan qiymati 1N bo‘lgan kuchning momenti.
Kuch impulsi	Nyuton sekund	N·s	1N·s – 1s davomida ta’sir etuvchi 1n kuchning impulsi.
Bosim	Paskal	Pa	1Pa – 1N kuchning kuch yo‘nalishiga perpendikulyar bo‘lgan $1m^2$ yuzaga beradigan bosim.
Sirt taranglik koeffitsienti	Nyuton taqsim metr	N/m	1 N/m – shunday suyuqlikning sirt tarang-ligiki, bu suyuqlik erkin sirtini chegaralovchi konturning 1m uzunligiga 1N kuch ta’sir qiladi.
Ish (energiya)	Joul	J	1J – 1N kuch ta’sirida va kuch yo‘nalishida ji-smni 1 m masofaga ko‘chirishda bajarilgan ish.
Quvvat	Vatt	Vt	1Vt – 1s davomida 1J ish bajaradigan mashinaning quvvati.
Selsiy temperatura	Selsiy gradus	^0C	Selsiy o‘lchovi jihatidan Kelvtnga teng.
Issiqlik miqdori	Joul	J	1J – kattaligi 1J bo‘lgan mexanik ishga ekvivalent issiqlik miqdori.
Issiqlik sig‘imi	Joul taqsim kelvin	J/s	1J/K – shunday sistemaning issiqlik sig‘imiki , bu sistemaga 1J issiqlik miqdori berilganda uning temperaturasi 1K ga ortadi.
Solishtirma issiqlik sig‘imi	Joul taqsim kilogram kelvin	J/(kg·K)	1 J/(kg·K) – massasi 1kg bo‘lgan holda issiqlik sig‘imi 1J/K bo‘ladigan jismning solishtirma issiqlik sig‘imi.
Zaryad miqdori	Kulon	C	1Kl – tok kuchi 1A bo‘lgan ko‘ndalang kesimdan 1s davomida o‘tgan elektr zaryad miqdori.
Elektr maydon kuchlanganligi	Volt taqsim metr	V/m	1V/m – kuchlanganlik chizig‘i bo‘ylab bir-biridan 1m uzoqlikda joylashgan ikki nuqtasining potensiallar farqi 1V bo‘lgan bir jinsli elektr maydon kuchlanganligidir. Bunday maydonga kiritilgan 1Kl zaryadga 1n kuch ta’sir qiladi.
Elektr induksiyasi (siljish)	Kulon taqsim metr kvadrat	C/m^2	1 Kl/m^2 – yuzi $1m^2$ li ko‘ndalang kesimdan 1Kl ga teng elektr induksiya oqimi o‘tadigan holdagi elektr induksiyasidir.
Magnit induksiyasi	Tesla	T	1Tl - yuzi $1m^2$ li ko‘ndalang kesimdan 1Vb ga teng magnit oqim o‘tadigan holdagi magnit induksiyadir.

SINOV UCHUN BERILGAN

Magnit maydon kuchlanganligi	Amper taqsim metr	A/m	1 A/m – magnit maydon shunday nuqtasining kuch-langanligiki, bu nuqtadagi magnit induksiya $4\pi \cdot 10^{-7}$ Tl bo‘ladi.
Magnit oqimi	Veber	Vb	1Vb – shunday magnit oqimiki, uning nolgacha kamayib borish jarayonida mazkur magnit oqimi bilan tutingan elektr qarshiligi 1Om bo‘lgan elektr zanjirning ko‘ndalang kesimidan 1Kl zaryad o‘tadi.
Induktivlik	genri	Hn	1Hn – shunday o‘tkazgich induktivligiki, undan 1a tok o‘tganda vujudga keladigan to‘la magnit oqimi 1Vb ga teng.
Elektr qarshilik	om	Ω	1Ω – ikki uchidagi potensiallar farqi 1V bo‘lganda 1A tok o‘tadigan o‘tkazgichning elektr qarshiligi
Elektr kuchlanish	volt	V	1V – o‘zgarmas tok kuchi 1A bo‘lgan holda elenktr zanjirning 1Vt quvvat sarflanadigan qismidagi kuchlanish
Elektr sig‘im	farada	F	1F – 1Kl zaryad berilganda potensiali 1V ga ortadigan o‘tkazgichning elektr sig‘imidir.
Solishtirma elektr qarshilik	om-metr	Ω ·m	1Om·m – ko‘ndalang kesimi $1m^2$, uzunligi 1m bo‘lganda 1Om elektr qarshilikka ega bo‘ladigan o‘tkazgichning solishtirma elektr qarshiligi
Davriy jarayon chastotasi	gers	Hz	1Hz – 1s davomida davriy jarayonning bitta sikli amalga oshadigan holdagi davriy jarayon chastotasi
Yorug‘lik oqimi	lyumen	lm	1lm – yorug‘lik kuchi 1kd bo‘lgan nuqtaviy manbadan 1sr fazoviy burchakda chiqarilayotgan yorug‘lik oqimi.
Yorug‘lik energiyasi	lyumen-sekund	lm·s	1lm·s – 1s davomida ta’sir etuvchi 1lm yorug‘lik oqimida mujassamlangan yorug‘lik energiyasi.
Ravshanlik	kandela taqsim metr kvadrat	kd/m^2	1 kd/m^2 – yorug‘lik kuchi 1kd bo‘lgan $1m^2$ yuzli yorug‘lik tarqatadigan sirtning ravshanligi.
Yorituvchanlik	lyumen taqsim metr kvadrat	lm/m^2	1 lm/m^2 – 1lm yorug‘lik oqimi chiqaradigan $1m^2$ yuzli sirtning yorituvchanligi.
Yoritilganlik	llyuks	lk	1lk – yuzi $1m^2$ bo‘lgan sirtga 1lm yorug‘lik oqimi tushishi tufayli vujudga keladigan yoritilganlik

Metallar va qotishmalarning solishtirma qarshiligi (ρ) (20^0C) va qarshiliklarning temperatura koeffitsienti (α)

Modda	ρ, $\cdot 10^{-8}$ Ω·m	α, K^{-1}	Modda	ρ, $\cdot 10^{-8}$ Ω·m	α, K^{-1}
Alyuminiy	2.8	0.0042	Nixrom	110	0.0001
Volfram	5.5	0.0048	Qo‘rg‘oshin	21	0.0037
Jez	7.1	0.001	Kumush	1.6	0.004
Mis	1.7	0.0043	Po‘lat	12	0.006
Nikelin	42	0.0001			

SINOV UCHUN BERILGAN

Elektroximiyaviy ekvivalentlar, mg/Kl

Alyuminiy (Al^{3+})	0.093	Mis (Cu^{2+})	0.33	Kumush (Ag^{+})	1.12
Vodorod (H^{+})	0.0104	Qalay (Sn^{2+})	0.62	Xrom (Cr^{3+})	0.18
Kislorod (O^{2-})	0.083	Nikel (Ni^{2+})	0.30	Rux (Zn^{2+})	0.34

Elektronlarning chiqish ishi, eV

Volfram	4.5	Bariy Oksid	1.0	Rux	4.2
Kaliy	2.2	Platina	5.3		
Litiy	2.4	Kumush	4.3		

Sindirish ko‘rsatkichi(ko‘rinadigan nurlar uchun)

Olmos	2.4	Muz	1,31	Shisha	1.6
Suv	1.3	Uglerod sulfid	1.63		
Havo	1.00029	Etil Spirt	1.36		

Ba’zi izotoplarning nisbiy atom massasi, u (massa atom birligi)

Izotop	Neytral atomining massasi	Izotop	Neytral atomining massasi
${}_{1}^{1}H$ Vodorod	1.00783	${}_{5}^{10}B$ Bor	10.01294
${}_{1}^{2}H$ Deyteriy	2.01410	${}_{5}^{11}B$ Bor	11.00931
${}_{3}^{1}H$ Tritiy	3.01605	${}_{6}^{12}C$ Uglerod	12.00000
${}_{2}^{3}He$ Geliy	3.01602	${}_{7}^{14}N$ Azot	14.00302
${}_{2}^{4}He$ Geliy	4.00260	${}_{7}^{15}N$ Azot	15.00011
${}_{3}^{6}Li$ Litiy	6.01513	${}_{8}^{16}O$ Kislorod	15.99491
${}_{3}^{7}Li$ Litiy	7.01601	${}_{8}^{17}O$ Kislorod	16.99913
${}_{4}^{8}Be$ Berilliy	8.00531	${}_{13}^{21}Al$ Alyuminiy	26.98146

O‘lchov birliklari ulushlari

Tera, T	10^{12}	Deka, da	10	Nano, n	10^{-9}
Giga, G	10^{9}	Detsi, d	10^{-1}	Piko, p	10^{-12}
Mega, M	10^{6}	Santi, s	10^{-2}	Femto, f	10^{-15}
Kilo, k	10^{3}	Milli, m	10^{-3}	Atto , a	10^{-18}
Gekto, g	10^{2}	Mikro, mk	10^{-6}		

SINOV UCHUN BERILGAN

Doimiylar

Yer sirtida erkin tushish tezlanishi	$g= 9,81\ m/s^2$
Gravitatsiya doimiysi	$G=6,67\cdot10^{-11}\ N\cdot m^2/kg^2$
Avogadro doimiysi	$N_A= 6,02\cdot10^{23}\ mol^{-1}$
Botsmann doimiysi	$k= 1,38\cdot10^{-23}\ J/K$
Universal-gaz doimiysi	$R =8,31\ J/(mol\cdot K)$
Massaning atom birligi	$1\ u=1,66113\cdot10^{-27}\ kg$
Loshmidt soni	$n_L=N_A/V_0 = 2,686\cdot10^{25}\ m^{-3}$
Normal sharoitda 1 mol gaz hajmi	$V_0=22,414\ l/mol$
Yorug‘likning bo‘shliqdagi tezligi	$c= 3\cdot10^8\ m/s$
Kulon doimiysi	$k= 9\cdot10^9\ Nm^2/C^2$
Elektr doimiysi	$\varepsilon_0=8,85\cdot10^{-12}\ F/m$
Magnit doimiysi	$\mu_0=4\cdot\pi\cdot10^{-7}\ Hn/m$
Faradey doimiysi	$F= 96500\ C/mol$
Elektronning solishtirma zaryadi	$e/m_e=1,7588\cdot10^{11}\ C/kg$
Stefan-Boltsmann doimiysi	$\sigma=5,67\cdot10^{-3}\ W/(m^2\cdot K^4)$
Vin doimiysi	$b=2898\ \ m\cdot K$
Plank doimiysi	$h= 6,626\cdot10^{-34}\ J\cdot s$
Ridberg doimiysi	$R=3,293\cdot10^{15}\ Hz$
Elektronning tinchlikdagi massasi	$m_e=9,11\cdot10^{-31}kg=5,484\cdot10^{-4}\ u$
Protonning tinchlikdagi massasi	$m_p= 1,672\cdot10^{-27}kg=1,00759\ u$
Neytronning tinchlikdagi massasi	$m_n=1,675\cdot10^{-27}kg=1,00899\ u$
Elektronning tinchlikdagi energiyasi	$E_{0.e}=8,2\cdot10^{-14}\ J=0,512\ MeV$
Protonning tinchlikdagi energiyasi	$E_{0.p}=1,505\cdot10^{-10}\ J=939\ MeV$
Neytronning tinchlikdagi energiyasi	$E_{0.n}=1,508\cdot10^{-10}\ J=941\ MeV$
1 m.a.b.ga to‘g‘ri kelgan energiya	$934\ MeV$
Proton va neytroning massasi (elektron birligida)	$m_p=1836\cdot m_e \qquad m_n=1838,5\cdot m_e$

Yuza va Hajm

Yuza		Hajm
$1mm^2=10^{-6}m^2$ $1sm^2=10^{-4}m^2$ $1dm^2=10^{-2}m^2$	$1km^2=10^6m^2$ $1a(1ar=1sotok)=10^2m^2$ $1ga(1gektoar=100sotok)=$ $=100ar=10^4m^2$	$1mm^3=10^{-9}m^3=10^{-6}$ ℓ $1sm^3=10^{-6}m^3=10^{-3}$ ℓ $1dm^3=10^{-3}m^3=1$ ℓ $1km^3=10^9m^3=10^{12}$ℓ

SINOV UCHUN BERILGAN

Ba’zi moddalarning molyar massasi [*kg/mol*]

Kislorod atomi(O)	$16\cdot10^{-3}$	Propan (C_3H_8)	$44\cdot10^{-3}$
Kislorod molekulasi(O_2)	$32\cdot10^{-3}$	Geliy(He)	$4\cdot10^{-3}$
Vodorod atomi(H)	$1\cdot10^{-3}$	Temir(Fe)	$56\cdot10^{-3}$
Vodorod molekulasi(H_2)	$2\cdot10^{-3}$	Alyuminiy(Al)	$27\cdot10^{-3}$
Azot atomi(N)	$14\cdot10^{-3}$	Rux(Zn)	$65.4\cdot10^{-3}$
Azot molekulasi(N_2)	$28\cdot10^{-3}$	Qalay(Sn)	$119\cdot10^{-3}$
Xlor atomi (Cl)	$35,5\cdot10^{-3}$	Qo‘rg‘oshin(Pb)	$207.2\cdot10^{-3}$
Xlor molekulasi (Cl_2)	$70\cdot10^{-3}$	Simob(Hg)	$201\cdot10^{-3}$
Karbonat angidrid(CO_2)	$44\cdot10^{-3}$	Mis(Cu)	$63.6\cdot10^{-3}$
Argon(Ar)	$40\cdot10^{-3}$	Litiy(Li)	$7\cdot10^{-3}$
Is gazi(CO)	$28\cdot10^{-3}$	Oltin(Au)	$200\cdot10^{-3}$
Suv(H_2O)	$18\cdot10^{-3}$	Kumush(Ag)	$108\cdot10^{-3}$
Metan(CH_4)	$16\cdot10^{-3}$	Uran(U)	$238\cdot10^{-3}$
Etan(C_2H_6)	$30\cdot10^{-3}$	Havo	$29\cdot10^{-3}$

O‘lchov asboblarining vazifalari

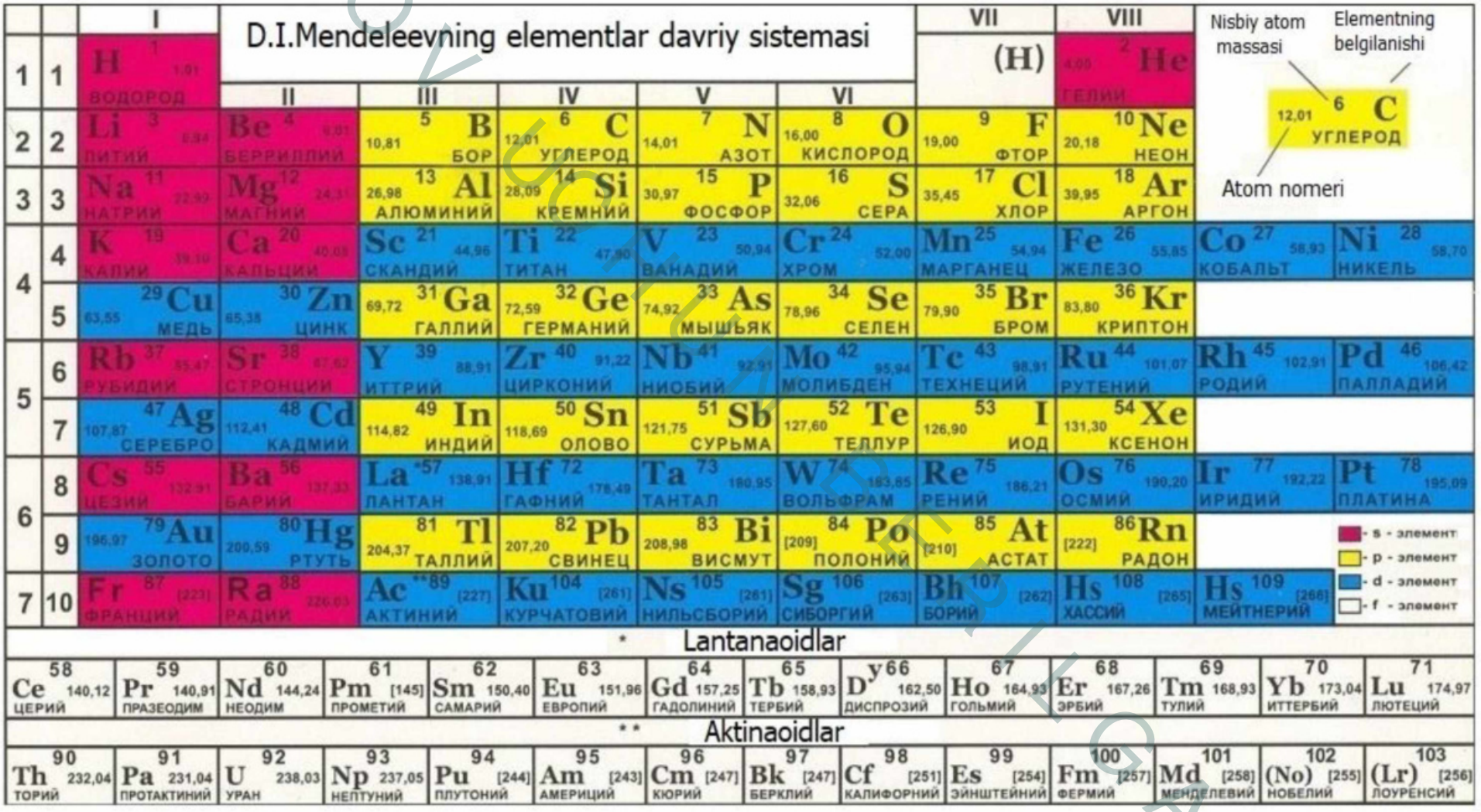
Psixrometr--- nisbiy namlikni	Ampermetr----tok kuchini
Gigrometr--- shudring nuqtasini	Voltmetr---kuchlanishni
Bolometr---- metallar temperaturasini	Galvonametr---kuchlanish va tok kuchini
Termometr----temperaturani	Elektrometr---zaryadlaydi va potensiallar farqi xosil qiladi.
Areometr---- suyuqlik zichligini	
Aneroid barometr---atmosfera bosimini	Elektroskop---zaryad miqdorini
Simobli barometr---- atmosfera bosimini	Taxometr---burovchi momentni
Monometr----idishdagi gaz bosimini	Staglometr---sirt taranglik koeffitsienti
Dinamometr----kuchni	Vyazkozimetr---qovushqoqlikni
Altmetr----balandlikni (samolyotlarda)	

XBSga kirmagam ba’zi kattaliklar

1m/s = 3,6km/soat	1J = 1/4,2 kal.	1 sutka = 86400 sek.
1km/soat = 1/3,6 m/s	1kVt·soat = 3,6MJ	1mm.sm.ust = 133,32 Pa
1ot kuchi = 736 Vt	$1eV = 1,6\cdot10^{-19}J$	$1astr.birl. = 1,5\cdot10^{9}$ m
1kW = 1,36 ot kuchi	$1J = 6,25\cdot10^{18}eV$	$1yoruglik\ yili = 9,5\cdot10^{15}$ m
1kal. = 4,2J	$1g/sm^3 = 1000\ kg/m^3$	$1Parsek = 3,1\cdot10^{16}$ m

SINOV UCHUN BERILGAN

SINOV UCHUN TAVSIYA ETILGAN



Trigonometri ayniyatlar

1. $\sin^2\alpha+\cos^2\alpha=1$
2. $tg\alpha=\dfrac{\sin\alpha}{\cos\alpha}$
3. $ctg\alpha=\dfrac{\cos\alpha}{\sin\alpha}$
4. $tg\alpha\cdot ctg\alpha=1$
5. $1+tg^2\alpha=\dfrac{1}{\cos^2\alpha}$
6. $1+ctg^2\alpha=\dfrac{1}{\sin^2\alpha}$

Qo‘shish formulalari

1. $\begin{cases}\sin(\alpha+\beta)=\sin\alpha\cdot\cos\beta+\cos\alpha\cdot\sin\beta\\ \sin(\alpha-\beta)=\sin\alpha\cdot\cos\beta-\cos\alpha\cdot\sin\beta\end{cases}$
2. $\begin{cases}\cos(\alpha+\beta)=\cos\alpha\cdot\cos\beta-\sin\alpha\cdot\sin\beta\\ \cos(\alpha-\beta)=\cos\alpha\cdot\cos\beta+\sin\alpha\cdot\sin\beta\end{cases}$
3. $\begin{cases}tg(\alpha+\beta)=\dfrac{tg\alpha+tg\beta}{1-tg\alpha\cdot tg\beta}\\ tg(\alpha-\beta)=\dfrac{tg\alpha-tg\beta}{1+tg\alpha\cdot tg\beta}\end{cases}$
4. $\begin{cases}ctg(\alpha+\beta)=\dfrac{ctg\alpha\cdot ctg\beta-1}{ctg\alpha+ctg\beta}\\ ctg(\alpha-\beta)=\dfrac{ctg\alpha\cdot ctg\beta+1}{ctg\beta-ctg\alpha}\end{cases}$

Ikkilangan burchak formulalari

1. $\sin 2\alpha=2\sin\alpha\cos\alpha$
2. $\cos 2\alpha=\begin{cases}\cos^2\alpha-\sin^2\alpha\\ 2\cos^2\alpha-1\\ 1-2\sin^2\alpha\end{cases}$
3. $tg2\alpha=\dfrac{2tg\alpha}{1-tg^2\alpha}$
4. $ctg2\alpha=\dfrac{ctg^2\alpha-1}{2ctg\alpha}$

Sinuslar va kosinuslar yig‘indisi va ayirmasi formulalari

1. $\sin\alpha+\sin\beta=2\sin\dfrac{\alpha+\beta}{2}\cdot\cos\dfrac{\alpha-\beta}{2}$
2. $\sin\alpha-\sin\beta=2\sin\dfrac{\alpha-\beta}{2}\cdot\cos\dfrac{\alpha+\beta}{2}$
3. $\cos\alpha+\cos\beta=2\cos\dfrac{\alpha+\beta}{2}\cdot\cos\dfrac{\alpha-\beta}{2}$
4. $\cos\alpha-\cos\beta=-2\sin\dfrac{\alpha+\beta}{2}\cdot\sin\dfrac{\alpha-\beta}{2}$

Sinuslar va kosinuslar ko‘paytmalarining formulalari

1. $\sin\alpha\cdot\sin\beta=\dfrac{1}{2}\cdot[\cos(\alpha-\beta)-\cos(\alpha+\beta)]$
2. $\cos\alpha\cdot\cos\beta=\dfrac{1}{2}\cdot[\cos(\alpha-\beta)+\cos(\alpha+\beta)]$
3. $\sin\alpha\cdot\cos\beta=\dfrac{1}{2}\cdot[\sin(\alpha-\beta)+\sin(\alpha+\beta)]$

SINOV UCHUN BERILGAN

Matematikadan hosila jadvali

Oddiy funksiyalar	Murakkab funksiyalar
$(kx+b)'=k$	$(ku+b)'=ku'$
$(x^n)'=n\cdot x^{n-1}$	$(u^n)'=n\cdot u^{n-1}\cdot u'$
$\left(\frac{1}{x}\right)'=-\frac{1}{x^2}$	$\left(\frac{1}{u}\right)'=-\frac{1}{u^2}\cdot u'$
$(\sin x)'=\cos x$	$(\sin u)'=\cos u\cdot u'$
$(\cos x)'=-\sin x$	$(\cos u)'=-\sin u\cdot u'$
$(tgx)'=\frac{1}{\cos^2 x}$	$(tgu)'=\frac{1}{\cos^2 u}\cdot u'$
$(ctgx)'=-\frac{1}{\sin^2 x}$	$(ctgu)'=-\frac{1}{\sin^2 u}\cdot u'$
$(\arcsin x)'=\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$	$(\arcsin u)'=\frac{1}{\sqrt{1-u^2}}\cdot u'$
$(\arccos x)'=-\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$	$(\arccos u)'=-\frac{1}{\sqrt{1-u^2}}\cdot u'$
$(arctgx)'=\frac{1}{1+x^2}$	$(arctgu)'=\frac{1}{1+u^2}\cdot u'$
$(arcctgx)'=-\frac{1}{1+x^2}$	$(arcctgu)'=-\frac{1}{1+u^2}\cdot u'$
$(e^x)'=e^x$	$(e^u)'=e^u\cdot u'$
$(a^x)'=a^x\cdot\ln a$	$(a^u)'=a^u\cdot\ln a\cdot u'$
$(\ln x)'=\frac{1}{x}$	$(\ln u)'=\frac{1}{u}\cdot u'$
$(\log_a x)'=\frac{1}{x\cdot\ln a}$	$(\log_a u)'=\frac{1}{u\cdot\ln a}\cdot u'$

SINOV UCHUN BERILGAN

Matematikadan integral jadvali

Oddiy funksiya	Murakkab funksiya
$\int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} + C$	$\int (kx+b)^n dx = \frac{1}{k} \cdot \frac{(kx+b)^{n+1}}{n+1} + C$
$\int \frac{dx}{\sqrt{x}} = 2\sqrt{x} + C$	$\int \frac{dx}{\sqrt{kx+b}} = \frac{2}{k} \cdot \sqrt{kx+b} + C$
$\int \sin x\, dx = -\cos x + C$	$\int \sin(kx+b) dx = -\frac{1}{k} \cdot \cos(kx+b) + C$
$\int \cos x\, dx = \sin x + C$	$\int \cos(kx+b) dx = \frac{1}{k} \cdot \sin(kx+b) + C$
$\int \frac{dx}{\cos^2 x} = tgx + C$	$\int \frac{dx}{\cos^2(kx+b)} = \frac{1}{k} \cdot tg(kx+b) + C$
$\int \frac{dx}{\sin^2 x} = -ctgx + C$	$\int \frac{dx}{\sin^2(kx+b)} = -\frac{1}{k} \cdot ctg(kx+b) + C$
$\int tgx\, dx = -\ln\lvert\cos x\rvert + C$	$\int tg(kx+b) dx = -\frac{1}{k} \cdot \ln\lvert\cos(kx+b)\rvert + C$
$\int ctgx\, dx = \ln\lvert\sin x\rvert + C$	$\int ctg(kx+b) dx = \frac{1}{k} \cdot \ln\lvert\sin(kx+b)\rvert + C$
$\int \frac{dx}{x} = \ln\lvert x\rvert + C$	$\int \frac{dx}{kx+b} = \frac{1}{k} \cdot \ln\lvert kx+b\rvert + C$
$\int e^x dx = e^x + C$	$\int e^{kx+b} dx = \frac{1}{k} \cdot e^{kx+b} + C$
$\int \frac{dx}{\sqrt{1-x^2}} = \arcsin x + C$	$\int \frac{dx}{\sqrt{a^2-x^2}} = \arcsin \frac{x}{a} + C$
$\int \frac{dx}{1+x^2} = arctgx + C$	$\int \frac{dx}{a^2+x^2} = \frac{1}{a} \cdot arctg \frac{x}{a} + C$
$\int \frac{dx}{\sin x} = \ln\left\lvert tg \frac{x}{2}\right\rvert + C$	$\int \frac{dx}{\sin(kx+b)} = \frac{1}{k} \cdot \ln\left\lvert tg \frac{kx+b}{2}\right\rvert + C$
$\int \frac{dx}{\cos x} = \ln\left\lvert tg\left(\frac{x}{2} + \frac{\pi}{4}\right)\right\rvert + C$	$\int \frac{dx}{\cos(kx+b)} = \frac{1}{k} \cdot \ln\left\lvert tg\left(\frac{kx+b}{2} + \frac{\pi}{4}\right)\right\rvert + C$

SINOVLARGA BERILGAN

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

Asosiy adabiyotlar

1. M.X.O‘lmasova. Mexanika va molekulyar fizika, akademik litseylar uchun o‘quv qo‘llanma, 1-kitob. “O‘qituvchi” nashriyoti. Toshkent.: 2004, 433 b.
2. M.X.O‘lmasova. Elektrodinamika asoslari, tebranishlar va to‘lqinlar, akademik litseylar uchun o‘quv qo‘llanma, 2-kitob. “O‘qituvchi” nashriyoti. Toshkent.: 2004, 360 b.
3. M.X.O‘lmasova. Optika, atom va yadro fizikasi, akademik litseylar uchun o‘quv qo‘llanma, 3-kitob. “Cho‘lpon” nashriyoti. Toshkent.: 2010, 384 b.
4. Axmedov Sh. B., Dusmuratov M.B. “Fizika (1-qism)”, akademik litsey o‘quvchilari uchun darslik. Navro‘z nashriyoti. Toshkent.: 2019. 435-b.
5. Axmedov Sh. B., Dusmuratov M. B. “Fizika (2-qism)”, akademik litsey o‘quvchilari uchun darslik. Navro‘z nashriyoti. Toshkent.: 2019. 470-b.
6. A.S.Nu’monxo‘jayev, R.Y.Komilova, K.A.Tursunmetov, A.X.Yunusov, B.Normatov, A.M.Xudoyberganov. Fizika, ma’ruzalar matni, akademik litseylar uchun qo‘llanma, 2-qism. “O‘qituvchi” nashriyoti. Toshkent.: 2003, 415 b.
7. A.S.Nu’monxo‘jayev, K.A.Tursunmetov, A.M.Xudoyberganov, M.A.Fattaxov, B.Normatov, N.A.Nurmatov . Fizika, ma’ruzalar matni, akademik litseylar uchun qo‘llanma sifatida tavsiya etilgan , 3-qism. “O‘qituvchi” nashriyoti. Toshkent.: 2001, 352 b.
8. N.M.Shaxmayev, S.N.Shaxmayev, D.Sh.Shodyiev. Fizika, 10-sinf. O‘qituvchi” nashriyoti. Toshkent.: 1993, 238b.
9. G.YA.Myakishev, I.B.Buxovsev. Fizika, uchebnik dlya 10 klassa sredney shkoli. –M.: Prosveshenie, 1990.–223 s.
10. G.Ya.Myakishev, B.B.Buxovsev. Fizika, 11-sinf. “O‘qituvchi” nashriyoti. Toshkent.: 1996, 304 b.
11. M.Muhitdinov, Sh,Ahmedov, B.Qutlimurotov. Fizikadan testlar va ularning yechimi, oliy o‘quv yurtlariga kiruvchi abituriyentlar uchun qo‘llanma, 1-qism. “O‘zbekiston” nashriyoti. Toshkent.: 2016, 423 b.
12. M.B.Dusmuratov. Fizika (oliy ta’lim muassasalariga kiruvchilar uchun qo‘llanma). Nizomiy nomidagi TDPU bosmaxobasi. Toshkent.: 2016, 521 b.
13. A.Qosimov, X.Jo‘raqulov, A.Safarov. Fizika kursi, mexanika, 1-qism. “O‘zbekiston” nashriyoti. Toshkent.: 1994, 320 b.
14. A.P.Rimkevich. Fizikadan masalalar to‘plami. “O‘qituvchi” nashriyoti. Toshkent.: 1993.
15. K.A.Tursunmetov, A.A.Uzoqov, I.Bo‘riboyev, A.M.Xudoyberganov. Fizikadan masalalar to‘plami. “O‘qituvchi” nashriyoti. Toshkent.: 2001, 256 b.
16. O‘.Q.Nazarov, X.Z.Ikromova, K.A.Tursunmetov. Umumiy fizika kursi (Mexanika va molekulyar fizika). “O‘zbekiston” nashriyoti. Toshkent.: 1992, 280b.
17. Q.P.Egamov, O‘.Egamov. Fizika, darslik. “Aloqachi” nashriyoti. Toshkent.: 2013, 507b.

SINOV UCHUN BERILGAN

Qo‘shimcha adabiyotlar

1. Сборник задач по физике. Часть I. Ш. Б. Ахмедов, С. Г. Таджи-Аглаева, Ш. А. Низамутдинова, Н. З. Кодиров. Toshkent.: 2019.
2. Сборник задач по физике. Часть II. Ш. Б. Ахмедов, С. Г. Таджи-Аглаева, Ш. А. Низамутдинова, Н. З. Кодиров. Toshkent.: 2019.
3. Hojiyev B.I. Fizika. 2008. “Fan” nashriyoti.
4. Usmanov M. Fizikadan masalalar to‘plami (Oliy o‘quv yurtlariga kiruvchilar uchun). Navro‘z nashriyoti. Toshkent.: 2018. 558-b.
5. Uzoqov A. Fizikadan testlar to‘plami (Oliy o‘quv yurtlariga kiruvchilar uchun). “Yangi Asr” nashriyoti. Toshkent.: 2017. 311-b.
6. Abiturent (1–8). “Spectrum media group”. Toshkent.: 2018.311-b.
7. Choriev R. va boshqalar. O'rta maxsus kasb-hunar ta'limi muassasalarida laboratoriya ishlari. T. "Talqin" 2002
8. Suyarov Q. T. va boshqalar. Mexanika va molekulyar fizika - T.: "O'qituvchi", 2002.
9. Xusanov A. X. va boshqalar. Elektrodinamika. Elektromagnit tebranishlar. – T.: "O'qituvchi", 2003.
10. Suyarov Q.T. va boshqalar. Fizikadan laboratoriya va namoyishli tajriba ishlari. –T.: "Talqin", 2002.
11. Suyarov Q. T va boshqalar. Fizika. I kitob. Mexanika. - T.: "Yangi nashr", 2009.
12. Suyarov Q. T., Usmonov Sh., Usarov. J. Fizika. II kitob. Molekulyar fizika. – T. "Yangi nashr", 2010.
13. Физика часть I . «Механика. Молекулярная физика, термодинамика» Т. М. Оплачко, К. А. Турмунметов.
14. Физика часть II . «Электродинамика. Оптика. Атомная физика» Т. М. Оплачко, К. А. Турмунметов.
15. Jurayev U.B., Umarov A. M., Qo’yboqov X. R. Fizika. I-qism. SamDU tahririy-nashriyot. 2020.
16. Jurayev U. B., Umarov A. M., Qo’yboqov X. R. Fizika. II-qism. SamDU tahririy-nashriyot. 2020.
17. Turdiyev N. Sh. va boshqalar. Fizika 10-sinf darsligi. ”Niso poligraf” Toshkent: 2017.
18. Turdiyev N. Sh. va boshqalar. Fizika 11-sinf darsligi. ”Niso poligraf” Toshkent: 2018.
19. A. A. Koptev, A. A. Pasko, A. A. Baranov. Maple v injenernыx raschetax. Tambovskiy gosudarstvennыy texnicheskiy universitet. – Tambov.: 2003
20. Primqulova, R.Turgunbaev, G.Eshchanova, Sh.Ismailov. Maple da matematik masalalarni yechish metodlari (metodik qo‘llanma). Nizomiy nomidagi Toshkent pedagogika Universtiteti. Toshkent.:2009.

SINOV UCHUN BERILGAN

21. A.V.Pogorelov. Geometriya, 7–11 sinflar. “O‘qituvchi” nashriyoti. Toshkent.: 1992.
22. D.Djankoli. Fizika, 1-chast. Izdatelstvo “Mir”. Moskva.: 1989, 656 s.
23. D.Djankoli. Fizika, 2-chast. Izdatelstvo “Mir”. Moskva.: 1989, 673s.
24. A.N.Remizov, A.YA.Potapenko. Kurs fiziki. OOO «Drofa». Moskva.: 2002, 720 s.
25. Ronald J. Hershberger, James J. Reynolds. Calculus with Applications, the 2nd edition. Lexington, Massachusetts.: Copyright © 1993 by D.C. Heath and Company.
26. Halliday & Resnick. Principles of physics. Cleveland state university. Cover image from © M.Darlush/Shutterstock, 9th edition. 2011. 1248 pages.

Elektron manbalar

1. 10 класс. Физика. Механика. Г.Я. Мякишев.
2. 11 класс. Физика. Оптика квантовая физика. Г. Я. Мякишев.
3. 10 класс. Физика. В.А. Касьянов.
4. 11 класс. Физика. В.А. Касьянов.
5. Nurmatov J. va boshqalar. Fizikadan laboratoriya ishlari. T.: "O'qituvchi", 2002.

SINOV UCHUN BERILGAN

MUNDARIJA

SO‘Z BOSHI	**3**
OPTIKA	**5**
I BOB. FOTOMETRIYA ASOSLARI	**6**
§ 1. Yorug‘lik va uning manbalari. Yorug‘lik oqimi va yorug‘lik kuchi	6
§ 2. Fotometriya qonunlari	15
I bobga doir laboratoriya ishlari	22
I bobga doir testlar	23
I bobga topshiriqlar	25
II BOB. GEOMETRIK OPIKA	**28**
§ 3. Geometrik optika qonunlari. Yorug‘likning qaytish qonuni. Yassi ko‘zgu va unda tasvir yasash	28
§ 4. Sferik ko‘zgular haqida tushuncha. Sferik ko‘zgularda tasvir yasash. Ko‘zgu formulasi. Ko‘zguning kattalashtirishi	40
§ 5. Yorug‘likning sinish qonuni. To‘la ichki qaytish hodisasi	52
§ 6. Nurning turli shaffof jismlardagi yo‘li	58
§ 7. Linzalar va uning turlari. Nurning linzadagi yo‘li linzada tasvir yasash. yupqa linza formulasi. Linza formulasidan kelib chiqadigan natijalar	72
§ 8. Optik kuchi. Linza optik kuchining material turi va geometrik o‘lchamlariga bog‘liqligi	82
§ 9. Ko‘z–optik asbob. Ko‘zning optik xususiyatlari	88
§ 10. Optik asboblar	94
II bobga doir laboratoriya ishlari	103
II bobga doir testlar	106
II bobga topshiriqlar	108
III BOB. TO‘LQIN OPTIKASI	**111**
§ 11. Yorug‘lik tezligi va uni o‘lchashning turli tarixiy usullari	111
§ 12. Yorug‘lik dispersiyasi	117
§ 13. Yorug‘lik interferensiyasi. Interferension manzarani hisoblash	124
§ 14. Yorug‘lik difraksiyasi. Franel-gyugens prinsipi. difraksiya natijasida hosil bo‘lgan interferension manzaralarni hisoblash	139
§ 15. Yorug‘likning qutblanishi. Qisman va to‘la qutblangan yorug‘lik. Bryuster va Malyus qonunlari	146
III bobga doir laboratoriya ishlari	154
III bobga doir testlar	159
III bobga topshiriqlar	164
IV BOB. YORUG‘LIKNING KVANT TABIATI	**166**
§ 16. Nurlanishning turlari. Nurlanish qonunlari	166
§ 17. Fotoeffekt qonunlari va fotoeffekt nazariyasi	178
§ 18. Foton va uning xarakteristikalari. Kompton effekti va yorug‘lik bosimini kvant nazariya bo‘yicha tushuntirish	185
§ 19. Elektromagnit to‘lqinlar shkalasi	193
IV bobga doir laboratoriya ishlari	200
IV bobga doir testlar	206
IV bobga topshiriqlar	208

SINOV UCHUN BERILGAN

V BOB. MAXSUS NISBIYLIK NAZARIYASI	**211**
§ 20. Efir gipotezasining muvaffaqiyatsizligi. Nisbiylik nazariyasining postulatlari. Lorents almashtirishlari	211
§ 21. Lorents almashtirishlaridan kelib chiqadigan natijalar. Bir vaqtlilikning, vaqt oralig‘ining hamda uzunlikning nisbiyligi	218
§ 22. Relyativistik tezliklarni qo‘shish. Relyativistik nisbiy tezlik. Relyativistik Doppler effekti	229
§ 23. Massaning nisbiyligi. Relyatibistik dinamikaning asosiy tenglamasi. Massa, energiya va impuls orasidagi bog‘lanish. Relyativistik kinetik energiya	235
V bobga doir testlar	246
V bobga topshiriqlar	248
ATOM, YADRO VA ZARRALAR FIZIKASI	**251**
VI BOB. ATOM FIZIKASI	**252**
§ 24. Atom haqida klassik tasavvurlarning rivojlanishi	252
§ 25. Bor postulatlari va ulardan kelib chiqadigan	262
§26. Moddalarning korpuskulyar-to‘lqin dualizmi. De-Broyl to‘lqini	274
§ 27. Kvant sonlari hamda atom va molekulalarning elektron bulutlari haqida tushuncha	282
§ 28. Lezerlar	296
VI bobga doir testlar	300
VI bobga topshiriqlar	303
VII BOB. YADRO FIZIKASI	**306**
§ 29. Radioaktivlik. Yemirilish va uning turlari. Siljish qoidasi. Radioaktiv yemirilish qonuni. Nurlanish aktivligi va dozasi.	306
§ 30. Atom yadrolarining umumiy xarakteristikasi	317
§ 31. Bog‘lanish energiyasi, solishtirma bog‘lanish energiyasi va massa defekti. Yadroni tavsiflovchi modellar	324
§ 32. Yadro reaksiyalari	329
VII bobga doir testlar	338
VII bobga topshiriqlar	340
VIII BOB. ZARRALAR FIZIKASI	**343**
§ 33. Elementar zarralarni qayd etish. Dastlabki kashf qilingan zarralar	343
§ 34. Elementar zarralarni xarakterlovchi kattaliklar. Anniglyatsiya. Elementar zarralarning sinflari	348
§ 35. Olamning yagona fizik manzarasi	352
VIII bobga doir laboratoriya ishlari	355
Test va topshiriqlarning javoblari	358
ILOVALAR	**361**
Foydalanilgan adabiyotlar ro’yxati	371

SINOV UCHUN BERILGAN