

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY, FAN VA  
INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI**

**BUXORO DAVLAT UNIVERSITETI**

**H.O. JO‘RAYEV, A.A. AMINOV**

**UMUMIY FIZIKA**

**O‘quv qo‘llanma**

**Buxoro – 2023**



Maskur o'quv qo'llanma 60540100-Matematika ta'lim yo'nalishi o'quv rejasidagi umumiy fizika fani o'quv dasturiga muvofiq tayyorlandi. Unda umumiy fizika kursining barcha bo'limlariga tegishli bo'lgan maruza mashg'ulotlarini qamrab olingan.

Mazkur o'quv qo'llanma umumta'lim, o'rta maxsus va kasb-hunar ta'limi muassasalari o'quvchilariga, abiturentlar va oliy ta'lim muassasalari talabalari ham foydalanishlari mumkin.

**Mas'ul muharrir:**

**S.Q. Qahhorov**, Pedagogika fanlari doktori, professor;

**Taqrizchilar:**

**M. Qurbonov**, Pedagogika fanlari doktori, professor;

**Sh.Sh. Fayziyev**, fizika-matematika fanlari falsafa doktori (PhD), dotsent.

## MUNDARIJA

SO‘Z BOSHI .....	5
1-Mavzu. “Fizika” fani bo‘yicha tushuncha. Kinematika asoslari. ....	8
2-Mavzu. Dinamikaning asosiy qonunlari .....	16
3-Mavzu. Mexanik ish va quvvat. Maxsus nisbiylik nazariyasi elementlari.....	26
4-Mavzu. Inersiya momenti. ....	35
5-Mavzu. Tebranma harakat. Mexanik to‘lqinlar. Akustika.....	42
6-Mavzu. Suyuqliklar mexanikasi. ....	55
7-Mavzu. Molekulyar kinetik nazariyaning asosiy qonunlari va tenglamalari. ....	72
8-Mavzu. Real gazlar .....	85
9-Mavzu. Elektrostatika. Kulon qonuni. Elektr maydoni .....	92
10-Mavzu. O‘zgarmas elektr toki. ....	105
11- Mavzu. Magnit maydon. Elektromagnit induksiya hodisasi .....	122
12-Mavzu. Elektromagnit tebranishlar va to‘lqinlar.....	134
13-Mavzu. Optikaning asosiy qonunlari. Yorug‘lik interfrentsiyasi. ....	139
14-Mavzu. Nurlanishning kvant tabiati. Fotoeffekt hodisasi.....	167
15-Mavzu. Atom va yadro fizikasi.....	175
GLOSSARIY .....	193
Foydalanilgan adabiyotlar .....	197

## SO‘Z BOSHI

“Najot ta’limda, najot tarbiyada, najot bilimda”.

**Sh.M.Mirziyoyev**

O‘zbekistonda ta’lim-tarbiya sohasini isloh qilishning asosiy omillaridan biri bu ta’lim jarayoniga zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini joriy etish bilan bog‘liq bo‘lib, bugun hayotimizga chuqur kirib borayotgan raqamli texnologiyalarni keng joriy etish, yoshlarimizni O‘zbekistonning qadimiy va boy tarixi, ezgu qadriyatlarimiz, yuksak axloqiy fazilatlar ruhida tarbiyalashga xizmat qiladigan milliy axborot resurslarini shakllantirish va rivojlantirish, bu borada o‘zbek tilining imkoniyatlaridan samarali foydalanish masalasi doimo e’tiborimiz markazida turishi lozim.

Bugungi kun ta’limining asosiy maqsadlaridan biri zamonaviy ta’lim tizimida yuqori sifatli texnologiyalarni joriy etib, ta’lim samaradorligini oshirish va ta’lim tizimini takomillashtirish, ta’lim jarayoniga axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini keng ko‘lamda joriy etishdan iborat.

Iqtisodiy nuqtai nazardan zamonaviy globallashuv, raqamli iqtisodiyot hamda yangi O‘zbekiston qurish sharoitida rivojlangan mamlakatlar tajribasida innovatsion faoliyatni tashkil qilish va qo‘llab-quvvatlash bo‘yicha xalqaro tajribani o‘rganish masalasi nafaqat korxonada darajasida balki oliy ta’lim muassasalarida mutaxassislar tayyorlash hamda ularning innovatsion faoliyatini takomillashtirishga ham xizmat qiladi.

Pedagogik nuqtai nazardan esa, zamonaviy ta’lim tizimida amalga oshirilayotgan innovatsion jarayonlar, avvalo, inson faoliyatining barcha sohalarida raqamli texnologiyalaridan faol foydalanish bilan bog‘liq va birinchi navbatda ta’limning sifati va samaradorligini oshirishga qaratilgandir. Shu munosabat bilan o‘quvchilarning kasbiy innovatsion faoliyati tubdan boshqacha ma’no kasb etadi. Innovatsion faoliyatning mohiyati va mazmuni shundan iboratki, o‘quvchilar uchun ta’lim sohasidagi har qanday yangilik o‘qituvchi tomonidan amalga oshirilgandagini

yuzaga chiqadi. Ya'ni, ta'lim jarayonida o'quvchilarni ob'ektdan sub'ektga aylantirish, birinchi navbatda, o'qituvchining kasbiy kompetentligiga bog'liqdir.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining Oliy Majlisga Murojaatnomasida mamlakatimiz zamonaviy yuksalishga erishish maqsadida innovatsion rivojlanish bosqichiga kirganligini e'tirof etilgan. "Innovatsiya – bu kelajak degani. Biz buyuk kelajagimizni barpo etishni aynan innovatsion g'oyalar asosida boshlashimiz kerak. Innovatsion rivojlanish va raqamli iqtisodiyot yo'liga o'tishimiz bejiz emas. Chunki zamon shiddat bilan rivojlanib borayotgan hozirgi davrda kim yutadi? Yangi fikr, yangi g'oyaga, innovatsiyaga tayangan davlat yutadi."

Har bir dars jarayonini zamonaviy axborot kommunikatsion texnologiyalar yordamida tashkillashtirish ta'lim beruvchi pedagogdan juda katta ma'suliyatni talab etadi. Ta'lim berish jarayonida ta'lim metod va vositalarini tanlash va amalga oshirishda ta'limning didaktik maqsad va vazifalari, zaruriy shart-sharoitlar, ta'lim oluvchilarning imkoniyatlari va ularning soni, mashg'ulotlarning davomiyligi, ta'lim beruvchining mahoratiga ta'lim oluvchilarning o'zlashtirish imkoniyatlariga tayangan holda, ta'limning metodi va vositalari bir-birini to'ldirib borgandagi amalga oshirilgan ta'lim tizimi samaradorlikka erishishi va kutilgan natijani berishi mumkin.

Fizika deb, tabiat hodisalarini, modda va maydon xossalari va ularning sabab va qonuniyatlarini o'rganuvchi fanga aytiladi.

Fizika yunoncha "physis"-tabiat degan so'zdan olingan bo'lib, tabiatshunoslik degan ma'noni anglatadi. Fizika fanini birinchi bo'lib qadimgi yunon mutafakkiri Aristotel (e.a. 384-322 y.y.) o'zining 8 tomlik kitobida bayon etgan.

Texnika va tabiatdagi yangi-yangi hodisalarning kashf qilinishi va ularning amalda qo'llanilishi natijasida fizikadan fizik-ximiya, astrofizika, geofizika, biofizika va boshqa mustaqil fanlar ajralib chiqdi.

Tabiat haqidagi fanlar orasida fizika alohida o'rin egallab, u materiya harakatining barcha shakllarini o'rganadi. Materiyaning turli ko'rinishlari va xususiyatlari bizning sezgi organlarimizga ta'sir etish natijasida ongimizda bu

ta'sirlar ob'ektiv borliq haqidagi tasavvurni hosil qiladi. Shuning uchun tabiatni o'rganish kuzatishdan boshlanadi. Ba'zan fizik hodisalarni kuzatish uchun sezgi organlari yetarli bo'lmaydi. Bu holda inson o'zi ixtiro qilgan o'lchash asboblari, ya'ni turli xil nihoyatda aniq asboblardan yordamida kuzatishlar olib boradi. Kuzatish natijalari - faktlarni sistemalashtirish, ba'zan maxsus tajribalar amalga oshirish yo'li bilan materiyaning u yoki bu xususiyatlari orasida mavjud bo'lgan umumiylik va o'zaro bog'liqlik aniqlanadi. Biror alohida hodisaga taalluqli bo'lgan faktlar orasida bog'lanish formula yoki qonun ko'rinishida aniqlanadi. Lekin fizika qonun va faktlardan iborat, deyish mumkin emas. Haqiqatan, faktlar va qonunlar orasida bog'lanish mavjudligini va bu bog'lanish sabablarini qidirish yo'lida turli farazlar yoki gipotezalar ilgari suriladi. Mazkur gipotezalarni tekshirish uchun yangi yangi tajribalar amalga oshiriladi. Tajribada tasdiqlangan gipoteza fizik nazariyaga aylanadi.

Zamonaviy fizika insonning tabiiy sezgi organlari umuman qayd qilmaydigan yoki qayd qila olmaydigan sohalarga (atomlar, yadrolar, elementar zarralar, turli maydonlar) kirib boryapti. Bu yo'nalishdagi ba'zi tushunchalarni idrok qilish juda qiyin, chunki ular bizning ongimizda shakllangan klassik tasavvurlardan farq qiladi. Bunday hollarda tabiat hodisalarini soddalashtirishga imkon beradigan modellardan foydalaniladi. Masalan, "ideal gaz", "absalyut qora jism", "atomning planetar modeli" kabi modellar bunga misol bo'ladi. Har qanday model ob'ektiv tabiatning birinchi yaqinlashuvdagi ifodasi bo'lsada, modellardan fizikani o'rganish jarayonida keng foydalaniladi, chunki ular fizik hodisani tushunish va tasavvur qilishda bizga ko'maklashadi.

Ushbu qo'llanmada 15 ta mavzu hamda ilovalardan iborat bo'lib, mavzularni yoritishda esa 500 dan ortiq formulalar, 200 dan ortiq grafik va tasvirlar keltirilgan. Ushbu qo'llanmani tayyorlashda 10 ga yaqin fizikaga oid adabiyotlar, turli spravochniklar hamda chet el adabiyotlaridan foydalanilgan.

## **1-Mavzu. “Fizika” fani bo‘yicha tushuncha. Kinematika asoslari. Reja**

1. Fizika fanining tarixi, fizika fanining boshqa fanlar bilan aloqasi.
2. Fizika fanning texnika taraqqiyotiga qo‘shgan hissasi.
3. Fizik kattaliklarning o‘lchov birligi. Fizika fani uning nazariy va eksperimental tadqiqot uslublari
4. Kinematika elementlari. Harakat bir tomonga yo‘nalgan kinematika.
5. Ko‘chishning o‘rtacha tezligi. Oniy tezlik. Tekis tezlanuvchan harakat.
6. Ikki va uch o‘lchovli kinematika.
7. Tekis va notekis aylanma harakat.

**Tayanch iboralar:** *fizika, mexanika, ko‘chish, yo‘l, SI, tezlik, harakat.*

Fizika so‘zi yunoncha „physis” — tabiat so‘zidan olingan bo‘lib, uning qonunlari barcha tabiatshunoslik bilimlarining asosida yotadi. Shuning uchun ham uni uzoq vaqt tabiat falsafasi deb ham ataganlar.

Tabiat qonunlarini chuqur o‘rganish bizni o‘rab turgan dunyo materiyaligini, ya’ni bizning ongimizdan tashqarida ham mavjudligini ko‘rsatadi. Bizni o‘rab turgan barcha mavjudot va bizning o‘zimiz ham, jumladan, fizikada ko‘p foydalaniladigan modda va maydon ham materiyaning ajralmas qismlaridir. Materiya doimo harakatda bo‘ladi, ya’ni vaqt o‘tishi bilan ularning o‘zaro joylashuvi, shakli, o‘lchamlari, agregat holati, fizik va kimyoviy xossalari o‘zgarib turadi. Harakat materiyaning ajralmas xossasi va mavjudlik shartidir.

Fizika materiya harakatining eng sodda ko‘rinishlari va tabiatning ularga mos eng umumiy qonunlari, materiyaning xossalari, tuzilishi haqidagi fandır. Fizikaviy qonunlarning birligi, olamning moddiyligi atrofimizdagi jismlar makroolamni tashkil etadi. Makroolamni tavsiflaydigan klassik fizikada materiya ikki shaklda – modda va maydon ko‘rinishida mavjud deb hisoblanadi. Materiya makon va zamonda mavjud bo‘ladi. Fizika tajribaviy fan bo‘lib, uning qonunlari tajriba natijalariga asoslanadi. Tajriba ma’lum qonunlarni tekshirish va yangi natijalarni aniqlash uchun o‘tkaziladi. Nazariya esa topilgan natijalarga tayanib tabiat



qonunlarini shakllantiradi, ma'lum hodisalarni tushuntiradi va ba'zan yangi hodisalarni bashorat qiladi.

Tirik biologik va o'simlik ob'ektlari aniq qonuniyat bo'yicha rivojlanadi. Hayot fizikasi - biofizika turli xil mutaxassislarni diqqatini o'ziga keng qamrovli jalb qiladi: biologik ob'yektlarda sodir bo'ladigan jarayonlar juda murakkabdir, ammo bu jarayonlarni, fizika o'rganadigan materiya harakatining eng sodda shakllari yig'indisidan iborat deb qarash mumkin. O'lchash - deb o'lchanayotgan kattalikni shu kattalik bilan bir jinsli bo'lgan va uning birligi qilib qabul qilingan etalon qiymati bilan taqqoslashga aytiladi. Biror kattalikning o'lchangan qiymati, uning haqiqiy qiymatidan farq qiladi. Biroq kattalikning haqiqiy qiymatiga yaqinlashish uchun barcha ayrim o'lchashlarda topilgan natijalarning o'rtacha arifmetik qiymati hisoblanadi va bu o'rta qiymat o'lchanayotgan natijalarga nisbatan eng yaqin bo'ladi). Suvning uchlanma nuqtasini xarakterlovchi termodinamik temperaturaning  $1/273,16$  ulishi 1 Kelvin deb qabul qilingan.

Modda miqdori, Mol (Mol). Uglerod – 12 ning 0,012 kg massasidagi moddaning miqdori 1 mol deb qabul qilingan.

Yorug'lik kuchi, kandela (kd). 540 (1012 Gz chastotali monoxromatik nurlanish chiqarayotgan manba yorug'ligining energetik kuchi  $1/683$  Wt/Sr ga teng bo'lgan yo'nalishdagi yorug'lik kuchi 1 kandela deb qabul qilingan.

Qo'shimcha birliklar:

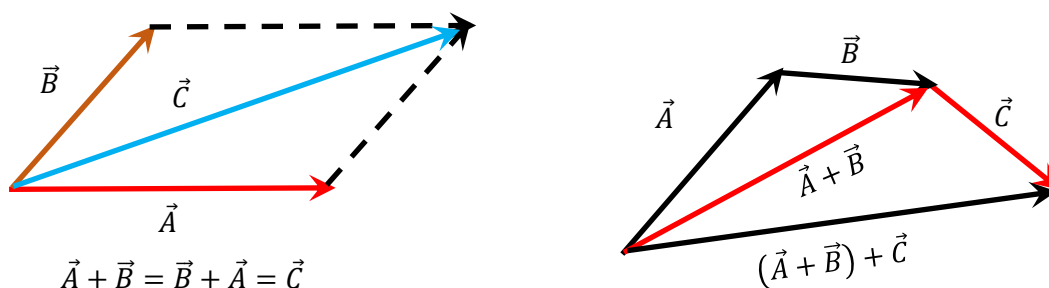
Yassi burchak, radian (rad). Aylanada uzunligi radiusga teng bo'lgan yoyni ajratadigan ikki radius orasidagi burchak 1 radian deb qabul qilinadi.

Fazoviy burchak, steradian (sr). Uchi sfera markazida joylashgan va shu sfera sirtidan radius kvadratiga teng yuzli sirtini ajratuvchi fazoviy burchak 1 steradian deb qabul qilingan.

### **O'lchashlar va vektorlar**

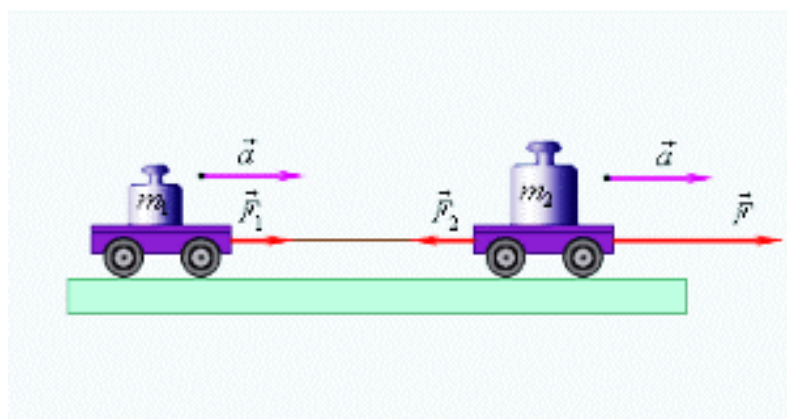
Fizik kattaliklar ikki xil bo'ladi: vektor va skalyar fizik kattaliklar. Faqat son qiymati bilan aniqlanadigan fizik kattaliklar skalyar kattaliklar deyiladi. Nafaqat son qiymati balki yo'nalishi bilan ham xarakterlanadigan kattaliklar vektor kattaliklar deyildi. Vektor kattaliklarning yo'nalishini aniqlashda vektorlar ustida bajariladigan

amallardan foydalaniladi. Masalan A va B vektorlarni yig'ini C vektorni beradi. A, B va C vektorlar esa  $(A+B)+C$  ni tashkil etadi.



1.1-rasm. Vektorlarni qo'shish

Jismlarning o'zaro ta'sirini va mexanik harakat qonuniyatlarini o'rganish bilan shug'ullanuvchi fizikaning bo'limini **mexanika** deyiladi.



1.2-rasm. Jismlarning o'zaro ta'sirini va mexanik harakat

Jism yoki jism qismlarining o'zaro joylashuvining o'zgarishi tabiatdagi harakat turlaridan biri ya'ni mexanik harakatdir.

Shunga ko'ra mexanik ta'sir ostidagi jism deganda unga boshqa jismlarning ta'sirini ya'ni ko'rilayotgan jismning mexanik harakat holatini o'zgarishi yoki uning deformatsiyalanishi – uning qismlarini o'zaro joylashuvini o'zgarishi tushuniladi. Tez harakatlanuvchi jismning relyativistik mexanikasidan farqli kichik tezlik bilan (yorug'likning vakuumdagi tezligi  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$  ga solishtirilganda) harakatlanuvchi jism mexanikasi klassik mexanika deyiladi. Klassik mexanika asoslarini I.Nyuton ishlab chiqdi. Shuning uchun uni odatdagidek Nyuton

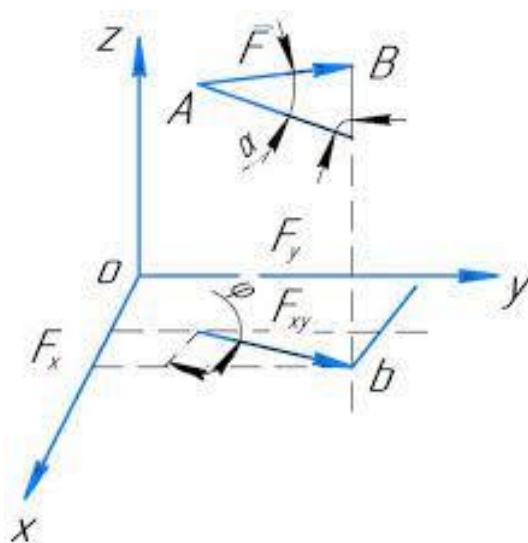
mexanikasi deyiladi. Nyuton mexanikasi moddiy nuqta mexanikasi deb ham yuritiladi.

**Moddiy nuqta** deb, berilgan masala uchun shakli va o'lchamlarini e'tiborga olmasa ham bo'ladigan jismga aytiladi.

Birdan-bir va o'sha jismni bitta masala uchun moddiy nuqta deb hisoblash mumkin, boshqasi uchun mumkin emas. Masalan, Yer va boshqa planetalarning Quyosh atrofidagi harakat traektoriyasini ko'rilayotganda Yer va boshqa planetalarni moddiy nuqta deb qarash mumkin, chunki planetalar o'lchami uning orbitalarini o'lchamidan kichik.

**Absolyut qattiq jism** deb, xoxlagan ikki nuqtasi orasidagi masofa doimo o'zgar olmay qoladigan jismga aytiladi. Bu modellardagi ko'rilayotgan masalalarda jism boshqa jismlar bilan o'zaro ta'sirlashganda deformatsiya juda ham kichik bo'lgan hollarda foydalaniladi.

Hamma jismlar mavjud hamda fazo va vaqtda harakatlanadi. Fazo va vaqt tushunchasi hamma tabiiy fanlarning asosini tashkil qiladi. Har qanday jism hajmga ya'ni fazoviy ko'lamga ega. Vaqt-har qanday jarayon va harakat holatining o'zgarishini tartibga keltiradi. U jarayonning davomiyligini o'lchovi bo'lib xizmat qiladi. Shunday qilib, fazo va vaqt xususan materiyaning umumiy shaklini mavjudligini ifodalaydi. O'rganilayotgan jismning holatini ixtiyoriy vaqt momentida bir xil mazmunda aniqlash uchun sanoq tizimini tanlab olishimiz zarur.



1.3-rasm Sanoq sestemasi tasvirlangan

**Sanoq tizimi** deb, koordinatalar tizimi soat bilan taminlangan hamda absolyut qattiq jism bilan qattiq bog‘langan va unga nisbatan vaqtning har xil momentlarida boshqa jismlarning holatlarini aniqlaydigan tizimga aytiladi.

1.3-rasm (sanoq sestemasi tasvirlangan) Buning uchun soat o‘rnida vaqtni o‘lchaydigan yoki, aniq hodisalar oraligidagi vaqtni o‘lchashda har qanday qurilmalardan foydalanish mumkin, shu kabi unga teng kuchli bo‘lgan vaqtda sanoq boshini ixtiyoriy tanlash mumkin. Nyuton mexanikasida fazoning xossalari Yevklid geometriyasi bilan tavsiflanadi, vaqt o‘tishi esa hamma sanoq tizimlarida bir xil deb taxmin qilinadi. Bundan buyon Yer bilan qattiq bog‘langan sanoq tizimini Yer yoki laboratoriya deb ataymiz.

Mexanik harakat. Moddiy nuqta. Sanoq sistemasi. Harakati o‘rganilayotgan jismning kattaligi va shakli kuzatilayotgan sharoitda hech qanday ahamiyatga ega bo‘lmasa, bunday jism moddiy nuqta deb qaraladi.

Sanoq sistemasi. Istalgan bir jismning harakati boshqa bir jismga yoki bir-birlariga nisbatan olib o‘rganiladi. Sanoq sistemasi sifatida biror qattiq jism bilan bog‘langan, o‘zaro bir-birlariga tik bo‘lgan 3 ta o‘qdan iborat bo‘lgan dekart koordinatalar sistemasi qo‘llaniladi. Bunday sanoq sistemasi moddiy nuqta deb qaralishi mumkin bo‘lgan jismning istalgan vaqtda fazodagi o‘rnini to‘la aniqlash imkonini beradi. Nuqtaning fazodagi o‘rnini  $X$ ,  $Y$  va  $Z$  koordinatalari orqali aniqlanadi.

**Mexanika** deb materiyaning eng sodda harakati jismlarning yoki ular qismlarining bir-biriga nisbatan ko‘chishi haqidagi ta‘limotga aytiladi.

Har qanday jismning fazodagi vaziyati sanoq sestimasi deb ataluvchi boshqa jism yoki jismlar sistemasiga nisbatan aniqlanadi. Jismlarning sanoq sistemasiga nisbatan qilgan harakatiga **nisbiy harakat** deyiladi.

Jismlarning harakati ham tinch holati ham nisbiydir.

**Moddiy nuqta** deb, tekshirilayotgan masofaga nisbatan o‘lchamlari juda kichik va shakli hisobga olinmasa ham bo‘laveradigan jismlarga aytiladi.

Harakatlanayotgan moddiy nuqtaning fazoda qoldirgan iziga **harakat trektoriyasi** deyiladi.

Harakatning trayektoriyasi shakliga qarab to'g'ri chiziqli va egri chiziqli harakatlarga ajraladi.

Moddiy nuqtaning biror vaqt oralig'ida har xil masofalar o'tiladigan trektoriyasining uzunligi **o'tilgan yo'l** deyiladi.

Harakat trektoriyasining bir nuqtasidan ikkinchi nuqtasiga yo'nalgan kesmadan iborat bo'gan vektor kattalikka ko'chish deyiladi. Moddiy nuqtaning teng vaqtlar oralig'ida o'tgan masofasiga qarab harakatlar tekis va notekis harakatlarga ajraladi.

**Tekis harakat** deb, teng vaqtlar oralig'ida bir xil masofalar o'tiladigan harakatga aytiladi.

**Notekis harakat** deb, teng vaqtlar oralig'ida har xil masofalar o'tiladigan harakatga aytiladi.

O'lchami hisobga olinadigan jismning harakatini, bu jismni tashkil qilgan moddiy nuqta deb qaraladigan elementlar bo'laklar harakatining yig'indisidan iborat deb qarash mumkin.

Harakatning asosiy xarakteristikalarini: **tezlik, tezlanish** hisoblanadi.

Jismlardagi nuqtalarning bir-biriga nisbatan ko'chishga qarab, jismning harakati ilgarilanma va aylanma harakatlarga ajraladi.

**Ilgarilanma harakat** deb, jismdagi ixtiyoriy ikki nuqtasini birlashtiruvchi ixtiyoriy to'g'ri chiziq o'z-o'ziga parallelligicha qoladigan harakatga aytiladi.

**Aylanma harakat** deb, jismning barcha nuqtalari parallel tekisliklardagi markazlari bir to'g'ri chiziqda yotgan aylanalar chizadigan harakatga aytiladi.

Mexanika uch qismga bo'linadi: **kinematika, dinamika, statika**. Harakatning uni sabablarisiz tekshiradigan mexanikaning bo'limiga **kinematika** deyiladi.

Kinematikaning asosiy vazifasi vaqt o'tishi bilan jism vaziyatining fazodagi o'zgarishidan iborat bo'lgan harakat trektoriyasini aniqlashdan iborat.

**To'g'ri chiziqli tekis harakat** deb, teng vaqtlar oralig'ida bir xil masofani o'tgan va trayektoriyasi to'g'ri chiziqdan iborat bo'lgan jism harakatga aytiladi.

To'g'ri chiziqli tekis harakat tezlik deb ataluvchi kattalik bilan harakatlanadi va quyidagi formulada hisoblanadi.

$$v = \frac{S}{t} \quad (1.1)$$

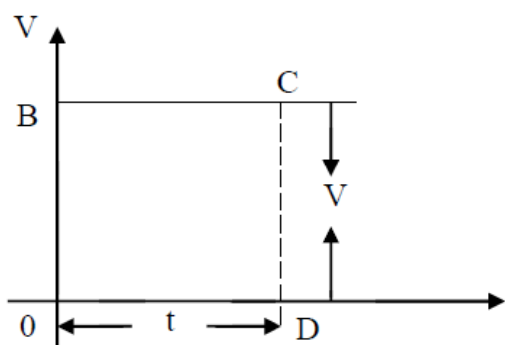
Demak, **tezlik** deb vaqt birligi ichida o'tilgan yo'lga miqdor jihatdan teng bo'lgan fizik kattalikka aytiladi. Bu harakatda

$$v = const \quad (1.2)$$

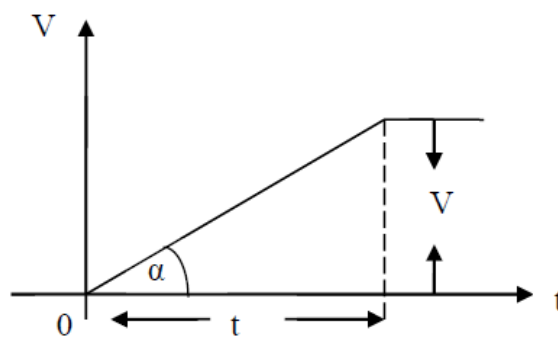
To'g'ri chiziqli tekis harakatning asosiy teglamasi quyidagicha bo'ladi.

$$S = v \cdot t \quad (1.3)$$

Demak to'g'ri chiziqli tekis harakatda yo'l (argument) vaqtning chiziqli funksiyasidir. Tekis harakatning tezlik va yo'l grafigi quyidagicha bo'ladi:



1.4-rasm to'g'ri chiziqli tekis harakat



1.5-rasm to'g'ri chiziqli o'zgaruvchan harakat

(1.4-rasm) **To'g'ri chiziqli tekis o'zgaruvchan harakat** deb, trayektoriyasi to'g'ri chiziqdan iborat bo'lgan va teng vaqtlar oralig'ida har xil masofalar o'tiladigan harakatga aytiladi. U quyidagi formuladan foydalanib aniqlanadi.

$$v_{ort} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Har qanday o'zgaruvchan harakat o'rtacha niy tezliklar bilan xarakterlanadi.

**O'zgaruvchan harakatning o'rtacha tezligi** deb, ma'lum vaqtda o'tilgan yo'lni shu vaqt ichida tekis harakat bilan bosib o'tilgan harakat tezligiga aytiladi.

Bunda:

$$t_1 = t_2 = \dots = t_n = \frac{t}{n} \quad v_{ort} = \frac{v_1 + v_2 + \dots + v_n}{n} \quad S = v_{ort} \cdot t$$

bo'ladi.

**O‘zgaruvchan harakatning oniy tezligi** deb, harakatning ma’lum bir paytga yoki troektoriyasi to‘g‘ri chiziqdan iborat va trayektoriyasining aniq bir nuqtasiga mos kelgan tezlikka aytiladi, ya’ni:

$$v_{ony} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$$

Harakat tezligining o‘zgarishi tezlanish deb ataluvchi fizik kattalik bilan xarakterlanadi.

**To‘g‘ri chizikli tekis o‘zgaruvchan harakat tezlanishi** deb vaqt birligi ichida tezlikning miqdor jihatdan o‘zgarishiga teng bo‘lgan fizik kattalikka aytiladi, ya’ni;

$$a = \frac{v_t - v_0}{t}$$

$v_t = v_0 \pm a \cdot t$  Bunda:

$a > 0$  bo‘lsa, tekis tezlanuvchan harakat,

$a < 0$  bo‘lsa tekis sekinlanuvchan harakat bo‘ladi.

Tekis o‘zgaruvchan harakat grafigi quyidagicha (1.5 rasm )

Tekis o‘zgaruvchan harakatda yo‘l formulasi quyidagicha bo‘ladi:

$$S = v_0 \cdot t \pm \frac{a \cdot t^2}{2} \text{ agar tezlikka } v_{o'rt} = \frac{v_t + v_0}{2} \text{ deb olsak } S = v_{o'rt} \cdot t = \frac{v_t + v_0}{2} \cdot t$$

bo‘ladi. Vertikal harakatda yo‘l (balandlik ) bilan almashtiriladi ( $S=h$ ).

Moddiy nuqtaning to‘g‘ri chizikli tekis o‘zgaruvchan harakati. Moddiy nuqta deb hisoblanishi mumkin bo‘lgan jism tezligining harakat davomida faqat miqdori (qiymati) o‘zgarib, yo‘nalishi esa o‘zgarmasdan qolsa, bunday harakat trayektoriyasi to‘g‘ri chiziqdan iborat bo‘ladi va uni to‘g‘ri chizikli harakat deb ataladi. Agar harakat davomida  $a = const$  va u musbat ishorali bo‘lsa, tezlik va tezlanish yo‘nalishi bir xil bo‘ladi va  $v_t = v_0 + a \cdot t$  ko‘rinishda yoziladi. Vaqt o‘tishi bilan tezlik qiymati bir xilda ortib boradi. Bunday harakatni **tekis tezlanuvchan harakat** deyiladi.

Aks holda,  $a$ - manfiy ishorali, demak, tezlik va tezlanish qarama-qarshi yo‘nalishda bo‘lsa, harakat tekis sekinlanuvchan harakat deyiladi. Moddiy

nuqtaning to'g'ri chiziqli tekis o'zgaruvchan harakatida yo'l formulasi quyidagicha ifodalanadi:

$$S = v_0 \cdot t - \frac{a \cdot t^2}{2} \quad (1.4)$$

### Nazorat savollari

1. Fizika qanday fan? Fizikani rivojlanish tarixi qanday?
2. Fizikaning boshqa fanlar taraqqiyotidagi ahamiyati qanday?
3. Fizika fanining fan va texnikadagi ahamiyati qanday? Fizika fanining kelajagi haqida nimalar deya olasiz?
4. Nazariy fizika alohida fan sifatida qachon va kim tomonidan nazariyaga aylantirildi? Nazariy fizikaning bosh taraqqiyot yo'nalishlarini sanab o'ting?
5. Qanday nazariyotchi va eksperimentatorlarni bilasiz?
6. Eksperimental fizikaning texnikaga munosabati qanday ekanligini tushuntiring. Qanday eksperimental metodlarni bilasiz?
7. Moddiy nuqtaga ta'rif bering? Sanoq sistemasi deb nimaga aytiladi?
8. Trayektoriya, ko'chish va yo'l deb nimaga aytiladi?
9. Tezlik qanday fizik kattalik? Tezlanishni tushuntiring.
10. Tezlik va tezlanish birliklari qanday aniqlanadi?
11. Siljish masofasi va radius vektor o'zgarishi qanday?

## 2-Mavzu. Dinamikaning asosiy qonunlari Reja

1. Butun olam tortishish qonunlari. Gravitatsion va inert massalari.
2. Sun'iy yo'ldoshlar va vaznsizlik. Kepler qonunlari.
3. Kuch. Massa, zichlik, harakat miqdorlari haqida tushuncha.
4. Nyuton qonunlari va ularning tadbiqu.

**Tayanch iboralar:** butun olam tortishish qonuni, gravitatsiya, kepler qonunlari, kuch, massa, zichlik.

Tortishish kuchi-tabiatda eng buyuk kuch. Inson hayoti bu kuchga chambarchas bog'liq. Tog' jinslarini birlashishi, planeta suvining yigilishi, dengiz va okeanlarning paydo bo'lishi, yerning moviy atmosferani ushlab turishi va h. k.lar



tortishish kuchi tufaylidir. Bu kuch bo‘lmaganda edi, planetalardan tortib, mayda osmon jismlari-meteor, astroidlar ham koinot qorong‘uligiga sochilib ketardi, - umuman koinotning tuzilishi buzilib ketardi.

**Butun olam tortishish qonuni shunday ta’riflanadi:** Jismlar bir-biri bilan massalarining ko‘paytmasiga to‘g‘ri proporsional, oralaridagi masofaning kvadratiga teskari proporsional bo‘lgan kuch bilan tortishadi:

$$F = \frac{GmM}{R^2} \quad (2.1)$$

bu yerda  $G = 6,62 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$  butun olam tortishish doimiysi bo‘lib, uning fizik ma’nosi: massalari 1 kg dan bo‘lgan jism 1 m masofada  $6,62 \cdot 10^{-11} N$  kuch bilan ta’sirlashadi. Bundan ko‘rinadiki, mikrojismlar orasidagi tortishish kuchi juda kichik bo‘lib, aksincha koinot jismlari orasida katta bo‘ladi. Butun olam tortishish qonuni ikki jism orasidagi tortishish kuchini ifodalab qolmasdan, hozirgi zamon kosmologiyasi asosi-olamimizning o‘zgaruvchanligini ham ko‘rsatib beradi.

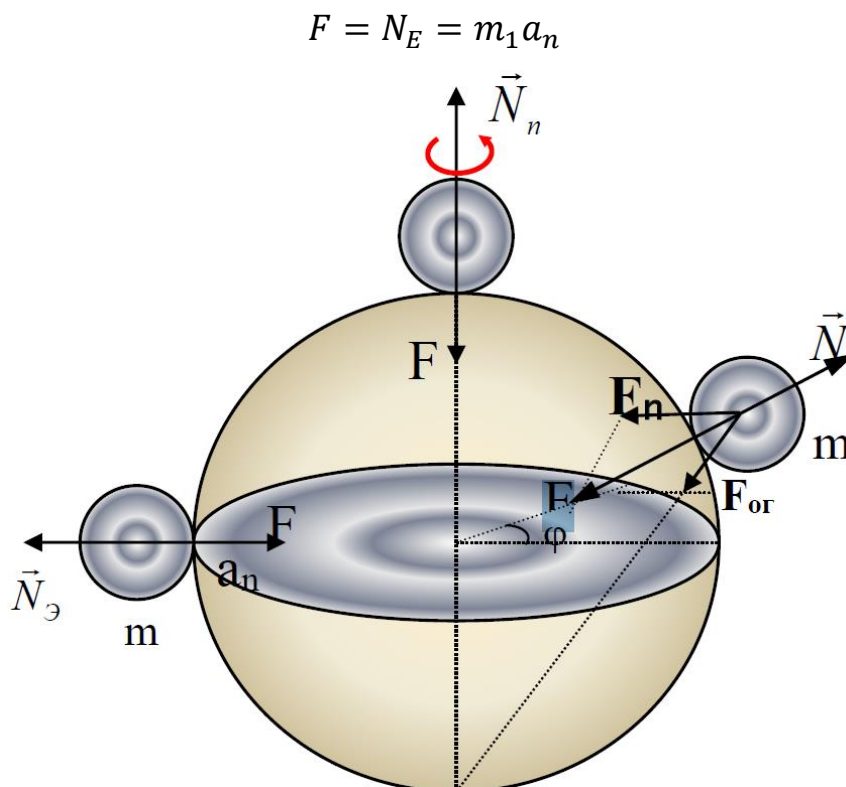
Haqiqatan butun olam tortishish qonunidan jismlar o‘zaro ta’sirlashib  $a = \frac{Gm}{R^2}$  tezlanish oladi. Har qanday galaktikalar R masofada turib nisbiy manfiy  $a$  tezlanishiga ega bo‘ladi: bu koinotni o‘garuvchanligini bildiradi. Haqiqatan, osmon jismlari bir-biriga yaqinlashib - uzoqlashganda ularning tezlanishi o‘zgaradi, natijada ularning zichligi o‘zgaradi. Nyuton o‘z nazariyasida buni nazarda tutmagan edi. Bizning asrimizga kelib bu hodisa tasdiqlangan. Bu nazariyaga asosan qandaydir  $t=0$  vaqtda koinot bir joyga to‘plangan va juda katta zichlikka ega bo‘lgan. “Katta portlash” dan keyin koinot kengayishi boshlangan va bu narsa hozir ham davom etmoqda. Yer sirtidagi jism uchun (2.1) formulani quyidagicha yozish mumkin:

$$F = ma = G \frac{mM_{yer}}{R_{yer}^2} \quad (2.2)$$

(2.2) dan  $a = g = \frac{GM_{yer}}{R_{yer}^2} = 9,81 \frac{m}{s^2}$  Bu tezlanish erkin tushish tezlanishi deyiladi.

Og‘irlik kuchi, yerning (Mars, Oy...) tortishi tufayli yuzaga keladigan kuch og‘irlik kuchi deb ataladi. Og‘irlik kuchi yer qutblari va ekvatoridan tashqari, yer sirtining hamma nuqtalarida tortishish kuchi bilan mos tushmaydi (2.1-rasm). Buning sababi

yerning o‘z o‘qi atrofida aylanishidir. Ekvatordagi  $m_1$  jism uchun Nyuton ikkinchi qonunining ko‘rinishi:



2.1-rasm

Ularning proyeksiyalari  $F - N_E = m_1 a_n$  yoki  $N_E = F - m_1 a_n$   $N_E = F_{ogr}$  ekanligidan  $F_{ogr} = F - m_1 a_n$  hosil bo‘ladi.

Qutublarda  $a_n = 0$  bo‘lganligi uchun  $F - N_n = m_1 a_n = 0$  bo‘ladi.

### ***Koinotdagi harakat***

**Kosmik tezliklar** deb-jismlarning kosmik fazoda qo‘yilgan maqsadga binoan harakatlana olishlari uchun ularga berilgan boshlang‘ich tezliklarga aytiladi.

**I kosmik tezlik:** Yerning suniy yo‘ldoshi bo‘lishi va yer sirti atrofida aylanma harakat qilishi uchun beriladigan boshlang‘ich tezlikka aytiladi.

$$v_I = \sqrt{\vec{g} \cdot R} \approx 7,9 \frac{km}{s}$$

**II kosmik tezlik:** Yerning tortishish sferasidan chiqib, quyoshning suniy yo‘ldosi bo‘lib, harakatlanishi uchun beriladigan tezlikka aytiladi.

$$v_{II} = \sqrt{2 \cdot \vec{g} \cdot R} \approx 11,2 \frac{km}{s}$$

**III kosmik tezlik:** Quyoshning tortishish sferasidan chiqib, gallaktikaning suniy yo‘ldosi bo‘lib, harakatlanishi uchun beriladigan tezlikka aytiladi.

$$v_{III} \approx 16,7 \frac{km}{s}$$

**Kepler qonuni:** Koinotda aylanma harakat qilayotgan jismlarning davrlari kvadratlarining nisbati radiuslarining kublar nisbatiga to‘g‘ri proporsional.

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{R_1^3}{R_2^3}$$

### *Noinertsial sanoq sistemalari. Inertsiya kuchlari*

Nyuton qonunlari hamma sanoq sistemalarida ham bajarilavermaydi. Bu qonunlar fakat inertsial sanoq sistemalarida to‘g‘ri bo‘ladi. Quyosh bilan bog‘langan sistemani inertsial deyish mumkin. Hamma inertsial sistemalar bir-biriga nisbatan tekis harakat qiladi yoki tinch holatda bo‘ladi. Inertsial sistemalarga nisbatan tezlanish bilan harakatlanadigan sistemalar noinertsial sistemalar deyiladi. Noinertsial sistemalar mexanikasiga misol tariqasida tezlanish bilan harakatlanadigan poezdni ko‘rib chiqamiz. Poezd ichidagi narsalar hech qanday kuch ta‘sir etmasada tezlanish oladi, yuklar qo‘yilgan joyidan tushib ketadi, yo‘lovchilar vagon devoriga siqiladi va h.k. Noinertsial sanoq sistemasiga Nyutonning ikkinchi qonunini tadbiiq etish uchun inertsiya kuchi deb ataluvchi ko‘shimcha kuchlar kiritiladi. Noinertsial sanoq sistemasining ixtiyoriy harakatida va bu sistemadagi jismlarning harakatiga inertsiya kuchining ta‘sirini hisoblash ancha murakkab masala. Shuning uchun oddiyroq misol ko‘ramiz. Noinertsial sanoq sistemasidagi tinch turgan jism inertsial sanoq sistemasiga nisbatan to‘g‘ri chiziqli o‘zgarmas tezlik bilan harakat qilayotgan bo‘lsin (2.2-rasm).

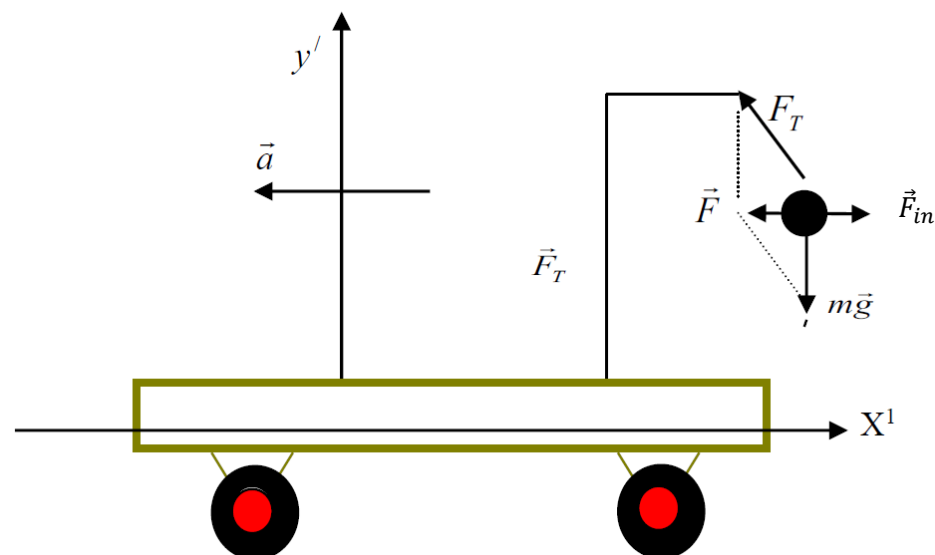
Mayatnik o‘rnatilgan aravacha to‘g‘ri chiziqli tekis tezlanuvchan harakat qilayotgan bo‘lsin. Bunda mayatnik  $\alpha$  burchakka og‘adi. Inertsial sanoq sistemasida turgan kuzatuvchi (yo‘l chetida turgan odam) mayatnikka  $mg$  og‘irlik kuchi va  $F_t$  taranglik kuchi ta‘sir etayapti deb hisoblaydi. Bu kuchlarning teng ta‘sir etuvchisi:

$$F = F_t = mg = ma$$

Noinertsial sanoq sistemasida turgan kuzatuvchi (aravachadagi odam) mayatnik  $\alpha$  burchakka og‘ishini sezadi. Bu kuzatuvchi Nyuton qonunlarini qo‘llash uchun uchinchi kuchni kiritishga majbur bo‘ladi:

$$F_{in} = -ma \quad (2.3)$$

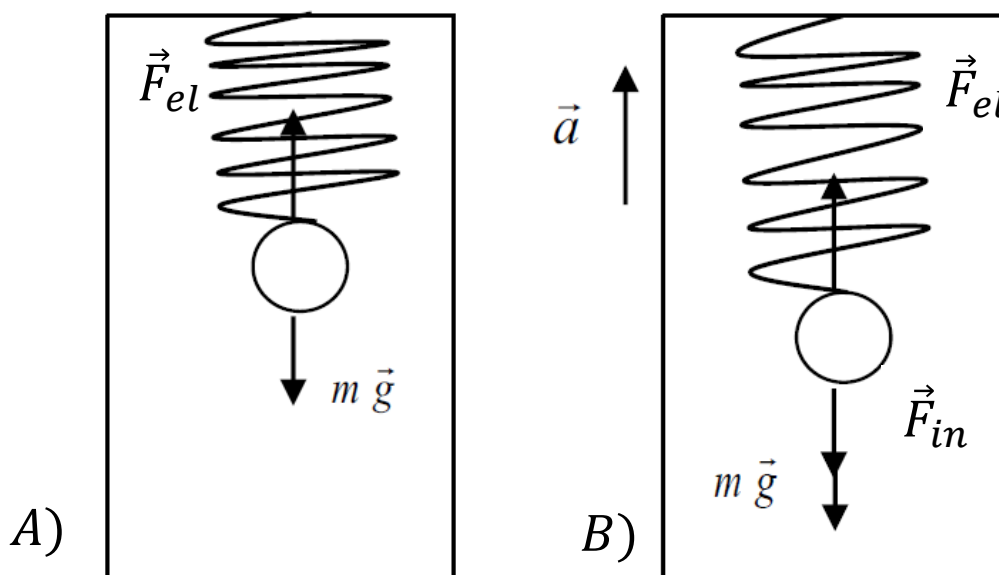
Shunday qilib, inertsiya kuchi jism massasi bilan tezlanishining ko‘paytmasini teskari ishorasi bilan olingan qiymatiga teng.



2.2-rasm

Demak noinertsial sanoq sistemasidagi jismga uchta kuch: og‘irlik kuchi, taranglik kuchi va inertsiya kuchi ta‘sir etib, ularning vektor yig‘indisi nolga teng, shuning uchun Nyutonning ikkinchi qonuniga asosan bu sistemada jism tezlanishga ega emas. Boshqa misol ko‘ramiz: Lift shiftiga prujinaga biriktirilgan  $m$  massali jism osib ko‘yilgan. Lift yuqoriga  $a$ -tezlanish bilan ko‘tarilyapdi. “Harakatsiz” kuzatuvchi (inertsial sanoq sistemi) jismga og‘irlik kuchi va elastik kuchi ta‘sir etadi deb hisoblaydi (2.3-rasm). Nyutonning ikkinchi qonuniga asosan:

$$F_{el} - mg = -ma$$



2.3 – rasm. Prujinaning deformatsiyalanishi.

“Harakatdagi” kuzatuvchi jismga uchta kuch:  $mg$ ,  $F_{el}$  va  $F_{in}$  kuchlari ta’sir etishini sezadi. Bu sistemaga nisbatan jism tinch holatda bo‘lgani uchun:

$$mg = F_{el} = F_{in} = 0$$

Ularning proyeksiyalari

$$-mg = F_{el} - F_{in} = 0 \text{ yoki } mg = F_{el} = F_{in}$$

Agar jism aylanayotgan noinertsial sistemada harakat qilayotgan bo‘lsa (2.3) ni qo‘llab bo‘lmaydi. Inertsiya kuchi va tortishish kuchi ekvivalent bo‘lib, ularning fizik ma’nosi bir xil. Bu narsa 1915 yilda A. Eynshteyn tomonidan yaratilgan nisbiylik nazariyasining printsiplaridan biridir.

### ***Jismning og‘irligi. Vaznsizlik va yuklanish***

Jismning og‘irligi. yerning tortishi tufayli jismning tayanchga yoki osmaga beradigan ta’siri uning og‘irligi deb ataladi. Agar jism yerga nisbatan tinch holatda yoki to‘g‘ri chiziqli tekis harakat qilayotgan bo‘lsa, jismning og‘irligi og‘irlik kuchiga teng bo‘ladi. Demak jismning og‘irligi tortishish kuchidan tashqari tayanch yoki osmaning tezlanishiga ham bog‘liq. Jismning og‘irligi jismning massasi yoki turar joyi bilan aniqlanmaydi. 2.3-b-rasmdan ma’lum bo‘ladiki, jismning og‘irligi quyidagiga teng bo‘ladi:

$$P = F_{in} = mg \tag{2.4}$$

Vaznsizlik. Agar jism tayanchi bilan pastga harakat qilayotgan bo'lsa, unda:  
 $F_{in} = -mg$  muvofiq ravishda:

$$P = -mg = mg \quad (2.5)$$

Jismning og'irligi nolga teng, ya'ni jism tayanchiga ta'sir etmaydi. Bunday holat vaznsizlik deyiladi. Masalan, jism o'zini tayanchi bilan erkin tushsa vaznsizlik holati yuzaga keladi. Yer sharoitida vaznsizlik holatiga quyidagilar misol bo'ladi:

- a) **vaznsizlik ko'tarmalarida** (tekshirish asboblari bilan baland qurilmadan erkin tushuyotgan konteyner);
- b) Maxsus trayektoriya (Kepler tepaliklari) bilan uchayotgan samalyotlarda;
- c) **Atmosferaning siyraklashgan qatlamlariga** chiqarilgan raketalarda, bunda dvigatel uchirib qo'yiladi va raketa erkin tushish holatiga o'tadi;
- d) **Immersiya** - zichligi jism zichligiga teng bo'lgan suyuqlikka jism cho'ktirish.

Bunda jismning og'irligi Arximed kuchiga teng bo'lib qolib, vaznsizlik holati yuzaga keladi va jism istalgan yo'nalishda erkin ko'cha oladi. Mana shu narsani nazarda tutish kerakki, gidrovaznsizlik haqiqiy vaznsizlikdan suyuq muhitni jismga beradigan qarshiligi bilan farq qiladi.

Vaznsizlikni o'ziga xos modellaridan biri antiortostatistik holat – bunda yotgan odam yuqori qismi gorizontal chiziqdan pastda joylashadi. Tajribalar “bosh bilan pastga” holatiga og'ish burchagi 4 min. 30<sup>0</sup> tashkil etadi. Og'ish qancha katta bo'lsa, vaznsizlik shuncha ko'payadi. Tekshirishlar shuni ko'rsatadiki, 15 minut 30<sup>0</sup> burchak ostida turish odamni vaznsizlik holatiga chidamliligini oshiradi.

Inson bir vaqtning o'zida ham og'irlik kuchi, ham tayanch reaksiyasi ta'srida dunyoga keladi, yashaydi. Vaznsizlik holatida tayanchning bo'lmasligi odam va hayvonlar tanasi fiziologiyasida o'zgarishlarni yuzaga keltiradi. Vaznsizlik holati odamning ko'rish, teri va muskul sezgilari va boshqa faoliyatlariga o'z ta'sirini ko'rsatadi. Bu holatda odam yiqilayotgan yoki boshi past holda uchayotgandek sezadi. Vaznsizlik holatida qon ham vaznsiz bo'ladi. Natijada qonning qayta

taqsimlanishi paydo bo‘ladi: tananing pastki qismidan yuqoriga qarab intiladi. Aylanayotgan qon boshqaradigan hajm va bosim odam nerv sistemasiga ta’sir qiladi. Qon aylanish kamayadi, natijada buyrak ko‘p suv ishlab chiqaradi. Shu bilan birga chanqoqlik kamayadi - suvning manfiy balansi sodir bo‘ladi. Vaznsizlikda yuzaga keladigan fiziologik holatlardan biri suyak va muskullar yuklanmaydi. Odam yurmaydi, fakat kosmik kema ichida suzadi. Kema ichida harakat qilish uchun oyoqdan ko‘ra qo‘llar ko‘proq ishlaydi. Vaznsizlik holatida yashash uchun kosmonvtlar albatta maxsus mashqlardan o‘tadi.

**Yuklanish:** Og‘irlik og‘irlik kuchidan katta bo‘lganda yuklanish yuzaga keladi. Noinertial sanoq sistemalarida (2.4) ni hisobga olgan holda yozish mumkin:

$$|F_{in} = mg| > mg$$

Odatda yuklama quyidagi munosabatdan topiladi:

$$\eta = \frac{|F_{in}-mg|}{mg} = \frac{|-ma-mg|}{mg} \quad (2.6)$$

Masalan, agar noinertial sistema  $a=-4g$  tezlanish bilan harakat qilsa, yuklanish 5 ga teng bo‘ladi (besh karra yuklanish). Yuklanish vaqtida qon aylanish sekinlashadi. Haqiqatan, odam yuragi satxida qon bosimi 0,12 atm. tashkil etadi. Bosh yurakdan 30 sm balandlikda joylashgani uchun 4g tezlanishda bu qon boshga yetib keladi. 8g tezlanishda qon aylanishini ta’minlab turishi uchun yurak bosimini ikki marta oshirish zarur bo‘ladi. Tananing “oyoq-bosh” yunalishida 5g yuklanishda qon shunchalik og‘irlashadiki, yurak qonni boshga yetkazib bera olmaydi. Bu holda odam ko‘z oldida “qora parda” (ko‘z oldi qorayadi) sezadi va hushidan ketadi. Agar tezlanish “bosh-oyoq” yo‘nalishda yuzaga kelsa, ko‘zlar oldida “qizil parda” paydo bo‘ladi va boshga qon quyilishi yuzaga kelib, hushidan ketadi. Kosmik kemaning uchish vaqtidagi yuklanishi taxminan 5 s davomida 7g-8g ni tashkil etadi. 10g dan katta yuklanishlar kosmik kemalari tushishida, tez uchar samolyotlarning yo‘nalishini birdaniga o‘zgartirishida, avtomobil halokati vaqtida yuzaga keladi. Avtomobil halokati vaqtida yuklanish 30g dan kichik bo‘lsa, odam tirik qolishi mumkin.

## Nyuton qonunlari va ularning tadbiqu

**Nyutonning birinchi qonuni.** har qanday jism, boshqa jismlar ta'siri boshlang'ich holatini o'zgartirishga majbur etmaguncha, o'zining tinch yoki to'g'ri chiziqli tekis harakati holatini saqlaydi.

Futbol to'pining futbolchi tepmagunicha maydonda tinch turishi, avtobus harakati boshlanganda orqa tomonga, harakatlanayotgan avtobus to'xtaganda oldinga qarab silkinishimiz bu qonunning kundalik hayotimizda o'rinli ekanligini ko'rsatadi.

Shu bilan birga, Nyutonning birinchi qonuni "inertlik" tushunchasi bilan chambarchas bog'liqdir.

**Inertlik deb,** jismning tinch yoki to'g'ri chiziqli tekis harakat holatini saqlash xususiyatiga aytiladi.

Shuning uchun ham Nyutonning birinchi qonunini inersiya qonuni ham deyishadi. Nyuton qonunlari faqat inersiyal sanoq sistemalarida bajariladi.

**Inersiyal sanoq sistemasi.** Nyutonning birinchi qonuni bajariladigan sanoq sistemalariga *inersial sanoq sistemalari* deyiladi. Inersiyal sanoq sistemasiga nisbatan tinch yoki to'g'ri chiziqli tekis harakat qilayotgan har qanday sistema inersiyal sanoq sistemasi bo'ladi.

Tajribalar shuni ko'rsatadiki, geliotsentrik (koordinata boshlari quyoshning markazida) sistemani inersial sanoq sistemasi deb hisoblash mumkin. Fizikada juda ko'p sistemalar inersial sanoq sistemalari sifatida qaraladi, chunki bu hollarda yo'l qo'yiladigan xatoliklar e'tiborga olmaydigan darajada kichik bo'ladi.

Nyutonning qonunlari bajarilmaydigan har qanday sanoq sistemasiga *noinersial sanoq sistemasi* deyiladi.

Nyutonning ikkinchi qonuni uchun quyidagicha tajriba o'tkazamiz: Dastlab, o'zgarmas massali jismga ( $m=\text{const}$ ) turli kuchlarning ta'sirini ko'raylik. Masalan, futbol to'pini yosh bola, o'spirin va futbolchi tepsin. Tabiiyki, to'p eng katta tezlanishni futbolchi tepganida oladi, boshqacha aytganda, jismning oladigan tezlanishi unga ta'sir etayotgan kuchga to'g'ri proporsional bo'ladi, ya'ni:

$$\vec{a} \sim \vec{F}$$



**Nyutonning ikkinchi qonuni:** Jismning oladigan tezlanishi unga ta'sir etayotgan kuchga to'g'ri, massasiga esa teskari proporsional bo'lib, yo'nalishi ta'sir kuchining yo'nalishi bilan mos keladi.

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

**Nyutonning uchunchi qonuni.** Biz biror jismning yoki jismlarning, boshqa jismga ta'siri haqida gapirdik. Tabiiyki, ta'sir ko'rsatilayotgan jism o'zini qanday tutadi, degan savol tug'iladi. Tajribalarning ko'rsatishicha, u ham ko'rsatilayotgan ta'siriga teng va qarama-qarshi yo'nalgan kuch bilan ta'sir ko'rsatadi. Moddiy nuqtalar (jismlar) orasidagi bunday o'zaro ta'sir

**Nyutonning uchunchi qonuni yordamida aniqlanadi:** moddiy nuqtalarning bir-biriga har qanday ta'siri o'zaro ta'sir harakteriga egadir. Moddiy nuqtalar ta'sir kuchlarining kattaliklari doimo bir-biriga teng, yo'nalishlari qarama-qarshi va ularni tutashtirgan to'g'ri chiziq bo'ylab yo'nalgan:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

Masalan, ikkita qayiq haydovchilari arqonning ikki tomonidan ushlab turgan bo'lishsin. Ular orasidagi masofaning teng o'rtasini belgilaymiz. Endi qayiq haydovchilaridan biri arqonni torta boshlasin. Ikkinchisi esa arqonning uchini ushlab turaversin. Qayiq oradagi masofaning teng o'rtasida uchrashganini ko'ramiz. Bu tajriba Nyutonning uchunchi qonuni o'rinligini ko'rsatadi. Shuningdek, markazga intilma va markazdan qochma kuchlarning tengligi ham Nyutonning uchunchi qonunining isbotidir.

### **Nazariy savollar**

1. Butun olam tortishish qonunini ta'riflang.
2. Gravitatsion va inert massalari haqida tushuntiring.
3. Sun'iy yo'ldoshlar va vaznsizlik nima?
4. Kepler qonunlarini tushuntiring?
5. Kuch, massa, zichlik, harakat miqdorlari haqida tushuncha bering.
6. Nyuton qonunlariga ta'rif bering.
7. Nyuton qonunlari tadbiqu.

### 3-Mavzu. Mexanik ish va quvvat. Maxsus nisbiylik nazariyasi elementlari. Reja

1. Mexanik energiya. Energiyaning saqlanish qonuni.
2. Mexanik ish. Mexanik quvvat.
3. Mexanizmlarning foydali ish koeffitsienti.
4. Mexanikada klassik va relyativistik nisbiylik printsiplari.
5. Moddiy nuqta relyativistik dinamikasining asosiy qonuni.
6. Massa va energiyaning o'zaro bog'liqligi qonuni.

**Tayanch iboralar:** ish, quvvat, foydali ish koeffitsiyenti, massa, moddiy nuqta, energiya, dinamika, klassik fizika.

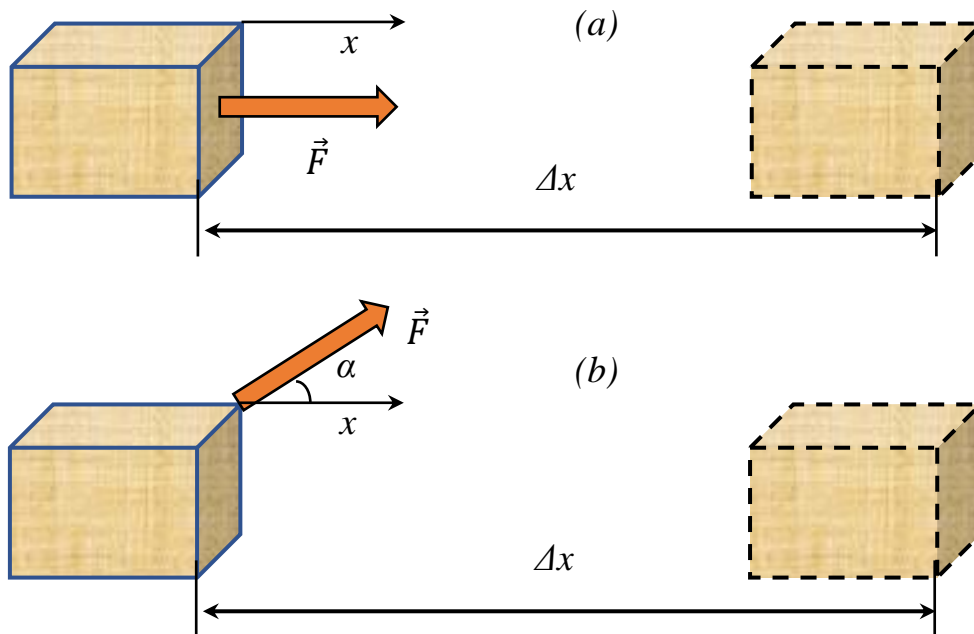
Mexanik ish va quvvat. Mexanik energiya va uning turlari:

Biror jism kuch tasirida bir nuqtadan ixtiyoriy trayektoriya bo'yicha ikkinchi nuqtaga ko'chirilgan bo'lsin. Umuman kuch 1-nuqtadan 2-nuqtagacha bo'lgan oraliqda, ham son qiymati bo'yicha, ham yo'nalishi bo'yicha o'zgarishi mumkin.

(3.1-rasm )

$$dA = \vec{F} \cdot d\vec{x} = F dx \cos\theta \quad (3.1)$$

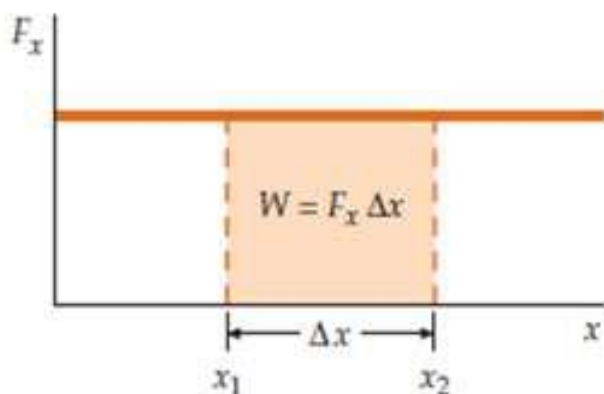
bunda  $\alpha$  - kuch va ko'chish yo'nalishi orasidagi burchak.



3.1-rasm. Mexanik ishni ifodalaydi

Biror yo‘lda bajarilgan ish va shu yo‘lning barcha kichik qismlarida bajarilgan elementlar ishlar yig‘indisiga teng, yani ish additiv kattalik. Shuning uchun jisimni bir nuqtadan ikkinchi nuqtaga ko‘chirishda bajarilgan ishning to‘la miqdori quyidagicha yozilishi mumkin:

$$A = \int_1^2 F \cos \theta dx \quad (3.2)$$



3.2-rasm Ishni kordinata orqali ifodalanishi

Jism o‘zgarmas kuch tasirida to‘g‘ri chiziqli trayektoriya bo‘yicha ko‘chayotgan bo‘lsa, xususiy holda  $x$  masofada bajarilgan ish:

$$A = Fx \cos \theta \quad (3.3)$$

Agar kuch yo‘nalishi bilan ko‘chish yo‘nalishi bir xil bo‘lsa, (3.3) ifoda yanada oddiy ko‘rinishga ega bo‘ladi. Umumiy ish esa:  $A = \int_{x_1}^{x_2} F_x dx$  formula orqali aniqlanadi. Grafik ravishda bajarilgan ishni topishda agar  $F$  kuch o‘zgarmas bo‘lsa, kuch va koordanatalar orqali berilgan grafikda  $F_x$  kuch chizig‘i  $x_1$  va  $x_2$  koordinalar bilan chegaralangan kesma orasidagi yuza bilan aniqlanadi.

Vaqt birligida bajarilgan ish quvvat deb ataladi, yani:

$$P = \frac{dA}{dt} \quad (3.4)$$

bunda  $dA$  - elementlar ish,  $dt$  -elementar  $dA$  ishni bajarish uchun ketgan vaqt.

(3.3) ifoda bo‘yicha  $dA$  ning qiymati ni (3.4) munosabatga keltirib qo‘yib quyidagiga ega bo‘lamiz.

$$P = F \frac{dx}{dt} \cos \alpha = Fv \cos \alpha = \vec{F} \cdot \vec{v} \quad (3.5)$$

Demak, quvvat tasir etayotgan  $\vec{F}$  kuchni shu kuch tasirida jism olgan  $\vartheta$  tezligiga skalyar ko'paytmasiga teng ekan. (3.4) va (3.5) formulalardan foydalanib, ish va quvvatning SI sistemasidagi birliklari bilan tanishib chiqaylik. Ish birligi qilib ko'chish yo'nalishida ta'sir qiluvchi 1 Nyuton kuchning 1 metr masofada bajaragan ishi qabul qilingan va uni joul (J) deb ataladi. Quvvat birligi qilib, 1 sekund vaqt ichida 1 joul ish bajaradigan mexanizimning quvvati qabul qilingan va bu birlikka vatt (Vt) deb nom berilgan.

**Kinetik va potentsial energiya:** Jismning yoki jismlar sistematinig ish bajara olish qobiliyatini energiya deb ataluvchi fizik kattalik orqali ifodalanadi. Mexanik energiya kinetik va potentsial energiyalardan iborat bo'ladi. Kinetik energiyaning mazmuniga tushunish uchun massasi  $m$  ga teng, moddiy nuqta deb qaralishi mumkin bo'lgan jism tezligini  $F$  kuch ta'sirida  $\vartheta_1$  dan  $\vartheta_2$  gacha orttirishdagi bajarilgan ishni hisoblaylik. Jismning elementar kesmada siljitishdagi kuchining bajaragan ishi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$dA = \vec{F}d\vec{l} = m\vec{a}d\vec{l} \quad (3.6)$$

Jism harakatining  $\vec{a}$  tezlanishini tangentsial va normal tashkil etuvchilarga ajratib, (3.7)ni quyidagicha yozish mumkin:

$$dA = m(\vec{a}_t + \vec{a}_n)d\vec{l} = m\vec{a}_t d\vec{l} + m\vec{a}_n d\vec{l} \quad (3.7)$$

lekin tezlanishning normal tashkil etuvchisi  $\vec{a}$  siljish yo'nalishiga doimo tik ekanligini e'tiborga olsak, ularning skalyar ko'paytmasi  $\vec{a}_n d\vec{l} = 0$

Shuning uchun (3.8) ni ko'rinishda yozish mumkin:

$$dA = m \frac{d\vec{v}}{dt} d\vec{l} = m \frac{d\vec{l}}{dt} d\vec{v} = m\vec{v}d\vec{v} \quad (3.8)$$

Jism tezligining  $\vartheta_1$  dan  $\vartheta_2$  gacha ortishidagi ishni quyidagicha hisoblaymiz:

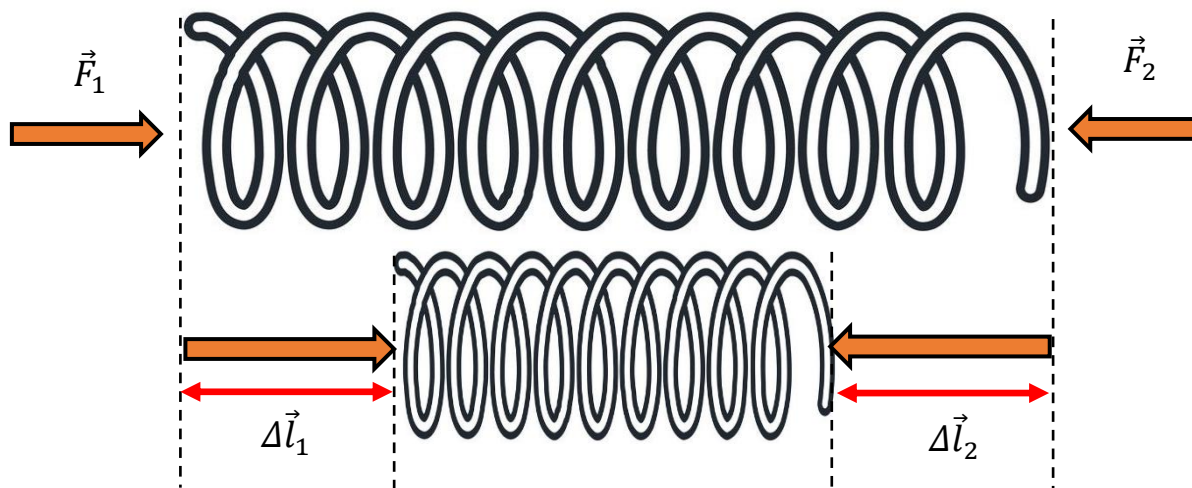
$$A = \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} m\vartheta d\vartheta = \frac{m\vartheta_2^2}{2} - \frac{m\vartheta_1^2}{2} = \frac{P_2^2}{2m} - \frac{P_1^2}{2m} \quad (3.9)$$

Agar boshlang'ich tezlik,  $\vartheta_1 = 0$  bo'lsa, u holda quyidagi ifodaga ega bo'lamiz;

$$A = \frac{m\vartheta^2}{2}$$

Demak, bajarilgan ish jism massasiga va uning tezligi (impulsi) ga bog‘liq bo‘lgan kattalikning o‘zgarishiga teng ekan. Bu kattalikka jismning kinetik energiyasi deb ataladi:

$$E_k = \frac{m\vartheta^2}{2} = \frac{p^2}{2m} \quad (3.10)$$



3.3- rasm. Prujinani elastikligi

Kinetik energiyaga ega bo‘lgan jism ish bajarish qobiliyatiga ega. Shuning uchun kinetik energiyani quyidagicha ta’riflash mumkin: kinetik energiya jismning harakatdagi (tezligi  $\vartheta$  ga teng) energiyasi bo‘lib, u son jihatidan tezlikni  $\vartheta$  dan nolgacha kamaytirilishidagi shu jismning bajara olishi mumkin bo‘lgan to‘la ishga tengdir. Bu ish va kinetik energiya haqidagi teoremdir.

Jismni tashkil etuvchi zarralar (molekulalar, atomlar)ning yoki sistemaga kiruvchi jismlarning o‘zaro ta’sir kuchlarini mutlaqo yo‘qolguncha (yoki boshqa toifadagi kuchlar bilan to‘la ravishda muvozanatlashguncha), shu kuchlarning bajarishi mumkin bo‘lgan to‘la ishga son jihatdan teng bo‘lgan kattalikka potentsial energiya deb ataladi. Ba’zi misollarni ko‘rib chiqaylik. Cho‘zilgan prujinaning potentsial energiyasi deformatsiyaning mutlaqo yo‘qolguncha elastiklik kuchining bajargan ishiga tengdir, ya’ni:

$$E_p = A = - \int_x^0 kx dx = \frac{1}{2} kx^2 \quad (3.11)$$

Prujina  $x$  kattalikka qisilganda ham (3.11) orqali aniqlanuvchi potentsial energiya vujudga keladi. Demak, prujinaning cho‘zilishida yoki qisilishida yuzaga kelayotgan potentsial energiya prujina tarkibidagi zarrachalarning bir-biridan

uzoqlashishi yoki bir-biriga yaqinlashishi va shunga mos ravishda ular orasida o‘zaro tortishish yoki itarishish kuchlarning hosil bo‘lishi natijasidir. Yana bir misol tariqasida Yerning tortishish maydoniga joylashgan jismning potensial energiyasini hisoblab chiqamiz. Berilgan nuqtadagi jismning potensial energiyasi jismni shu nuqtadan cheksizlikka ko‘chirishdagi tortishish kuchining ishiga teng, ya’ni:

$$E_p = - \int_r^\infty G \frac{M_{yer}m}{r^2} dr = -GM_{yer}m \int_r^\infty \frac{dr}{r^2} = -G \frac{M_{yer}m}{r} \quad (3.12)$$

Yerning tortishish maydoniga joylashtirilgan jismning potensial energiyasi jism Yer markazidan uzoqlashgan sari ortib boradi. Jism Yer markazidan cheksiz uzoqlashganda esa potensial energiya o‘zining eng katta qiymatiga erishadi. Ikkinchi tomondan, (3.12) ga asosan  $r \rightarrow \infty$  da  $E_p \rightarrow 0$

Energiyaning saqlanish qonuni. Moddiy nuqta deb qaralishi mumkin bo‘lgan  $N$  ta jismdan iborat bo‘lgan sistemaga hech qanday tashqi kuchlar ta’sir etmayotgan bo‘lsin. Biz bunday berk sistemaning to‘la impulsi hamma vaqt o‘zgarmas kattalikdan iborat bo‘lib qolishini ko‘rib chiqqan edik. Endi sistemaning to‘la mexanik energiyasi bilan tanishaylik.

Sistemadagi jism massalarini  $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$  har bir jismning fazodagi vaziyatini aniqlovchi radius-vektorlarni  $\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_3, \dots, \vec{r}_n$  va har bir  $i$ -jismga sistemadagi boshqa jismlarning ko‘rsatayotgan ta’sir kuchlarini  $\vec{F}_{i1}, \vec{F}_{i2}, \dots, \vec{F}_{i(i-1)}, \vec{F}_{i(i+1)}, \dots, \vec{F}_{iN}$  deb belgilaylik va bu kuchlar faqat konservativ kuchlardan iborat bo‘lsin.  $i$ -jism uchun Nyutonning ikkinchi qonunini tatbiq etilsa quyidagi ifodaga ega bo‘linadi:

$$m_i \frac{d\vec{v}_i}{dt} = \vec{F}_{i1} + \vec{F}_{i2} + \dots + \vec{F}_{i(i-1)} + \vec{F}_{i(i+1)} + \dots + \vec{F}_{iN} \quad (3.13)$$

Kuzatilayotgan  $i$  - jism shu ta’sir etayotgan kuchlar tufayli  $dt$  vaqt ichida  $d\vec{r}_i$  ga siljigan bo‘lsin. (3.13) ning ikkala qismini  $d\vec{r}_i$  ga skalyar ko‘paytiramiz:

$$d\vec{r}_i \cdot m_i \frac{d\vec{v}_i}{dt} = (\vec{F}_{i1} + \vec{F}_{i2} + \dots + \vec{F}_{iN}) \cdot d\vec{r}_i$$

va bunda  $d\vec{r}_i = \vec{v}_i dt$  ekanligini e’tiborga olib yuqoridagi formulani quyidagicha yozish mumkin:

$$m_i \vec{\vartheta}_i d\vec{\vartheta}_i = (\vec{F}_{i1} + \vec{F}_{i2} + \dots + \vec{F}_{iN}) \cdot d\vec{r}_i \quad (3.14)$$

formula faqat  $i$  -jism uchun yozilgan. Bunday formulalarni sistemadagi barcha jismlar uchun yozib, ularni mos ravishda qo‘shib chiqsak:

$$\sum_{i=1}^N m_i \vec{\vartheta}_i d\vec{\vartheta}_i - \sum (\vec{F}_{i1} + \vec{F}_{i2} + \dots + \vec{F}_{iN}) \cdot d\vec{r}_i = 0 \quad (3.15)$$

hosil bo‘ladi.

Ma'lumki,  $m_i \vec{\vartheta}_i d\vec{\vartheta}_i$  –  $i$  – jism kinetik energiyasining,  $\sum_{i=1}^N m_i \vec{\vartheta}_i d\vec{\vartheta}_i$  esa sistema kinetik energiyasining o‘zgarishini ifodalaydi.

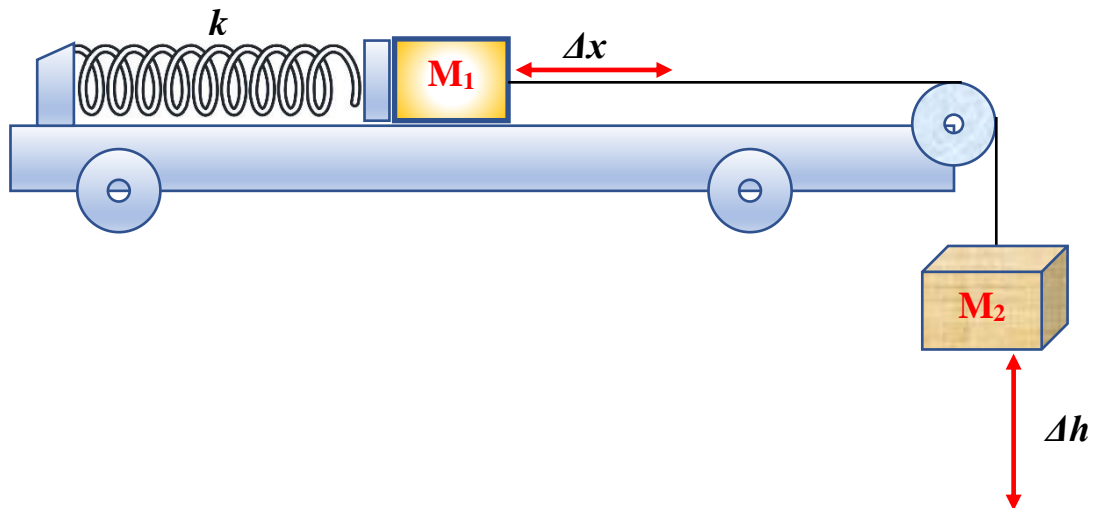
$(\vec{F}_{i1} + \vec{F}_{i2} + \dots + \vec{F}_{iN}) \cdot d\vec{r}_i$  –  $i$  –jismga ta’sir qilayotgan konservativ kuchlarning bajargan ishi bo‘lib, bu kattalik ikkinchi tomondan jism potentsial energiyasining o‘zgarishiga teng.

Kuzatilayotgan holda ish musbat kattalikdan iborat bo‘lib, bu jism potentsial energiyasining kamayishi hisobiga bajariladi, shuning uchun:

$$-(\vec{F}_{i1} + \vec{F}_{i2} + \dots + \vec{F}_{iN}) \cdot d\vec{r}_i = dE_p$$

va (3.15) ning ikkinchi hadi sistema potentsial energiyasining o‘zgarishini ifodalaydi. Natijada (3.15) ni quyidagicha yozish mumkin:

$$dE_k + dE_p = 0 \quad d(E_k + E_p) = 0 \quad E_k + E_p = const \quad (3.16)$$



3.4- rasm. Energiyaning saqlanishi

bunda  $E_k + E_p$  - sistemaning to‘la mexanik energiyasi. (3.16) formuladan quyidagi muhim xulosaga kelishimiz mumkin: berk sistemada faqat konservativ kuchlar

mavjud bo'lsa, sistemaning to'la mexanik energiyasi o'zgarmas qiymatga ega bo'lib qoladi, bu mexanik energiyaning saqlanish qonunidir.

Mexanik energiyaning saqlanish qonuni har qanday inertsial sanoq sistemasida bajariladi. Berk sistemadagi kuchlar faqat konservativ kuchlardan iborat bo'lganda (3.16) ga asosan:

$$dE_k = -dE_p$$

ya'ni kinetik energiya faqat potensial energiyaning kamayishi hisobiga hosil bo'lishi mumkin. O'z-o'zidan ravshanki, sistemaning kinetik energiyasi nolga teng, potensial energiyasi esa o'zining eng kichik qiymatiga ega bo'lgan holda hech qanday harakat sodir bo'lmaydi. Sistemaning bunday holati turg'un muvozanatli holat deb ataladi.

Agar berk sistemada konservativ kuchlardan tashqari nokonservativ kuchlar misol uchun ishqalanish kuchlari ham mavjud bo'lsa, sistemaning to'la energiyasi vaqt o'tishi bilan kamayib boradi. Buning hisobiga nomexanik turdagi energiyalar, masalan, issiqlik yoki kimyoviy, elektromagnit maydon energiyalari va boshqalar vaqt o'tishi bilan ortib boradi. Lekin energiyaning hamma turlarining yig'indisi vaqt o'tishi bilan o'zgarmay qoladi. Demak, har qanday berk sistemada energiyasi hech qachon yangidan paydo bo'lmaydi va hech qachon yo'qolib ham ketmaydi, faqat energiya bir turdan ikkinchi turga o'tib turadi.

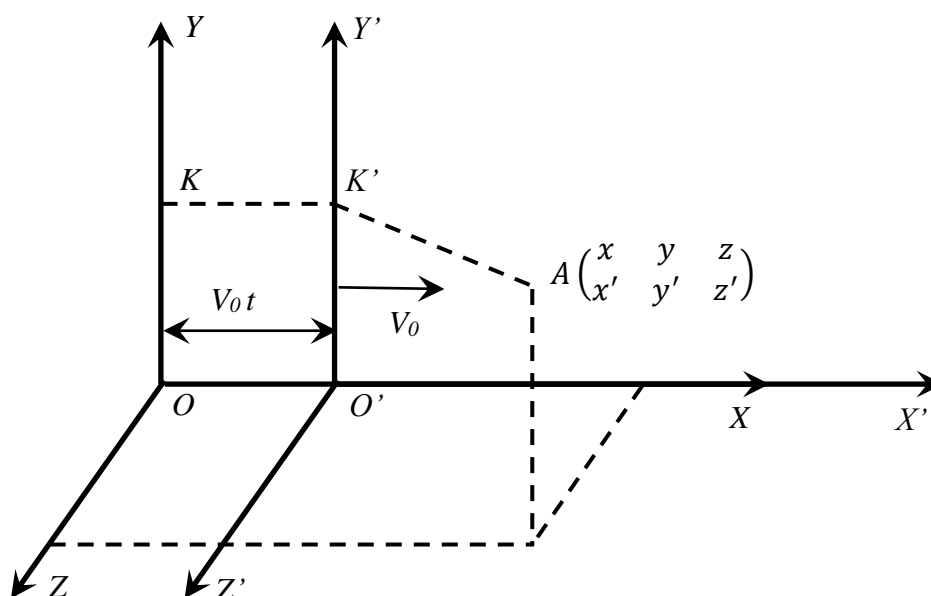
Bu energiyaning saqlanish qonuni bo'lib, fizikaning eng asosiy va umumiy qonunlaridan biridir.

Jism harakati sanoq sistemaga nisbatan aniqlanadi. Sanoq sistemani tanlash kuzatuvchi ixtiyorida. Shuning uchun bir harakatni turli sanoq sistemasiga nisbatan tekshirish natijasida sanoq sistemani biror-bir jism boshqalarga nisbatan imtiyozli deyish mumkin. Agar bir necha sanoq sistemalari bir-biriga nisbatan to'g'ri chiziq tekis harakat qilsa va kamida ularning bittasida Nyuton dinamik qonunlari o'rinli bo'lsa ularni inertsial sanoq sistemasi deyiladi. (ISS)

Barcha (ISS)larda klassik dinamika qonunlari bir xil shaklda ifodalanadi. Bu holatni nisbiylikning mexanik yoki Galiley prinsipi deb yuritiladi.



$$\frac{d\bar{r}}{dz} = \frac{d}{dz}(\bar{r}' + Ut) \qquad \bar{\vartheta} = \bar{\vartheta}' + \bar{U}$$



3.5-rasm

$$\bar{\vartheta} = \bar{\vartheta}' + \bar{U} \text{ ifoda}$$

- 1) Klassik mexanikada tezliklarni qo‘shish qoidasi deyiladi.
- 2) Tezlanish esa Galiley almashtirishlariga nisbatan invariantdir.  $a=a'$
- 3) Tajribalarning ko‘rsatishiga barcha inersial sanoq sistemalarda jism massasi bir xil qiymatga ega. U harakat tezligiga (yorug‘lik tezligi ( $c$ ))dan ancha kichik tezliklar nazarda tutiladi.  $m=m'$
- 4) Masofa Galiley almashtirishiga nisbatan invariant.
- 5) Klassik mexanikada kuch Galiley almashtirishiga nisbatan invariantdir.  $F=F'$
- 6) Dinamika qonunlari, tenglamalari bir inersial sanoq sistemadan boshqasiga o‘tganda o‘zgarmaydi, ya’ni Galiley almashtirishiga nisbatan invariant.

### Nisbiylikning maxsus nazariyasi pastulatlari.

1. Nisbiylik prinsipi: Tabiatning fizik qonunlari barcha inersial sanoq sistemalarida (ISS) o‘rinlidir.
2. Yorug‘lik tezligining doimiylik prinsipi. Yorug‘lik vakuumdagi tezligining qiymati barcha inersial sanoq sistemada (ISS)larda bir xil bo‘ladi. U yorug‘likni tarqalish yo‘nalishi yorug‘lik chiqaruvchi jism va kuzatuvchining harakatiga bog‘liq emas.

Lorens almashtirishlari. Asrimiz boshida Eynshteyn Galiley almashtirishlarida farqlanuvchi, yangi almashtirishlaridan foydalandi. Bu almashtirishlarga nisbatan Maksvell tenglamalari ifodalari o'z ko'rinishini o'zgartirmasligi lozim. Bu almashtirishlarni Eynshteyn quyidagi prinsip asosida keltirib chiqardi.

1. Bir vaqtlilik tushunchasi. Nisbiylik xususiyatiga ega bo'ladi.

$$t = \frac{t' + \frac{\vartheta_0}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta_0^2}{c^2}}} \quad t' = \frac{t + \frac{\vartheta_0}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta_0^2}{c^2}}}$$

2. Uzunliktushunchasi. Turlisanoqsistemalaridajismningchiziqlio'lchami

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{\vartheta_0^2}{c^2}} = l_0 \sqrt{1 - \beta^2}$$

3. Vaqt tushunchasi. Turli sanoq sistemalarida ayni bir voqeaning davom etish vaqti  $t' = t/\sqrt{1 - \beta^2}$  ya'ni harakatdagi soatga nisbatan tinch turgan sanoq sistemasida soat sekinlashadi.

4. Tezliklarni qo'shishni relyativistik qonuni.

$$U = \frac{U' + \vartheta}{1 + \frac{U'\vartheta}{c^2}}$$

5. Ikki voqea orasidagi interval

$$S_{12} = \sqrt{c^2(t_2 - t_1)^2 + (x_2 - x_1)^2 + (\varphi_2 + \varphi_1)^2 + (z_2 + z_1)^2}$$

$$\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (\varphi_2 - \varphi_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} = l_{12}$$

$$S_{12} = \sqrt{c^2 t_{21}^2 - t_{12}^2}$$

Moddiy nuqta relyativistik dinamikasining asosiy qonunlari

$$1) F = \frac{d\bar{P}}{dt} = \frac{d}{dt}(m \cdot \vartheta)$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

$$F = \frac{d}{dt} = \left( \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \cdot \bar{v} \right)$$

2) Relyativistik impuls

$$P = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

### Nazorat savollari

1. Inertsial sanoq sistemasini tushuntiring.
2. Nyutonning birinchi qonuni ta'riflang.
3. Impuls deb nimaga aytiladi.
4. Kuch qanday fizik kattalik.
5. Nyutonning ikkinchi va uchinchi qonuni ta'riflang.
6. Massa qanday fizik kattalik.
7. Kuch birligi qanday aniqlanadi. Ish qanday mexanik kattalik.

### 4-Mavzu. Inersiya momenti.

#### Reja

1. Qattiq jism dinamikasining asosiy tenglamasi.
2. Inersiya momenti. Shteyner teoremasi.
3. Aylanayotgan qattiq jismning kinetik energiyasi.
4. Impuls momenti va uning saqlanish qonuni.
5. Jismlarning muvozanatlik holatlari, qayishqoqligi va yemirilishi.

**Tayanch iboralar:** *Shteyner teoremasi, impuls momenti, qayishqoqlik, qattiq jism, kinetik energiya, ilgarilanma harakat, aylanma harakat.*

Tabiatda aylanma harakat juda ko'p uchraydi. Masalan Yer quyosh atrofida, o'z o'qi atrofida aylanadi. Charxpalak ham aylanma harakat qiladi. Bu bo'limda biz

deformatsiya bo'lmaydigan absolyut (mutlaq) qattiq jismning aylanishini ko'rib chiqamiz.  $F_0$  kuch ta'sirida jism  $00'$  o'q atrofida aylanyapti deb faraz qilaylik. Unda jismning har bir nuqtasi shu o'q atrofida aylana bo'ylab aylanadi. Bunda hamma nuqtalarning burchak tezliklari va burchak tezlanishlari bir xil bo'ladi.  $F_0$  kuchni uchta bir-biriga perpendikulyar bo'lgan kuchga ajratamiz, bunda bo'ladi, ular jismni aylantirmaydi, jismni faqat  $A$  nuqtaga urinma bo'lgan  $F$  kuchi aylantiradi. Shuning uchun  $F$  ni aylantiruvchi kuch deyiladi.  $F$  ning aylanishi radiusiga bo'lgan ko'paytmasi kuch momenti deb ataladi.

$$M = F \cdot r \quad (4.1)$$

### Qattiq jismning aylanma harakat dinamikasi

Jismni  $\Delta m_i$  elementar massalarga bo'lib chiqamiz. Shunda har bir  $\Delta m_i$  ga elementar aylantiruvchi kuch  $\Delta F_i$  ta'sir qiladi Nyutonning 2 - qonuniga binoan

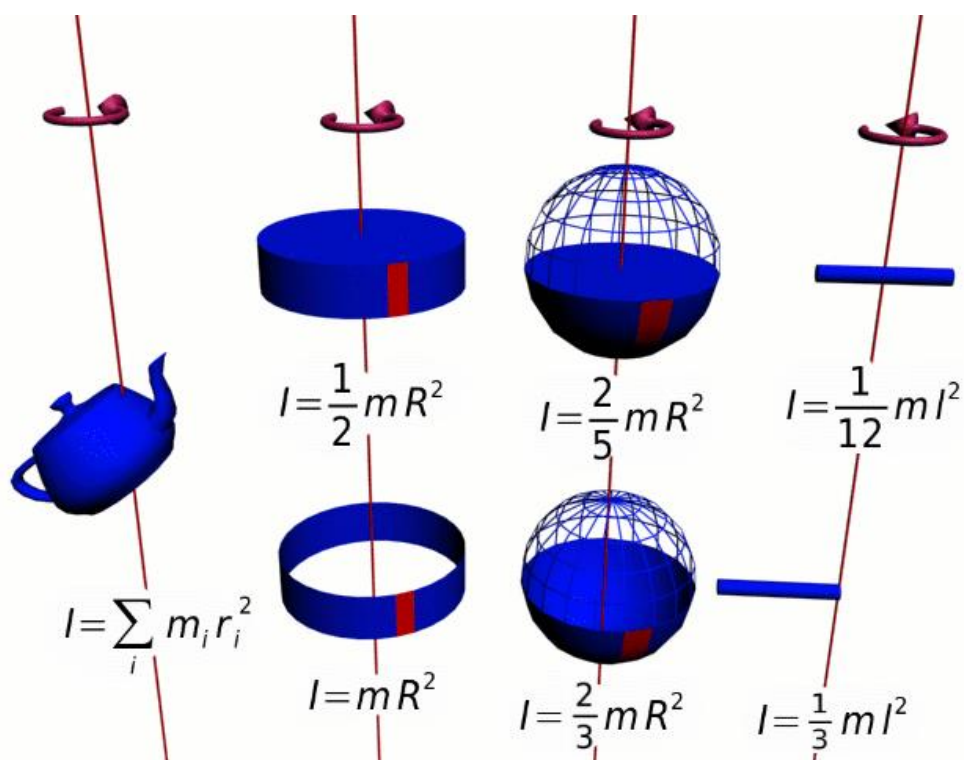
$$\Delta F_i = \Delta m_i a_i$$

bu yerda  $a_i$  —  $\Delta m_i$  - ning chiziqli tezlanishi. Bu tenglamaning ikki tarafini  $r_i$  ga ko'paytiramiz

$$\Delta F_i \cdot r_i = \Delta m_i a_i \cdot r_i \quad (4.2)$$

$\Delta m_i$  elementlar massasining chiziqli tezligi  $\vartheta_1 = \omega r_i$  bo'lgani uchun bu tezlik o'zgarmas radiusda faqat  $\omega$  o'zgarganda o'zgarishi mumkin:

$$\varepsilon = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{1}{r_i} \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vartheta_i}{\Delta t} = \frac{1}{r_i} a_i$$



4.1-rasm. Aylanma harakat qonuni

Bu yerda  $a_i = \varepsilon r_i$  ekanligini aniqlaymiz. Bu ifodani (4.2) ga qo‘ysak quyidagi munosabat hosil bo‘ladi:

$$\Delta F_i \cdot r_i = \Delta m_i \cdot r_i^2 \varepsilon \quad (4.3)$$

$\Delta F_i \cdot r_i = \Delta M_i$  - aylantiruvchi kuch momenti.  $\Delta m_i \cdot r_i^2 = \Delta J_i$  (1-rasm) deb belgilaymiz.

$$\Delta J_i = \Delta m_i \cdot r_i^2$$

Demak,  $\Delta M_i = \Delta J_i \varepsilon$

$\Delta J_i$  - elementar massa  $\Delta m_i$  ning inersiya momenti deb ataladi.  $\Delta M_i$  ning summasi quyidagicha barobar:

$$M = \sum_i \Delta M_i = \varepsilon \sum_i \Delta J_i = J \varepsilon \quad (4.4)$$

$M = \sum_i \Delta M_i$  - jismga qo‘yilgan aylantiruvchi moment,  $J = \sum_i \Delta J_i$  - jismning to‘la inersiya momenti.

Demak  $M = J \varepsilon$  (4.5) - aylanish dinamikasining asosiy qonuni.

Inersiya momenti (to‘g‘ri chiziqli harakatdagi massa kabi) jismning aylanish harakatidagi inersiya xususiyatini anglatadi.

Lekin, aylanish o‘qi qayerdan o‘tishiga qarab inersiya momenti ham har xil bo‘lishi mumkin, massa esa o‘zgarmas. Inersiya momenti birligi  $[kg \cdot m^2]$ .

Agar  $M = const$  bo'lsa, u holda  $JM = J \frac{w_0 - w}{\Delta t}$  va  $M\Delta t = Jw_0 - Jw$  ( $F\Delta t = m\vartheta_0 - m\vartheta$  ni eslaymiz) vaqt ichida  $w, w_0$ , dan  $w$ , gacha o'zgaradi

$M\Delta t$  kuch momentining impulsi (analog  $F\Delta t$ ).

$Iw$  - harakat miqdori momenti (analog  $m\vartheta$ )

### Kuch momenti va inersiya momenti

Demak – ma'lum vaqt oralig'idagi harakat miqdorining o'zgarishi shu vaqt ichidagi kuch momentining impulsiga teng - bu harakat miqdori momentining o'zgarishi qonunidir.

Ba'zibir jismlarning inersiya momentlarini keltiramiz: (4.1-rasm)

1).  $J = \frac{1}{3}m\ell^2$  – sterjen

2).  $J = \frac{1}{12}m\ell^2$  – sterjen

3).  $J = \frac{1}{12}m(a^2 + b^2)$

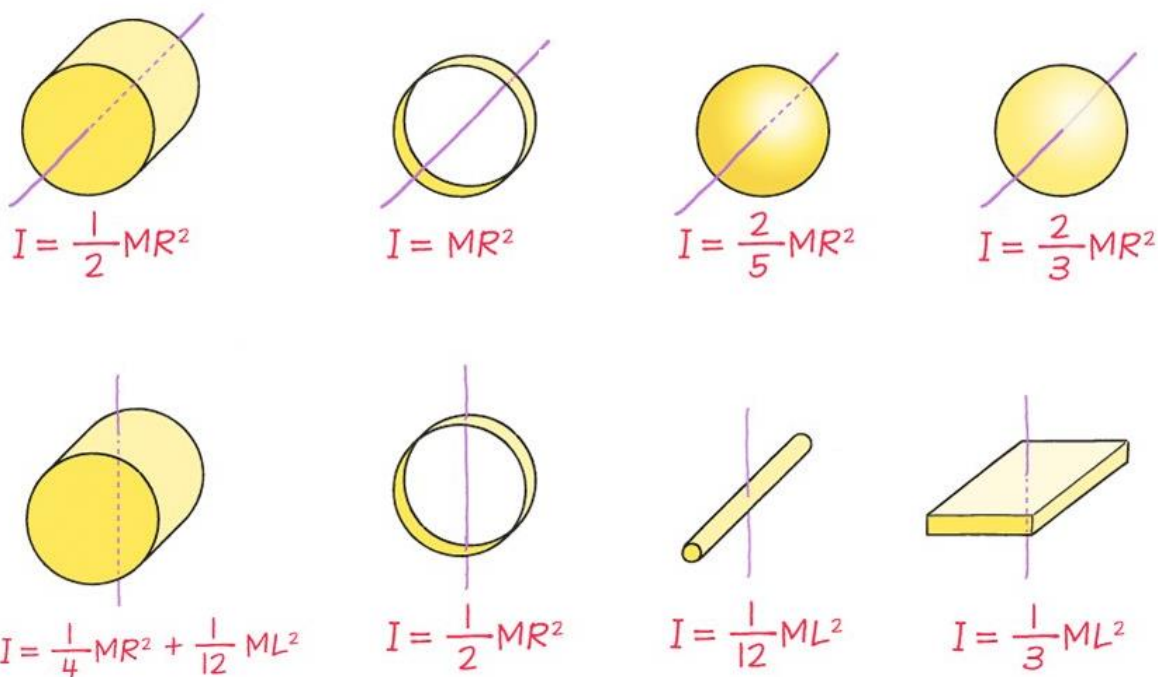
brusok, uzunligi  $b$ , eni  $a$

4).  $J = \frac{1}{12}m(R^2 + r^2)$

5).  $r \approx R = R$        $J = mR^2$  yupqa halqa

6).  $J = \frac{1}{2}mR^2$  (disk)

7).  $J = \frac{2}{3}mR^2$  – shar



4.2-rasm Har xil shakldagi jismlar uchun inersiya momentlari va aylanish momenti

Agar jismning uning massa markazidan o'tuvchi o'qqa nisbatan inersiya momenti ma'lum bo'lsa, boshqa istalgan parallel o'qqa nisbatan inersiya momenti Qattiq jism aylanma harakati dinamikasining asosiy tenglamasi Shteyner teoremasidan topiladi: jismning ixtiyoriy  $z$  o'qiga nisbatan  $J$  inersiya momenti massa markazidan o'tuvchi parallel o'qqa nisbatan inersiya momenti va jism  $m$  massasining radius kvadrati ko'paytmasining yig'indisiga teng: (4.2-rasm)

$$J_z = J_c + md^2$$

Sistemada jismlarning harakat miqdorlari momentlarining yig'indisi (summasi) o'zgarmas miqdordir (ilgarilama harakat uchun  $m_1v_1 + m_2v_2 + \dots + m_nv_n = const$  bo'lgani kabi).

$$J_1w_1 + J_2w_2 + \dots + J_nw_n = const \quad (4.6)$$

Agar jism bitta bo'lsa, u holda  $Jw = const$ . (Misol: o'z o'qi atrofida aylanayotgan konkichi). Aylanayotgan jismning kinetik energiyasi teng:

$$W_k = \frac{Jw^2}{2} \quad (4.7)$$

Aylanish kinetik energiyasining hisobiga bajarilgan ish:

$$A = \frac{J\omega_0^2}{2} - \frac{J\omega^2}{2} \quad (4.8)$$

Agar jism ham aylanib, ham to‘g‘ri yurib harakatlansa, uning kinetik energiyasi  $W_k$

$$W_k = \frac{m\vartheta^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2} \quad (4.9)$$

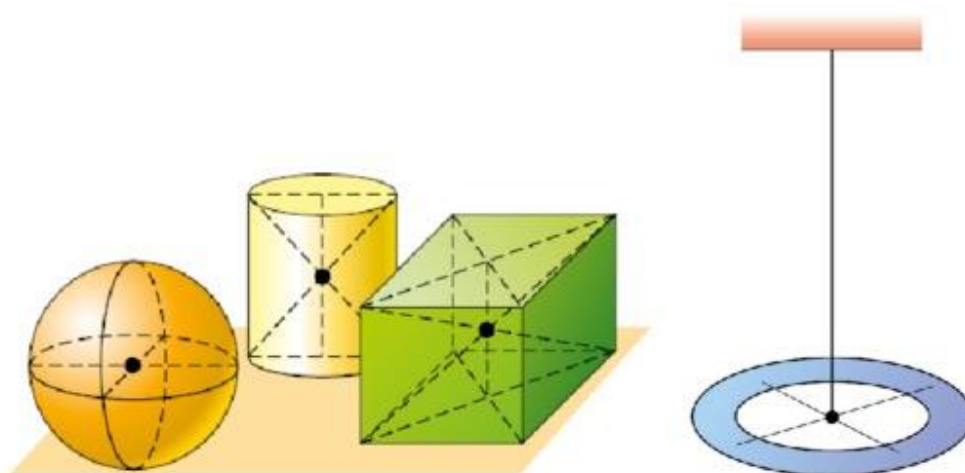
Ilgarilama harakat bilan aylanma harakat o‘rtasida katta o‘xshashliklar (analoiyalar) bor. Ularni quyidagi keltirilgan tablitsadan ko‘rish mumkin:

Ilgarilama harakat		Aylanma harakat	
Vaqt	$t$	Vaqt	$t$
Chiziqli yo‘l	$S$	Burchakli yo‘l	$\varphi$
Chiziqli tezlik	$v$	Burchak tezlik	$\omega$
Chiziqli tezlanish	$a$	Burchak tezlanish	$\varepsilon$
Kuch	$F$	Kuch momenti	$M$
Massa	$m$	Inertsiya momenti	$J$
Kuch impuls	$F \cdot \Delta t$	Kuchning impuls momenti	$M \cdot \Delta t$
Harakat miqdori	$mV$	Harakat miqdorining momenti	$J\omega$

### Jismlarning muvozanatlik holatlari, qayishqoqligi va yemirilishi.

Mashinalar, mexanizmlar va turli qurilmalarni yaratishda, **ularning qanday holatda turg‘un bo‘lishini**, bilish lozim bo‘ladi.

Jismning alohida qismlariga ta’sir etayotgan og‘irlik kuchlarining teng ta’sir etuvchisi joylashadigan nuqtasi jismning massa markazi deyiladi.



4.3-rasm. Jismlarning massa markazi

Bir jinsli jismlarning (masalan: shar, sfera, doira va shu kabilarning) massa markazlari ularning geometrik markazlari bilan ustma-ust tushadi (4.3-rasm).



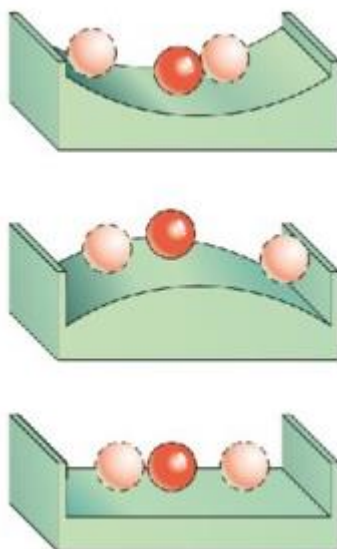
Massa markazi jismdan tashqarida bo'lishi ham mumkin. Halqaning massa markazi diametrlari kesishgan joyda bo'ladi.

Jismning muvozanati turini uni muvozanatdan chiqarilgandan keyin massa markazi holatining o'zgarishiga qarab aniqlash ham mumkin.

Agar massa markazi ko'tarilsa, turg'un muvozanat.

Agar massa markazi pasaysa, noturg'un muvozanat.

Agar massa markazi har qanday vaziyatda ham o'zgarishsiz qolsa, befarq muvozanat bo'ladi.



4.4-rasm. Muvozanat turlari

### Nazorat savollari

1. Absolyut qattiq jism deb nimaga aytiladi?
2. Kuch momenti va inersiya momenti qanday birliklarda o'lchanadi?
3. Qattiq jism inersiya markazi harakatini tushuntiring?
4. Aylanma harakat qanday sodir bo'ladi?
5. Inersiya momenti qanday kattalik?
6. Kuch momentining fizik mazmunini tushuntiring?
7. Impuls momentining yo'nalishi qanday aniqlanadi?
8. Kuch momentining yo'nalishi qanday usul bilan aniqlanadi?
9. Impuls momentining saqlanish qonuni qanday sharoitda bajariladi?

## 5-Mavzu. Tebranma harakat. Mexanik to'lqinlar. Akustika

### Reja:

1. To'lqin turlari. To'lqin jarayonlari. To'lqin tenglamasi. To'lqin interferensiyasi.
2. Turg'un to'lqinlar. To'lqin tezligi. Tovush to'lqinlarining tarqalishi.
3. Tovush intensivligi, chastotasi, balandligi va tembri.
4. Dopler effekti. Ultra tovushlar. Garmonik tebranma harakatlari.
5. Tebranma harakatlarning energiyasi va xususiy chastotasi.
6. Tebranma harakatlarni qo'shish. So'nuvchan va majburiy tebranishlar.

Rezonans.

**Tayanch iboralar:** *tebranma harakat, Dopler effekti, so'nuvchan va majburiy tebranishlar, to'lqin, tovush, intensivlik, chastota, balandlik.*

Agar jism yoki sistemani harakterlovchi kattalik vaqtning davriy funksiyasi sifatida takrorlanib o'zgarsa - bu jarayonni tebranma harakat, sistemaning o'zini esa ostsillyator deb yuritiladi. Eng sodda tebranma harakat - bu bir uchiga yuk osilgan prujinali sistemadir.

Hosil bo'lish tabiati bo'yicha tebranishlar quyidagi turlarga bo'linadi: 1)

1) Erkin yoki xususiy tebranishlar. Ostsillyator dastlabki ta'sir tufayli harakatga keltirilgach, keyin u o'zining ichki potentsiali hisobiga erkin tebranishlarni davom ettiradi.

2) Majburiy tebranishlar - tashqi davriy ta'sir tufayli sodir bo'ladi.

3) Parametrik tebranishlar - ostsillyator parametrlaridan birining doimiy o'zgarib turishi hisobiga vujudga keladi.

4) Avtotebranishlar - bu doimiy ta'minlovchi manbalardan yetarlicha energiya olish imkoniyatiga ega bo'lgan sistemalardagi tebranishlardir.

Agar biror fizik kattalik vaqt bo'yicha sinus yoki kosinus qonuniga muvofiq tarzda o'zgarsa - mazkur jarayonni garmonik tebranish deb aytiladi. Uning differensial tenglamasi quyidagi umumiy ko'rinishga ega:

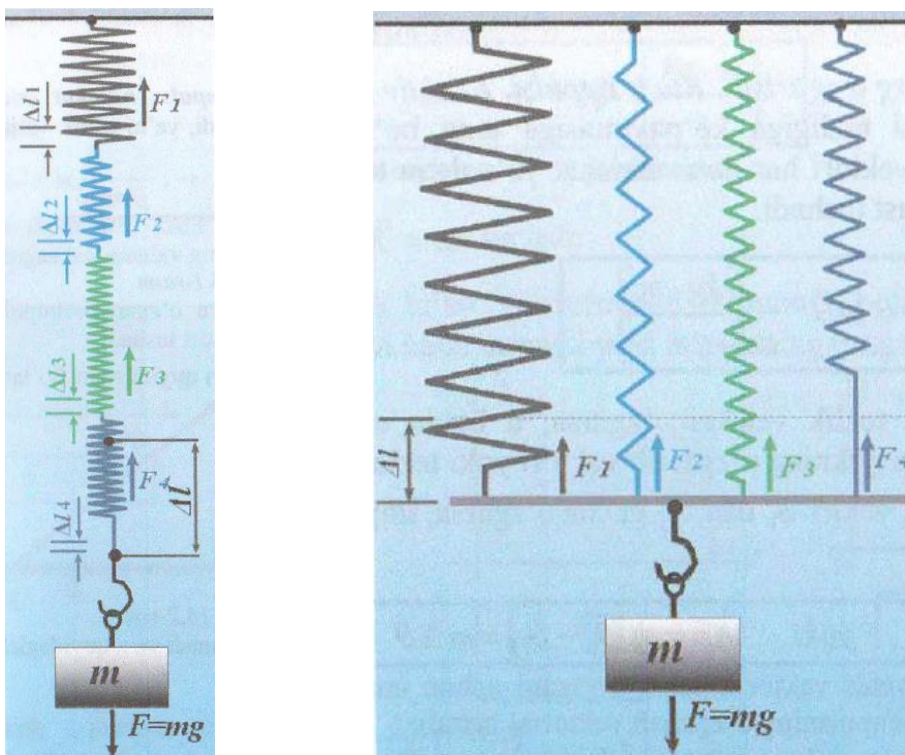
$$\ddot{x} + w_0^2 x = 0$$

bunda  $x(t)$  - turli garmonik ossillyatorlardagi mos kattalikning muvozanatdan chetlanish xarakteristikasi,  $\omega_0$  - siklik yoki doiraviy chastota bo'lib, u ossillyatorning xarakteristikasi bilan bog'liq holda ifodalanadi (1-rasm):

Turli ossillator namunalari:

- a) prujinali mayatnik,
- b) buralma mayatnik,
- v) matematik (oddiy) mayatnik,
- g) fizik mayatnik,
- d) tebranish konturi,
- e) kombinatsiyalashgan mayatnik.

Prujinaga osilgan sharchaga tashqi kuch bilan ta'sir etsak, uni garmonik harakatga keltirish mumkin. (5.1-rasm). Hosil bo'luvchi elastiklik kuchi - **Guk qonuni** bilan aniqlanadi:



5.1-rasm

$$F_{el} = -k x$$

$k$  - elastiklik koeffitsienti yoki prujina bikrligi

$x$  - siljish yoki absolyut deformatsiyasi

Tezlanish esa Nyutonning 2 - qonuniga muvofiq bo‘ladi:

$$F = m a$$

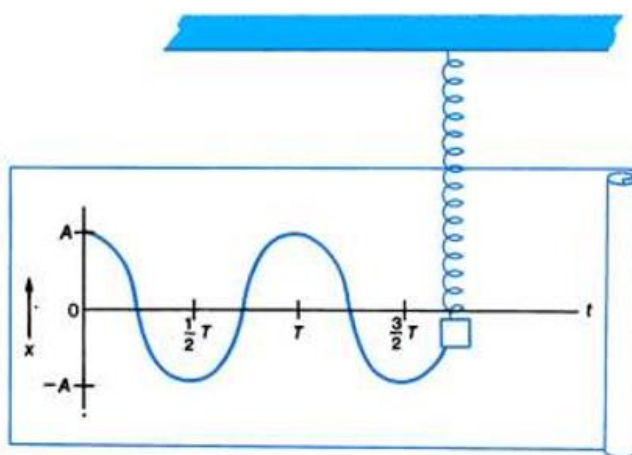
bunda  $m$  - tebranayotgan sharchaning massasi

Nyutonning 3 - qonuniga binoan:

$$ma = -kx \quad \text{yoki} \quad a = -\frac{k}{m}x$$

Agar  $a = \frac{d^2x}{dt^2} = \ddot{x}$  ekanligini e‘tiborga olib,  $\frac{k}{m} = \omega_0^2$  belgilash kiritsak, yuqoridagi tenglama quyidagi ko‘rinishga keladi [1]:

$$\ddot{x} + \omega_0 x = 0$$



5.2-rasm

Bu garmonik tebranishning differensial tenglamasi hisoblanadi. Uning umumiy holdagi yechimini aniqlaymiz:

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

bunda  $A$  - tebranish amplitudasi bo‘lib, u vaqt bo‘yicha o‘zgarayotgan kattalikning maksimal qiymatini ko‘rsatadi,  $\omega_0 t + \varphi$  - tebranish fazasi, uning tarkibidagi  $\varphi$  - esa boshlang‘ich faza bo‘lib hisoblanadi.  $\omega_0$  - ossilyatorning xususiy doiraviy chastotasi bo‘lib, uning qiymati mazkur sistemaning xususiy xossalari bilan aniqlanadi:

$$|\cos(\omega_0 t + \varphi)| \leq 1$$

bo‘lgani uchun  $|x| \leq A$  shart bajariladi.

Garmonik tebranayotgan tizimning istalgan ma‘lum bir holati **tebranish davri** deb ataluvchi, har  $T$  vaqtdan so‘ng takrorlanib turadi. Bunda tebranish fazasi  $2\pi$  miqdoriga oshadi.

$$\omega_0(t + T) + \varphi = (\omega_0 t + \varphi) + 2\pi$$

bundan esa  $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$

Tebranish davriga teskari bo‘lgan kattalikni yoki boshqacha aytganda vaqt birligi ichidagi tebranishlar sonini - **tebranish chastotasi** deb ataladi.

$$\nu = \frac{1}{T} \quad \text{yoki} \quad \omega_0 = 2\pi\nu$$

Chastota birligi - *Gerts* (*Gz*).

Agar 1 s vaqt davomida davriy jarayonda bitta sikl sodir bo‘lsa - uning chastotasi 1 *Gerts* deb olinadi.

Yuqoridagilarni e‘tiborga olsak:

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi) = A \cos(2\pi\nu t + \varphi) = A \cos\left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi\right)$$

bunda  $x$  – o‘zgaruvchan kattalikning  $t$  vaqtga mos keluvchi oniy qiymati [2]

### **Garmonik tebranma harakatda tezlik va tezlanish**

Agar  $x(t)$  garmonik tebranayotgan ossillyator koordinatasi bo‘lsa, unda tezlik va tezlanish ham vaqt bo‘yicha garmonik qonun bilan o‘zgaradi:

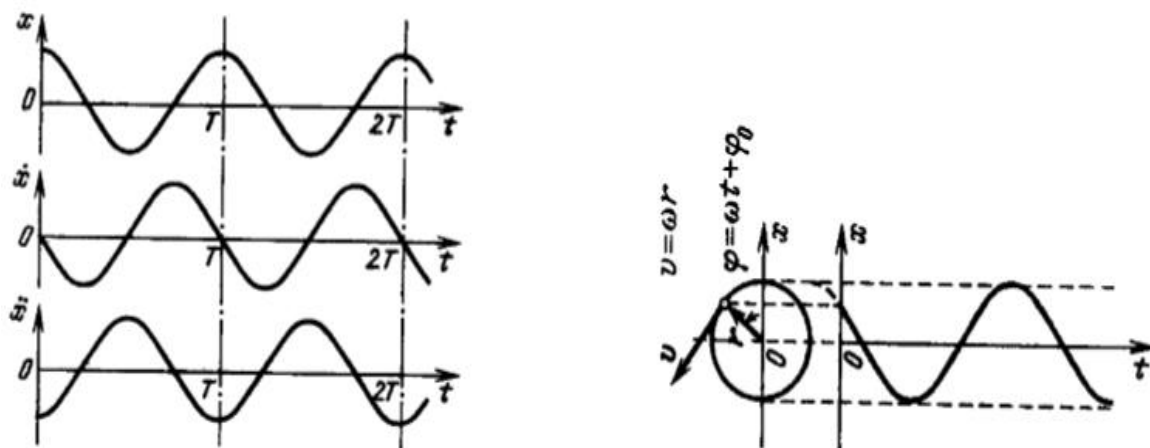
$$v(t) = x'(t) = A\omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi) = A\omega_0 \cos\left(\omega_0 t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$a(t) = x''(t) = -A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi) = A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi + \pi)$$

bunda:  $v(\max) = v_0 = A\omega_0$ ,  $a(\max) = A\omega_0^2$

Tezlikning mos o‘zgarishi koordinata o‘zgarishlariga nisbatan  $\frac{\pi}{2}$  faza (yoki chorak davr) oldin sodir bo‘ladi.

Tezlanishning o‘zgarishi esa faza jihatdan koordinata o‘zgarishlariga nisbatan teskari bo‘ladi (5.3-rasm):



5.3-rasm

Kuzatilayotgan harakatda amplituda va boshlang'ich fazaning son qiymati tebranishlar qay tarzda hosil qilinganligiga bog'liq bo'ladi:

1) Agar ossillyator muvozanat vaziyatidan  $x_0$  miqdorga chiqarilib, qo'yib yuborilgan bo'lsa:

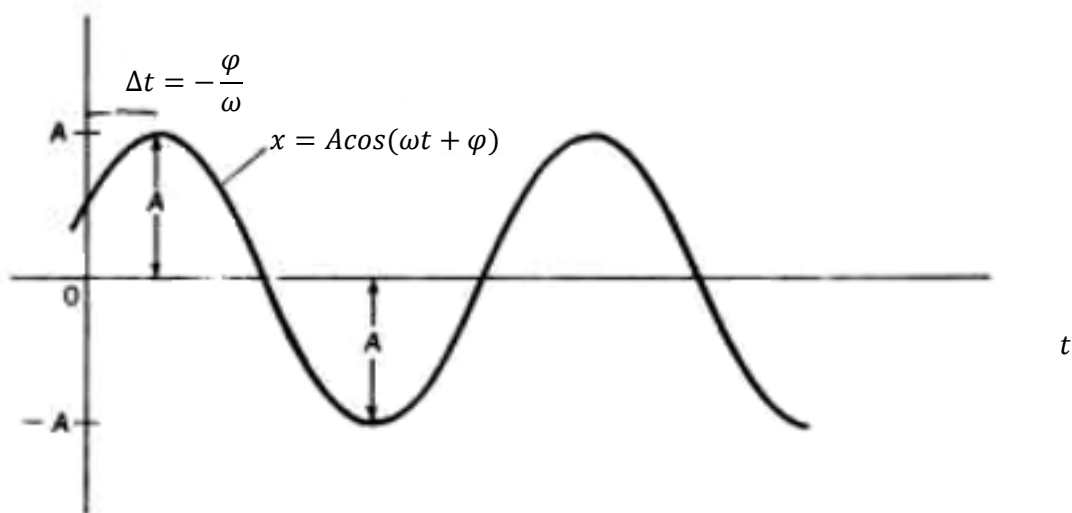
$$x(0) = x_0 \quad \text{va} \quad \dot{x}(0) = 0; \quad A = x_0 \quad \text{va} \quad \varphi_0 = 0$$

$$x = x_0 \cos \omega t$$

2) Agar u muvozanat vaziyatidan boshlang'ich tezlik bilan (ya'ni, siltab) chiqarilsa:

$$x(0) = 0 \quad \text{va} \quad \dot{x}(0) = v_0$$

$$A = \sqrt{x_0^2 + (v_0/\omega)^2}, \quad \operatorname{tg} \varphi_0 = -v_0/(\omega x_0)$$



5.4-rasm

Tebranuvchi moddiy nuqtaning o'z muvozanat holatidan siljishi.

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

formula bilan aniqlanadi. Uning tezligi shu siljishdan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosila, tezlanishi esa tezlikdan vaqt bo'yicha olingan hosiladan topiladi:

$$v(t) = \dot{x} = A\omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi) = A\omega_0 \cos\left(\omega_0 t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$a(t) = \ddot{x} = -A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi) = A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi + \pi)$$

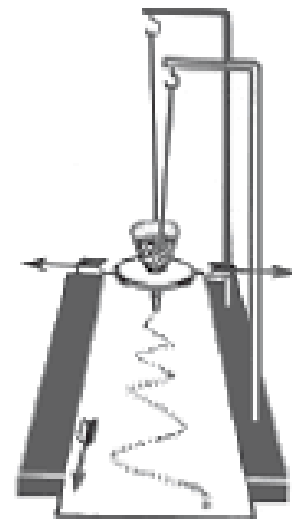
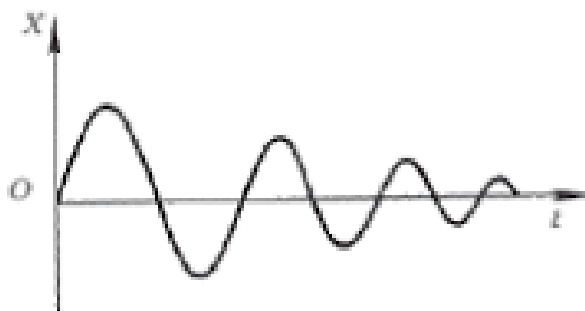
bunda:  $v(\max) = v_0 = A\omega_0$  ,  $a(\max) = A\omega_0^2$

Demak, garmonik tebranma harakat qilayotgan jismning tezlanishi siljish masofasiga to'g'ri proporsional bo'lib, u siljishga nisbatan teskari, ya'ni doimo muvozanat tomonga yo'nalgan bo'lar ekan.

### So'nuvchi tebranishlar

Real mexanik tebranishlar so'nuvchi tebranishlardir. Tebranishlarning so'nishi tebranuvchi moddiy nuqta yoki sistemaning tebranish davomida energiya yo'qotishi bilan bog'liq.

Tebranma harakat sodir bo'layotgan sistema energiyasining vaqt o'tishi bilan kamayib borish hodisasiga so'nuvchi tebranish deb ataladi. Qovushqoq muhitda tebranayotgan real sistemalar o'zining mexanik energiyasini ishqalanish kuchlariga qarshi ish bajarish uchun sarflashga majbur bo'lishi oqibatida tebranish amplitudasi kamayib, so'nuvchi tebranish hosil bo'ladi



5.5-rasm

So‘nuvchi tebranishlar qonuni tebranuvchi sistema xossalari asosida aniqlanadi. Chiziqli sistemalar uchun erkin so‘nuvchi tebranishlarning differensial tenglamasi quyidagicha ko‘rinishga ega [3]:

$$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + w_0^2x = 0$$

bunda  $x$  - kuzatilayotgan fizik jarayonni tavsiflab o‘zgaruvchi kattalik,  $\beta$  - so‘nish koeffitsienti,  $w_0$  - mazkur sistema tebranishlarining xususiy siklik chastotasi.  $w_0^2 > \beta^2$  holda so‘nish jadalligi past bo‘ladi.

Yuqoridagi tenglamaning yechimini aniqlaymiz:

$$x = A_0 e^{-\beta t} \cos(w_0 t + \varphi) = A \cos(w_0 t + \varphi)$$

bunda:

$$A = A_0 e^{-\beta t} = A_0 e^{-t/\tau}$$

$A$  – so‘nuvchi tebranish amplitudasi,  $A_0$  – boshlang‘ich amplituda,  $w$  – so‘nuvchi tebranish siklik chastotasi:

$$w = \sqrt{w_0^2 - \beta^2} = w_0 \sqrt{1 - \frac{\beta^2}{w_0^2}} \approx w_0 - \frac{\beta^2}{2w_0}$$

$\tau = 1/\beta$  relaksatsiya vaqti bo‘lib, u tebranish amplitudasini  $e = 2,718 \dots$  marta kamayishi uchun zarur bo‘lgan vaqtni ko‘rsatadi.

Harakatning so‘nishi natijasida tebranishning davriyligi buziladi. Shuning uchun so‘nuvchi tebranishlar davri tushunchasi shartli ma’noda ishlatiladi:

$$T = \frac{2\pi}{w} = \frac{2\pi}{\sqrt{w_0^2 - \beta^2}}$$

Aytilganlardan bir nechta muhim xulosalar kelib chiqadi:

1) So‘nuvchi tebranishlar chastotasi xususiy tebranishlar chastotasiga nisbatan kichik, tebranish davri esa mos holda katta bo‘ladi:

$$w < w_0, \quad T > T_0$$

2) Kuzatilayotgan harakat chastotasi amplitudaga bog‘liq emasligi uchun u tebranish jarayonida o‘zgarmaydi.

$$w \neq w(A, T) \quad \text{ya'ni} \quad w = \text{const}$$



Davrga teng vaqt oralatib, ketma-ket keluvchi bir xil ishorali qo'shni amplitudalarning qiymatlari mos holda geometrik progressiya qonuni bilan kamayadi (3-rasm):

$$\frac{A(t)}{A(1+t)} = e^{\beta T} = \text{const}$$

**So'nish dekrementi** deb yuritiluvchi ushbu nisbatning natural logarifmasini topamiz:

$$\lambda = \ln \frac{A(t)}{A(1+t)} = \beta T = \frac{T}{\tau} = \frac{1}{N}$$

Bu munosabat so'nishning logarifmik dekrementi deb ataladi. Bunday  $N$ , - amplituda  $e$  marta kamayguncha o'tadigan vaqt ichidagi tebranishlar soni.

**Asllik** - tebranuvchi sistemani sifat jihatdan xarakterlovchi kattalik bo'lib, u sistemaning o'zida jamlangan energiya zaxirasini asrash qobiliyatini ifodalaydi:

$$Q = \frac{\pi}{\lambda} = \pi N = \frac{\pi}{\beta T_0} = \frac{w_0}{2\beta}$$

Asllik - sistemaning relaksatsiya vaqti davomidagi tebranishlar soniga proporsional bo'ladi.

So'nuvchi xususiy tebranishlarning energiyasi quyidagi qonun bilan o'zgaradi:

$$E(t) = E_0 e^{-2\beta t} = E_0 e^{-t/\tau}$$

bunda  $\tau_e = 1/2 \beta = \tau/2$  - energiyaning relaksatsiya vaqti.  $E_0$  - sistema boshlang'ich energiyasining qiymati.

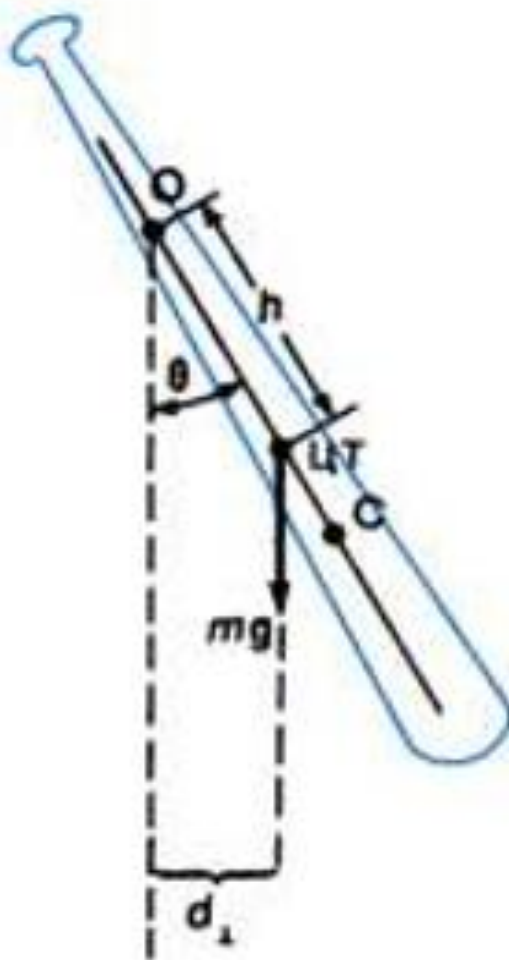
### Mayatniklar

Garmonik ossillyatorning tebranishi - davriy harakatni ifodalashda muhim ahamiyatga ega. U klassik va kvant fizikasining ko'pgina masalalarini yechishda model vazifasini o'taydi. Mayatniklar garmonik ossillyatorlarga yorqin misol bo'la oladi.

1. Prujinali mayatnik - absolyut elastik prujinaga osilgan  $m$  massali yukdan iborat bo'lib, u elastiklik kuchi ostida garmonik harakat qiladi. Yuqorida ko'rib o'tilganidek mayatnikning harakat tenglamasi:  $m\ddot{x} = -kx$  yoki  $\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0$  dan

iborat bo‘ladi. Bundan esa prujinali mayatnik k m  $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$  davr va  $w_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$  siklik chastotali garmonik tebranish hosil qilishi kelib chiqadi. Bu formulalar, Guk qonuni o‘rinli bo‘ladigan chegaradagi elastik tebranishlar uchun o‘rinli.

2. **Fizik mayatnik** - bu osmaning og‘irlik (massa) markazidan o‘tmaydigan, harakatsiz gorizantal o‘q atrofida og‘irlik kuchi ta’siri ostida tebranuvchi qattiq jismdir. (5.6-rasm)



5.6-rasm

Agar mayatnik muvozanat vaziyatidan  $\alpha$  - burchakka burilsa, unda qattiq jism aylanma harakat dinamikasining asosiy tenglamasiga ko‘ra qaytaruvchi kuchning momentini quyidagicha yozish mumkin:

$$M = j\varepsilon = j\ddot{\alpha} = Fl = -mgl \sin \alpha \approx -mgl\alpha$$

Bunda  $j$  - mayatnikning  $O$  nuqtadan o'tuvchi o'qqa nisbatan inersiya momenti  
 $l$  – mayatnik osilgan nuqta va mayatnik og'irlik (massa) markazi orasidagi masofa.

$F = -mgl \sin \alpha \approx -mgl\alpha$  qaytaruvchi kuch. Minus ishora  $F$  va  $\alpha$  yo'nalishlari doimo qarama-qarshi bo'lishini anglatadi.  $\alpha$  etarlicha kichik miqdor bo'lgani uchun  $\sin \alpha = \alpha$  deb olinadi.

$$j\ddot{\alpha} + mgl\alpha = 0 \quad \text{yoki} \quad \ddot{\alpha} + \frac{mgl}{J} = 0$$

$$w_0 = \sqrt{\frac{mgl}{J}} \text{ ekanligini e'tiborga olsak, } \ddot{\alpha} + w_0^2\alpha = 0$$

Uning yechimi esa  $\alpha = \alpha_0 \cos(w_0 t + \varphi)$  bundan esa:

$$T = \frac{2\pi}{w_0} = 2\pi \sqrt{\frac{j}{(mgl)}} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

bunda  $L = J/(ml)$  - fizik mayatnikning keltirilgan uzunligi hisoblanadi. Osilish nuqtasidan keltirilgan uzunlikka teng masofada  $OS$  o'qning davomida yotuvchi  $O'$  nuqtani tebranish markazi deyiladi. Shteyner teoremasini qo'llab quyidagini olamiz [10-11].

$$L = \frac{j}{ml} = \frac{jc + ml^2}{ml} = l + \frac{jc}{ml} > l$$

ya'ni  $O'O'$  doimo  $OS$  dan kattadir. Osilish nuqtasi  $O$  va tebranish markazi  $O'$  o'zaro almashinuv xossasiga ega bo'ladi. Fizik mayatnikning bu ikkala nuqtadan o'tuvchi o'qlar atrofidagi tebranish davrlari bir xil bo'ladi.

3. Matematik mayatnik - bu vaznsiz, cho'zilmaydigan ipga osilgan  $m$  massali moddiy nuqtadan iborat ideallashtirilgan sistema bo'lib, u og'irlik kuchi ostida tebranma harakat qiladi.

Matematik mayatnikning inersiya momenti:  $j = ml^2$ .

Bunda  $l$  – mayatnikning uzunligi.

Matematik mayatnikni - butun massasi og'irlik markazida to'plangan fizik mayatnik deb qarash mumkin. Shu sababli uning tebranish davri:  $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$

Agar fizik mayatnikning keltirilgan uzunligi  $L$ , matematik mayatnikning uzunligi  $l$  ga teng bo'lsa, unda ularning tebranish davrlari bir xil bo'lar ekan.

### **Garmonik tebranma harakat energiyasi.**

Tebranuvchan harakatdagi  $m$  massali moddiy nuqtaning tezligi, kinetik va potensial energiyasi vaqt bo'yicha o'zgarib turadi.

Moddiy nuqtaning elementar potensial energiyasi nuqtani muvozanat vaziyatidan  $dx$  masofaga siljishga majbur qiluvchi tebratuvchi kuchning bajargan ishi bilan aniqlanadi.

$$W_n = A \int_0^x dA = \int_0^x F dx$$

$$F = -kx \text{ bo'lganligi sababli: } W_n = \int_0^x F x dx = \frac{kx^2}{2}$$

Garmonik tebranma harakat uchun  $a = -w^2x$  bo'lgani uchun Nyutonning II qonuniga ko'ra:  $F = -w^2mx$  uni  $F = -kx$  taqqoslab:  $m k = w^2m$  ekanligiga amin bo'lamiz [2].

Agar  $x = a \sin(\omega t + \varphi)$  deb olinsa; unda quyidagi tenglamani hosil qilamiz.

$$W_n = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \varphi)$$

Moddiy nuqtaning tebranish tezligi  $\vartheta^2 = w^2 A^2 \cos^2(\omega t + \varphi)$  bo'lgani uchun uning kinetik energiyasi:  $W_k = \frac{m\vartheta^2}{2} = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \cos^2(\omega t + \varphi)$  formula bilan ifodalanadi. Nuqta garmonik tebranma harakatining to'liq energiyasi esa:  $W = W_n + W_k = \frac{m\omega^2 A^2}{2}$  ga teng bo'lar ekan.

Demak, garmonik tebranma harakat qiluvchi jismning to'liq energiyasi - tebranish amplitudasi kvadratiga to'g'ri proporsional bo'lib, u tebranish jarayonida o'zgarmaydi, faqat potensial va kinetik energiyalari bir - biriga aylanib turadi.

### **Majburiy tebranma harakat.**

#### **Rezonans hodisasi**

Tashqi davriy sinusoidal kuch ta'siri ostida, ma'lum bir vaqtdan so'ng sistemada so'nmaydigan va chastotasi tashqi kuch chastotasiga teng bo'luvchi majburiy tebranish hosil bo'ladi.

Ichki ishqalanish mavjud bo'lgan muhitdagi ossillyator majburiy tebranishlarining differensial tenglamasini tuzamiz:

$$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + w_0^2x = f_0 \cos wt$$

bunda  $f_0 = F_0/m$ ,  $m$  - sistema massasi,  $F_0 \text{const}$  - davriy majburlovchi kuch.

Sistemada paydo bo'lgan tebranishlar uchun yuqoridagi tenglamaning yechimini izlaymiz:

$$x = A \cos(wt - \varphi)$$

bunda  $A$  sistema majburiy tebranishlarning amplitudasi bo'lib, uning son qiymati majburlovchi kuchning chastotasi  $w$  va so'nish koeffitsienti  $\beta$  ga bog'liq bo'ladi:

$$A(w) = \frac{f_0}{\sqrt{(w_0^2 - w^2)^2 + 4\beta^2 w^2}}$$

Ishqalanish kuchi tufayli ossillyator tebranishlari faza jihatdan tashqi kuch tebranishlaridan ortda qoladi.

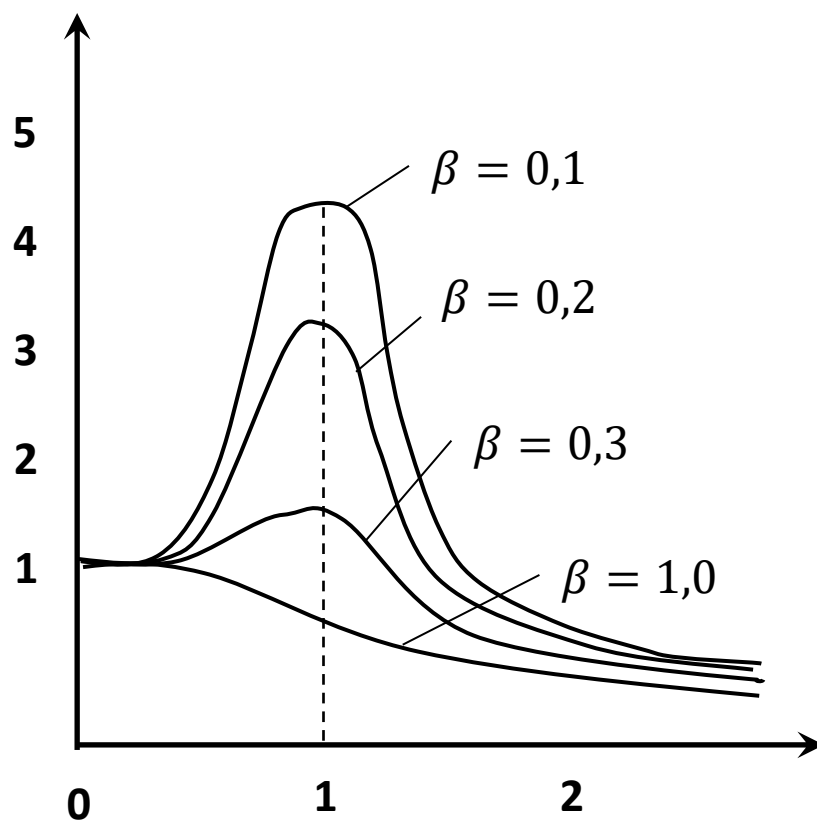
Majburlovchi kuch siklik chastotasining sistema xususiy siklik chastotasiga teng bo'lib qolganida ( $w \approx w_0$ ), so'nmaydigan majburiy tebranishlar amplitudasining keskin oshib ketish hodisasi **rezonans** deb aytiladi.

$$w_{(rez)} = \sqrt{w_0^2 - 2\beta^2} \quad \text{va} \quad A_{(rez)} = \frac{f}{2\beta w_0}$$

haqiqatdan ham  $\beta \ll w_0$  holda tebranish amplitudasi maksimal qiymatga intiladi. Bunda har bir rezonans egri chizig'i turli so'nish koeffitsientiga mos keladi (5.7-rasm). Shuningdek:

- 1) Rezonans chastotasi so'nish mavjud bo'lgan sistema xususiy tebranish chastotasidan doimo kichik bo'ladi.
- 2)  $\beta \geq w_0 / \sqrt{2}$  holda rezonans butunlay yo'qoladi.
- 3) So'nish kattaligi qanday bo'lishidan qat'iy nazar  $w = w_0$  hol uchun fazalar farqi

$$\varphi = (\pi/2) \text{ rad} = 90^\circ \text{ ga teng.}$$



5.7-rasm

Juda katta amplitudali tebranishlar paydo bo'lishining oldini olish uchun quyidagilarni bajarish lozim:

- 1) Imkoni boricha davriy ta'sir qiluvchi kuchni bartaraf qilmoq;
- 2) Xususiy chastota bilan majburlovchi kuch chastotasi orasidagi farqni kattalashtirishga erishmoq;
- 3) Chastotaning faqat bir tebranish davridan katta bo'lmagan vaqt davomidagina rezonans qiymatida turishiga yo'l qo'ymoq.

**Sinov savollari:**

1. Erkin tebranishni ta'riflang.
2. Davriy jarayonlar va garmonik tebranishni tushuntiring.
3. Tebranishning amplitudasi, fazasi, davri va chastotasini ta'riflang
4. Garmonik tebranayotgan nuqta tezligi va tezlanishini vaqtning funksiyasi sifatidagi formulasini keltirib chiqaring.
5. To'g'ri chiziqli garmonik tebranishlarda amplituda va siljish fazasi, tezligi hamda tezlanishi oralaridagi bog'lanishlarni aniqlang.

6. So‘nuvchi tebranishning differensial tenglamasini va uning yechilishini yozing.

7. So‘nuvchi tebranishlar amplitudasi qanday qonun bo‘yicha o‘zgaradi. So‘nuvchi tebranishlarni davriy tebranish deb qarasa bo‘ladimi?

8. Nima sababdan so‘nuvchi tebranish chastotasi sistemaning xususiy tebranish chastotasidan kichik bo‘lishi lozim?

## **6-Mavzu. Suyuqliklar mexanikasi.**

### **Reja:**

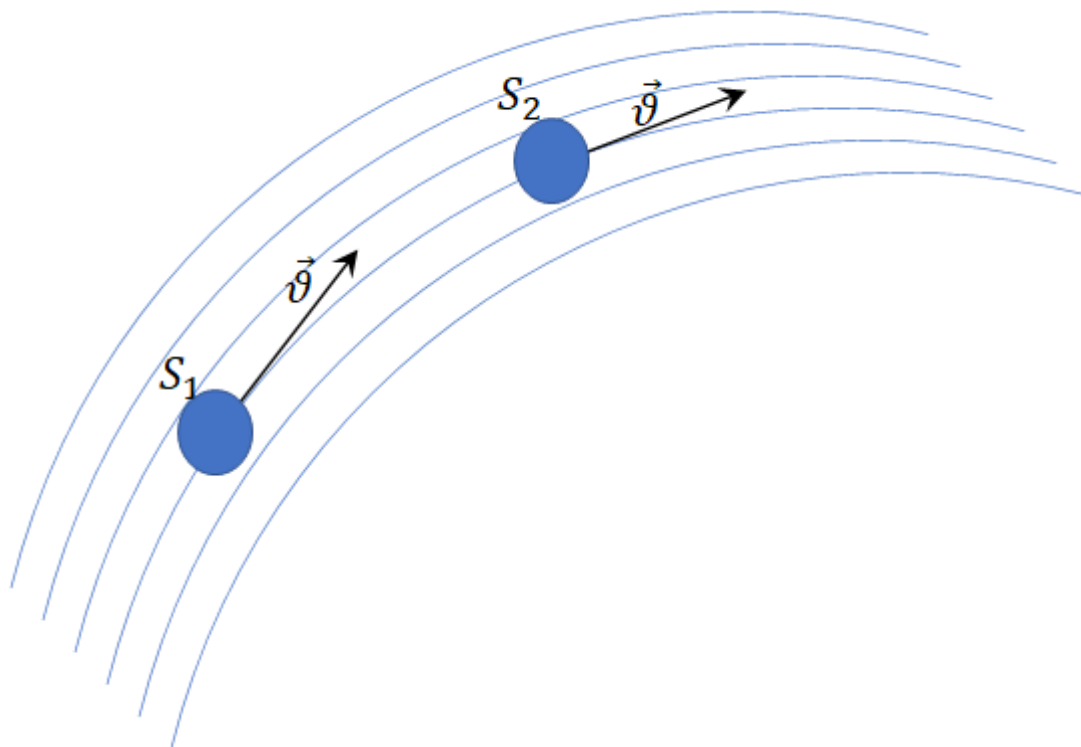
1. Suyuqlik va gazlarda bosim. Atmosfera bosim.
2. Suyuqlik vagazlar uchun. Arximed qonuni.
3. Suyuqlik bosimining oqim tezligiga bog‘liqligi.
4. Suyuqlikning uzluksiz tenglamasi. Bernulli tenglamasi.
5. Statistik fizika vamuvozonatli holat.
6. Sistemalar holatini ehtimolligi.
7. Maksvell taqsimoti.

***Tayanchiboralar:*** *Atmosferabosim, Arximedqonuni, Bernulli tenglamasi, Maksvell taqsimoti, statistik fizika, suyuqlik oqimi, Stoks formulasi, turbulentslik.*

Oqim chiziqlarining manzarasi vaqt o‘tishi bilan o‘zgarishi mumkin. Lekin oqim egallagan fazoning ixtiyoriy biror nuqtasidan o‘tayotgan suyuqlik zarralarining tezliklari o‘zgarmas bo‘lsa, oqim chiziqlarining shakli va vaziyati vaqt o‘tishi bilan o‘zgarmaydi. Oqim chiziqlarining manzarasi o‘zgarmaydigan holdagi suyuqlikning harakatini barqaror yoki statsionar oqish deb ataladi. Statsionar oqishdagi oqim chiziqlari suyuqlik zarrachalarning trayektoriyasi sifatida ham xizmat qiladi.

Suyuqlik harakatini kinematik tavsiflash. Suyuqlik oqimining statsionar harakatini tekshirish uchun uni hayolan oqim naylariga ajratiladi va har bir oqim nayidagi harakat o‘rganiladi. Oqim nayi deganda suyuqlik oqimining shunday hayoliy qismi tushuniladiki, uning yon sirlari oqim chiziqlaridan tashkil topgan bo‘lishi kerak. Bunday nay ichidagi suyuqlik zarrachalari undan tashqariga chiqa

olmaydi va nay tashqarisidagi zarralar uning ichiga kira olmaydi. Odatda, oqim nayining ko'ndalang kesimi yetarlicha kichik qilib olinadiki, natijada mazkur kesimning barcha nuqtalaridan o'tayotgan suyuqlik zarralarining tezliklarini birday deb hisoblash mumkin. Oqim nayi ichidagi suyuqlik sharra deb ataladi. 6.1-rasmda tasvirlangan oqim nayining  $S_1$  va  $S_2$  kesimlaridagi suyuqlik oqimining tezliklari mos ravishda  $v_1$  va  $v_2$ , suyuqlikning zichliklari esa  $\rho_1$  va  $\rho_2$  bo'lsin.



6.1-rasm. Laminar oqim

Oqim nayining  $S_1$  va  $S_2$  kesimlaridan 1 s davomida statsionar ravishda oqib o'tayotgan suyuqlik massalari  $m_1 = \rho_1 v_1 S_1$  va  $m_2 = \rho_2 v_2 S_2$  o'zaro teng bo'lishi kerak ( $m_1 \neq m_2$  bo'lgan holda suyuqlikni oqishi statsionar bo'lmaydi). 6.2-rasm

Shuning uchun

$$\rho_1 v_1 S_1 = \rho_2 v_2 S_2 \quad (6.1)$$

munosabat o'rinli. Siqilmas suyuqliklar uchun  $\rho_1 = \rho_2$  bo'ladi. Natijada (6.1) quyidagi ko'rinishga keladi:

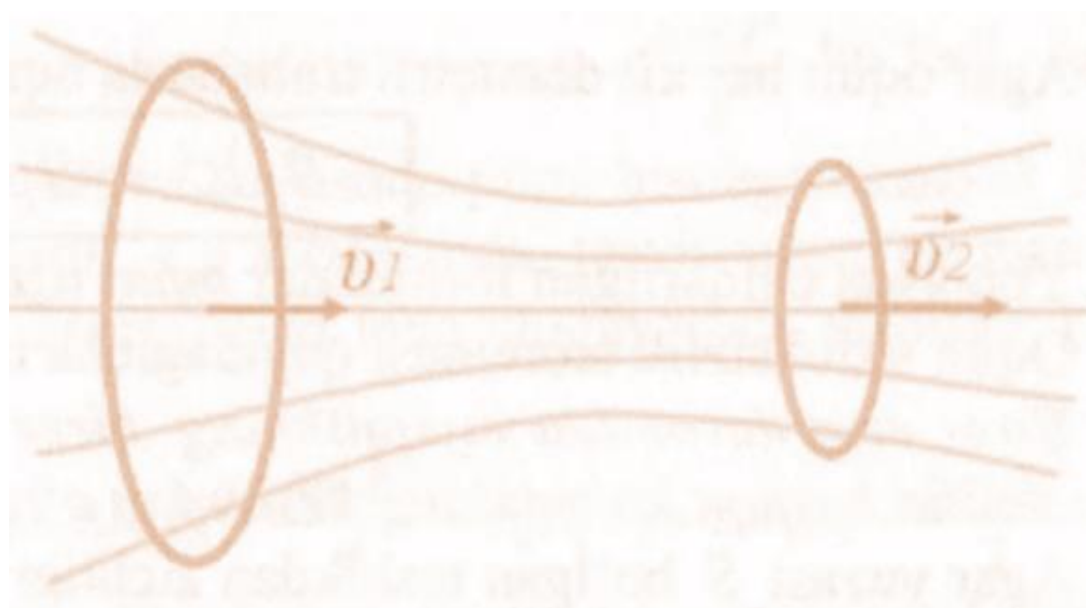
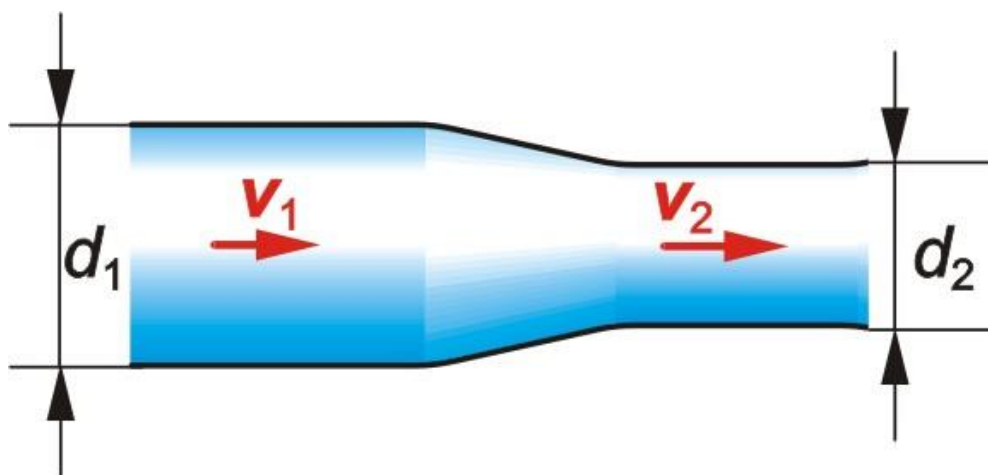
$$v_1 S_1 = v_2 S_2 \quad (6.2)$$



(6.1) ifoda siqiluvchan suyuqliklar uchun, (6.2) esa siqilmas suyuqliklar uchun uzilmaslik tenglamasidir (6.2) ga asosan, oqim nayi ensizroq bo'lgan sohalarda suyuqlikning oqim tezligi ortib boradi.

Demak, *siqilmas suyuqlik uchun oqim nayi ko'ndalang kesimining yuzini shu kesimdan o'tayotgan suyuqlikning oqim tezligiga ko'paytmasi mazkur oqim nayi uchun doimiy kattalidir.*

$$S v = \text{const}$$



6.2-rasm. Oqim uchlaridagi tezlik

Suyuqliklar siqiluvchanlik va ichki ishqalanish xossalariga ega. Suyuqlik harakatini o'rganish chog'ida bu xossalarning barchasini hisobga olmoqchi bo'lsak masala ancha murakkablashadi. Shu sababli suyuqlik oqimining umumiy manzarasini tekishirayotganda ideal suyuqlik modelidan foydalanish ancha qulaylik tug'diradi. Ideal suyuqlik deganda yopishqoqlikka ega bo'lmagan siqilmas suyuqlik

tushuniladi. Ideal suyuqlik uchun hosil qilingan xulosalarni siqiluvchanligi va yopishqoqligi kuchsiz namoyon bo‘ladigan real suyuqliklarga ham qo‘llash mumkin.

Ideal suyuqlikning oqim tezligi va bosimi orasidagi bog‘lanishni aniqlaylik. Buning uchun ideal suyuqlik barqaror oqim ichida ko‘ndalang kesimi yetarlicha kichik bo‘lgan oqim nayini xayolan ajrataylik (3-rasm). Oqim nayining  $S_1$  kesimidagi suyuqlik tezligi va bosimini mos ravishda  $v_1$  va  $R_1$  bilan,  $S_2$  kesimidagilarni esa  $v_2$  va  $R_2$  harflari bilan belgilaylik

$S_1$  va  $S_2$  kesimlar markazlarining biror gorizontal sathidan balandliklari mos ravishda  $h_1$  va  $h_2$  bo‘lsin.  $S_1$  va  $S_1$  kesimlar bilan chegaralangan oqim nayi ichidagi suyuqlik massasining  $\Delta t$  vaqt davomidagi to‘liq energiyasining o‘zgarishini aniqlaylik. Shu vaqt davomida suyuqlikning tekshirilayotgan massasi oqim nayi bo‘ylab o‘ng tomonga siljib qoladi va  $\Delta t$  vaqtning oxirida  $S_1'$  va  $S_2'$  kesimlar bilan chegaralangan hajmni egallaydi. 3-rasmdan ko‘rinishicha, tekshirilayotgan suyuqlik massasining  $S_1$  va  $S_1'$  kesimlar orasidagi  $m$  massali suyuqlik

$$W_1 = \frac{mv_1^2}{2} + mgh_1$$

to‘liq energiyaga ega bo‘lgan vaziyatdan  $S_2$  va  $S_2'$  kesimlar orasidagi hajmni egallagan

$$W_2 = \frac{mv_2^2}{2} + mgh_2$$

to‘liq energiyali vaziyatga o‘tib qolgandek bo‘ladi. Natijada tekshirilayotgan suyuqlik massasining  $S_1$  va  $S_2$  kesimlar bilan chegaralangan vaziyatga ko‘chishi tufayli uning to‘liq energiyasi

$$\Delta W = W_2 - W_1 = \left( \frac{mv_2^2}{2} + mgh_2 \right) - \left( \frac{mv_1^2}{2} + mgh_1 \right) \quad (6.3)$$

miqdoriga o‘zgaradi. Energiyaning bu o‘zgarishini mexanik energiyaning saqlanish qonuniga asosan, tashqi kuchlarning bajargan ishiga teng bo‘lishi lozim. Mazkur holda ish bajaradigan tashqi kuchlar - oqim nayining tekshirilayotgan qismiga suyuqlik tomonidan ta’sir etuvchi bosim kuchidir. Oqim nayining yon devorlariga ta’sir etuvchi bosim kuchlari suyuqlik zarralarining harakati yo‘nalishiga tik

bo‘lganligi uchun ular hech qanday ish bajarmaydi. Shuning uchun  $S_1$  va  $S_2$  kesimlar orqali ta’sir etuvchi  $F_1 = R_1 S_1$  va  $F_2 = R_2 S_2$  kuchlargina ish bajaradi.  $\Delta t$  vaqt davomida  $S_1$  - kesimdagi suyuqlik zarralari  $\Delta \ell_1 = \vartheta_1 * \Delta t$  masofaga siljiganligi tufayli  $F_1$  kuch bajargan ishning qiymati

$$\Delta A_1 = F_1 \Delta \ell_1 = R_1 S_1 \vartheta_1 \Delta t$$

ifoda bilan aniqlanadi va bu ish musbat.  $R_2$  - bosim kuchi suyuqlik zarralarining ko‘chish yo‘nalishlariga teskari bo‘lganligi tufayli u bajargan ish manfiy, ya’ni

$$\Delta A_2 = -F_2 \Delta \ell_2 = -R_2 S_2 \vartheta_2 \Delta t$$

bo‘ladi. Natijada tashqi kuchlarning to‘liq ishi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\Delta A = \Delta A_1 - \Delta A_2 = R_1 S_1 \vartheta_1 \Delta t - R_2 S_2 \vartheta_2 \Delta t \quad (6.4)$$

6.2-rasmdan ko‘rinadiki,  $S_1 \vartheta_1 \Delta t$  - oqim nayiga  $\Delta t$  vaqt davomida  $S_1$  kesim orqali kirayotgan suyuqlik hajmi,  $S_2 \vartheta_2 \Delta t$  esa  $S_2$  kesimdan chiqayotgan suyuqlikning hajmi. Ikkinchi tomondan, uzilmaslik tenglamasiga asosan  $S_1 \vartheta_1 = S_2 \vartheta_2$ . Shuning uchun

$$S_1 \vartheta_1 \Delta t = S_2 \vartheta_2 \Delta t = \Delta V$$

Natijada (4) ni quyidagicha yoza olamiz

$$\Delta A = R_1 \Delta V - R_2 \Delta V \quad (6.5)$$

Yuqorida qayd qilganimizdek, ideal suyuqlikning statsionar oqimida  $\Delta W = \Delta A$  shart bajarilishi lozim. Shunga asosan (6.3) va (6.5) ifodalarni birlashtirib quyidagi tenglamani hosil qilamiz.

$$\frac{m \vartheta_1^2}{2} + mgh_1 + P_1 \Delta V = \frac{m \vartheta_2^2}{2} + mgh_2 + P_2 \Delta V$$

Bu tenglikni ikkala tomonini  $\Delta V$  ga bo‘lib yuborsak va  $m/\Delta V = \rho$  suyuqlik zichligi ekanligini hisobga olsak, yuqoridagi tenglama yangi ko‘rinishdagi quyidagi

$$\frac{\rho \vartheta_1^2}{2} + \rho gh_1 + P_1 = \frac{\rho \vartheta_2^2}{2} + \rho gh_2 + P_2 \quad (6.6)$$

munosabat vujudga keladi. Hisoblashlarda  $S_1$  va  $S_2$  kesimlarni ixtiyoriy ravishda tanlagan edik. Shuning uchun (6.6) munosabat oqim nayining ixtiyoriy kesimlariga ham talluqlidir.

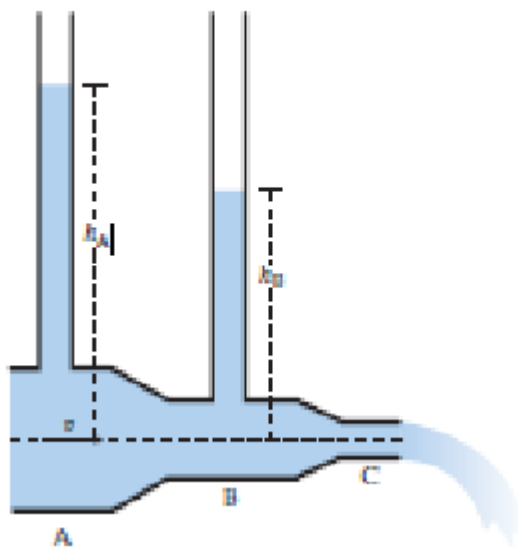
Demak, statsionar oqayotgan ideal suyuqlikning ixtiyoriy oqim chizig`I bo`ylab

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + p = \text{const} \quad (6.7)$$

shart bajariladi Bu ifoda Bernulli tenglamasi deb ataladi.

Bernulli tenglamasida qo`shiluvchi hadlarning fizik ma`nosi bilan tanishaylik:

6.1-rasmdagi harakatlanuvchi suyuqlik ichidagi bosim, statik bosim deb ataladi. (6.7) ga asosan statik bosim



6.3-rasm. Oqim hosil qiladigan bosimi

$$p = \text{const} - \frac{\rho v^2}{2} - \rho gh \quad (6.8)$$

munosabat bilan aniqlanadi. Agar mazkur ifodada  $v = 0, h = 0$  deb olsak,  $p = p_0 = \text{const}$  bo`ladi. Bundan Bernulli tenglamasidagi o`zgarmasning ma`nosi kelib chiqadi: u tinch turgan suyuqlikning sanoq boshi tarzida qabul qilingan sathdagi (nolinchi sath) bosimdir. U holda (6.8) ga asosan, oqim tezligi ortsa yoki

oqim nayini nolinni sathga nisbatan balandroq ko'tarilsa, statik bosimning qiymati kamayadi, degan xulosaga kelamiz.

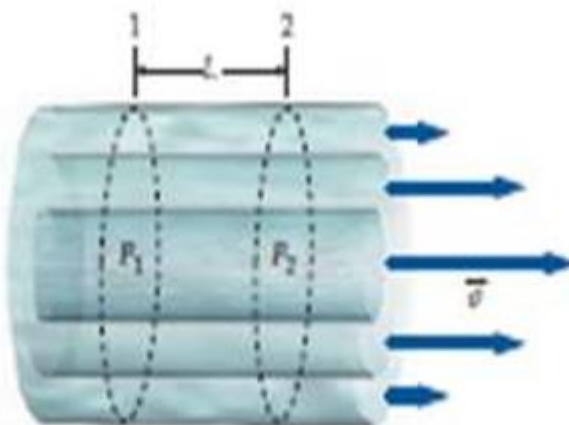
2.  $\frac{\rho v^2}{2}$  – dinamik bosim. U suyuqlik ichidagi bosim suyuqlikning harakatlanishi tufayli qandaydir miqdorga kamayishini harakterlaydi.

3.  $\rho gh$  gidravlik bosim. U oqim nayi h balandlikka ko'tarilgan taqdirda statik bosimning qanchagacha kamayishini ifodalaydi. 6.3- rasm

Bularni hisobga olib Bernulli tenglamasining mohiyatini quyidagicha tafriflash mumkin: ideal suyuqlikning statsionar oqimdagi to'liq bosim - dinamik, gidravlik va statik bosimlarning yig'indisidan iborat bo'lib, uning qiymati oqim nayining barcha kesimlari uchun birday bo'ladi.

Bosimni xalqaro birliklar tizimi "SI" dagi o'lchov birligi sifatida  $1 \text{ m}^2$  yuzaga tik ravishda ta'sir etayotgan 1 N kuchning bosimi qabul qilinib, unga Paskal P (Pa) deb nom berilgan.

Suyuqlik qatlamlarining bir-biriga nisbatan harakatlanishi jarayonida ichki ishqalanish kuchlari vujudga keladi. Bunga quyidagi tajribada ishonch hosil qilish mumkin. Ikki o'zaro paralel gorizonta plastinkalarning biri ikkinchisining tepasida joylashgan bo'lib, ular oralig'ida biror suyuqlik, masalan, suv qatlami mavjud



6.4-rasm Suyuqlik oqimining uzluksizligi

Suyuqlikning ikki qo'shni qatlamlariga oid molekulalar orasidagi o'zaro tutinish tufayli quyi qatlam yuqori qatlam tezligini kamaytiradi va aksincha, yuqori qatlam quyi qatlam tezligini oshiradi. Suyuqlikning bir-biriga nisbatan

harakatlanayotgan qatlamlari orasida vujudga kelayotgan bu kuchni ichki ishqalanish kuchi deb yuritiladi, ichki ishqalanish kuchi bilan bog‘liq bo‘lgan suyuqlik xossasi esa yopishqoqlik deb ataladi. (6.4-rasm)

Tajribalarning ko‘rsatishicha, suyuqlikning ikki qatlami orasidagi ichki ishqalanish kuchi ( $F$ ) ning qiymati qatlamlarning bir-biriga tegish sohasining yuzi ( $S$ ) ga va tezlik gradienti deb ataladigan kattalikka teskari proportsional:

$$F = \eta S \frac{\Delta \vartheta}{\Delta x} \quad (6.9)$$

Bu ifoda Nyuton formulasi deb ataladi. Undagi tezlik gradienti suyuqlik qatlamlari tezliklarining bir qatlamdan ikkinchi qatlamga o‘tganda (OX yo‘nalishida) o‘zgarish jadalligini xarakterlaydi. (6.9) dagi ( $\eta$  – suyuqlikning tabiatiga bog‘liq bo‘lib, u suyuqlikning (dinamik) yopishqoqlik koeffitsienti deb yuritiladi. Yopishqoqlik koeffitsientining o‘lchov birligini

$$\eta = \frac{F}{S \frac{\Delta \vartheta}{\Delta x}} \quad (6.10)$$

xalqaro birliklar tizimi «SI» dagi birligi sifatida shunday suyuqlikning yopishqoqligi qabul qilinishi kerakki, tezlik gradienti bo‘lgan holda mazkur suyuqlikning ikki bir-biriga tegib turgan qatlami orasidagi  $S = 1m^2$  sirtida  $1N$  ga teng ichki ishqalanish kuchi vujudga keladi. Bu birlik paskal - sekund ( $Pa (s)$ ) deb ataladi. Haqiqatan, (10) da  $F, S, \vartheta, x$  larning o‘rniga ularning xalqaro birliklar tizimi «SI» dagi birliklarini qo‘yib  $[\eta] = \frac{N}{m^2 s^{-1}} = \frac{H}{m^2} s = Pa s$  ni hosil qilamiz. Adabiyotlarda yopishqoqlikning puaz ( $P$ ) deb ataladigan lekin foydalanilmaydigan o‘lchov birligi ham uchraydi:  $1Puaz = 0,1Pa \cdot s$ .

Suyuqliklarning yopishqoqligi temperaturaga teskari proportsional ravishda o‘zgaradi. Buning sababi  $T$ - temperatura ortishi bilan suyuqlik molekulari orasidagi o‘zaro ta’sirning susayishidir.

Stoks formulasi. Hidrodinamik betayinlik. Turbulentlik.

Suyuqlik oqishining turlari haqida fikr yuritaylik. Buning uchun yana bir marta suyuqlikning qatlamsimon oqishi qanday vujudga kelishi bilan tanishaylik.

Tajribalarning ko'rsatishicha, laminar oqish sodir bo'layotgan suyuqlik qatlamlarining tezliklari nay o'qidan uzoqlashgan sari parabolik qonun asosida o'zgarib boradi. Ingichka kapilyar quvrlardagi suyuqlikning laminar oqishini fransuz fizik va fiziolog olimi J.Puazeyl (1799 - 1869) tekshirgan.  $R$  - radiusli va  $\ell$  uzunlikdagi kapilyar quvrni olamiz. Suyuqlik ichida qalinligi  $dr$  va  $r$  radius bilan chegaralangan qatlamni fikran ajratib olamiz (6-rasm). Bu qatlamga ichki tomondan ichki ishqalanish kuchi ta'sir etadi

$$F = -\eta \frac{d\vartheta}{dr} S = -\eta 2\pi r \ell \frac{d\vartheta}{dr}$$

Berilgan suyuqlikning oqimi uchun ichki ishqalanish kuchi silindirning chekkalaridagi bosimlar farqiga proporsional bo'ladi:

$$p - \eta 2\pi r \ell \frac{d\vartheta}{dr} = \Delta p r^2 \quad (6.11)$$

Bundan ko'rinadiki trubada suyuqlik zarrachalarning tezligi parabolik qonun asosida o'zgarib boradi, parabolaning cho'qqisi (eng katta qiymati) quvrning o'qiga to'g'ri keladi.  $t$  vaqt ichida trubadan oqib chiqayotgan suyuqlikning hajmi:

$$V = \int_0^R \vartheta t 2\pi r dz = \frac{2\pi \Delta P t}{4\eta \ell} dr = \frac{\pi \Delta P t}{2\eta \ell} \left[ \frac{r^2 R^2}{2} - \frac{r^4}{4} \right]_0^R = \frac{\pi R^4 \Delta P t}{8\eta \ell} \quad (6.12)$$

Bundan suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsenti

$$\eta = \frac{\pi R^4 \Delta P t}{8\vartheta \ell} \quad (6.12)$$

ifoda bilan xarakterlanadi.

Suvning naydagi oqish tezligini oshirib borsak, tezlikning biror qiymatidan (kritik qiymat) boshlab rangli suyuqlik sharrasi nay kesimi bo'ylab yoyila boshlaydi. Oqimning qatlamsimonligi buzilib, suyuqlikning aralashishi sodir bo'ladi. Suyuqlikning bunday xarakterlanishini turbulent oqish deb ataladi. Turbulent oqishi jarayonida suyuqlik zarralarining tezliklari xaotik ravishda o'zgarib turadi. Shuning uchun nay kesimining u yoki bu nuqtasidagi suyuqlik zarrasining o'rtacha tezligi haqida mulohaza yuritish mumkin. Suyuqlikning aralashishi tufayli nay kesimining deyarli barcha qismida zarralar bir xil o'rtacha tezliklar bilan harakatlanadi. Faqat nay devorlariga bevosita yaqin qatlamdagina o'rtacha tezlik boshqa qatlamdagiga nisbatan kichik bo'ladi. Bundan laminar oqishda suyuqlikning yopishqoqligi nay

kesimining barcha qismida, turbulent oqishda esa faqat nay kesimining devorlariga juda yaqin qismida nomoyon bo'ladi degan xulosa kelib chiqadi.

Demak, nay orqali oqayotgan suyuqlik tezligining biror kritik qiymatidan boshlab oqish turbulentlik xarakteriga ega bo'la boshlaydi. Tekshirishlar natijasida suyuqlik oqishining xarakteri Reynolds soni ( $Re$ ) deb ataladigan

$$Re = \frac{\rho v \ell}{\eta} \quad (6.13)$$

O'lchamsiz kattalikka bolg'liqligi aniqlangan. (6.13) dagi:

$\rho$  - suyuqlik zichligi,

$v$  - nay kesimi bo'yicha suyuqlik oqishining o'rtacha tezligi,

$\eta$  - suyuqlikning yopishqoqligi,  $\ell$  - nay kesimining o'lchami.

(6.13) dagi  $\eta/\rho$  va  $\ell$  larning nisbatini kinematik yopishqoqlik deb ataladigan  $\nu = \eta/\rho$  kattalik bilan almashtirsak, quyidagi ko'rinishga keladi:

$$Re = v * \ell / \nu \quad (6.14)$$

Kinematik yopishqoqlik ( $m^2/s$ ) birligi bilan o'lchanadi.  $1 m^2/s$  - zichligi  $1 kg/m^3$  va dinamik yopishqoqligi  $1 Pa \cdot s$  bo'lgan suyuqlikning kinematik yopishqoqligidir. Tajribalarning ko'rsatishicha, oddiy sharoitlarda silindrsimon naylar orqali suyuqlikning oqimi laminar xarakterga ega bo'lishi uchun  $Re < 2300$ , turbulent oqim namoyon bo'lishi uchun esa  $Re > 2300$  bo'lishi lozim.

Qattiq jism va suyuqlikning o'zaro ta'sirlashishida vujudga keluvchi kuchlar qo'zg'almas suyuqlik ichida qattiq jism xarakatlanganda ham yoki suyuqlik xarakatlanib qattiq jism esa qo'g'zalmas bo'lganda ham, bir xil bo'ladi.

Qattiq jism suyuqlikda harakatlanish jarayonida qarshilikka uchraydi. Suyuqlik tomonidan jismga ta'sir etuvchi kuch, umumiy holda, harakat yo'nalishi bilan biror burchak hosil qiladi. Tajribalarning ko'rsatishicha, bu kuch ikki kuchning yig'indisidan iborat:

1) harakatga qarshilik ko'rsatuvchi kuch suyuqlik oqishi bo'ylab yo'nalgan, uni ro'baro' (peshona) qarshilik kuchi ( $F_r$ ) deb ataladi.



2) Suyuqlikning oqimga perpendikulyar ravishda ta'sir etadigan kuch, uni ko'taruvchi kuch ( $F_k$ ) deb ataladi.

*Suyuqlik va jismning, bir-biriga nisbatan tezligi unchalik katta bo'lmagan xollarda harakatga ko'rsatiladigan qarshilik kuchi suyuqlikning yopishqoqligi bilan bog'liq. Agar suyuqlik yopishqoqligi, jismning shakli va o'lchamlari hamda jismning suyuqlik oqishi yo'nalishiga nisbatan joylashishini hisobga oluvchi  $C_x$  koeffitsientidan foydalansak*

$$F_{ish} = c_x \cdot \vartheta \quad (6.15)$$

munosabat o'rinli bo'ladi.

Reynolds sonining qiymati birga yaqin bo'lganda chegaraviy qatlam qalinligi jism o'lchami bilan taqqoslanadigan darajada,  $Re < 1$  da esa chegaraviy qatlam oqimning deyarli barcha sohasini egallaydi. Bunday hol uchun  $r$  radiusli sharsimon jismning harakatiga suyuqlik tomonidan ko'rsatiladigan qarshilik kuchi ishqalanish kuchidan iborat bo'ladi va u ifoda bilan aniqlanadi.

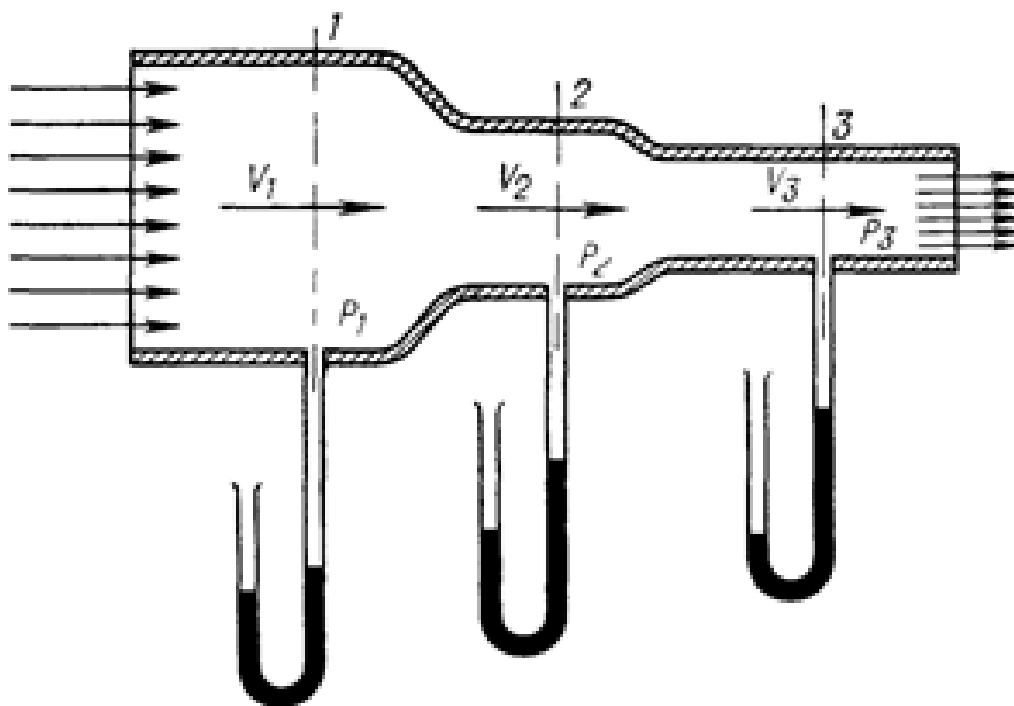
$$F_{ish} = 6\pi\eta\vartheta r \quad (6.16)$$

(6.16) Stoks ((1819 - 1903) ingliz fizik olimi) formulasi deb ataladi. Oqish tezligining ancha katta qiymatlarida, masalan,  $Re = 10^4$  bo'lganda, chegaraviy qatlamning qalinligi jism o'lchamining 0,01 ulushidan ham kichik bo'ladi. Mazkur holda jismni o'rab turgan yupqa chegaraviy qatlam suyuqlikning umumiy oqimidan keskin ajralib turadi. Tajribalarning ko'rsatishicha, suyuqlik va jismning bir-biriga nisbatan harakat tezligini orttirib borsak, biror paytda manzara o'zgaradi (5-rasm). Jismning orqa tomonida uyurmalar vujudga kelib, ular vaqt-vaqti bilan uziladi. Oqim bu uyurmalarini olib ketishi tufayli uyurmalardan iborat yo'l hosil bo'ladi. Jismdan ancha uzoqlikda uyurmalar yo'qolib, yana oqish qatlamsimon shaklini tiklaydi. G'alayonlanmagan suyuqlikni bosimini  $P$  deb belgilasak, jismning orqa tomonida vujudga kelayotgan uyurmalar sohasidagi bosim  $P_B < P$ .

### **O'ta oquvchanlik**

Kvant suyuqliklarning bu xossasi – ishqalanishsiz oqishidir. Buni birinchi marta 1938 yilda fizik olim P. L. Kapitsa suyuq geliyda aniqlagan. 2,17 K dan past temperaturada geliyning yopishqoqligi nolga aylanadi va u juda ingichka

kapillyarlardan erkin oqadi. O'ta oquvchanlik hodisasini 1941 yilda fizik olim L.D.Landau nazariy tushuntirdi. Suyuq geliy atomlari yagona kvant sistemani tashkil qiladi, uning energiya va impulsini faqat birdaniga sakrash bilan – chekli kattalik qadar o'zgartirish mumkin. Shuning uchun muayyan tezlikkacha suyuq geliy to'siqlarni pisand qilmasdan ishqalanishsiz oqadi – o'ta oquvchanlik xossasiga ega bo'ladi.



6.5-rasm. Suyuqliklarda hosil bo'ladigan bosim

Suyuq geliyda ko'p mo'jizalar bor. U go'yo ikki suyuqlikdan iborat bo'lib, bu suyuqliklar bir-biriga hech qanday xalaqit bermasdan mustaqil oqishi mumkin. Bir suyuqlik o'ta oquvchan, u yopishqoqlikka ega emas, ikkinchisi normal suyuqlik. Normal tashkil etuvchining nisbiy miqdori temperaturaga bog'liq absolyut nol temperaturada butun geliy o'ta oquvchan bo'ladi, kritik 2,17 K temperaturada esa bitta normal suyuqlik qoladi. Ingichka kapillyarlar orqali faqat o'ta oquvchan tashkil etuvchi oqadi. Normal tashkil etuvchining oqa boshlashi uchun geliyda temperaturalar farqini hosil qilish yetarli ekan.

Biz geliyning biror joyini isitdik, deb faraz qilaylik. Bu holda u joyda normal tashkil etuvchi zichligi ortadi. Shuning uchun o'ta oquvchan suyuqlik isitilgan joyga intiladi, normal suyuqlik esa (konsentratsiyalarni tenglash va temperaturaning

hamma joyda bir xil bo'lishini tiklash uchun) teskari yo'nalishda oqa boshlaydi. Juda chiroyli bir tajriba shunga asoslangan. Pastki uchi kengroq bo'lgan va qora kukun joylangan kapillyar naycha suyuq geliyga botiriladi. Yorug'lik bilan yoritganda kukun isiydi, normal tashkil etuvchi vannaga oqib tushadi, o'ta oquvchan geliy esa teskari yo'nalishga intiladi va naychanning ochiq uchidan fontan (30 sm gacha balandlikda) bo'lib otilib chiqadi.

O'ta oquvchanlik tufayli hatto tutashmagan idishlardagi geliyning sathlari hamma vaqt tenglashadi. Buning yuz berishiga sabab shuki, idishning sirtini yopishqoqliksiz harakat qiladigan geliyning juda yupqa (qalinligi 100 atom qatlam chamasida) pardasi qoplaydi. Natijada, agar geliy solingan probirkani suyuqlik sathidan yuqori ko'tarilsa, u holda geliyning hammasi probirkadan albatta oqib tushadi. O'ta oquvchanlik kollektiv effektdir. Geliy atomlari butun (nol) spinga ega va shuning uchun bir xil holatlarda to'planadi. Natijada har bir zarraning kvant xossalari kuchayadi. Yarim butun spinli zarralardan tarkib topgan sistemalarda, masalan, elektronlar, neytronlar yoki protonlar sistemalarida Pauli printsipti ta'sir qiladi, u aksincha zarralarning bir xil holatlarda bo'lishini man qiladi. Bunday sistemalarda odatda o'ta oquvchanlik kuzatilmaydi. Ammo bu holda ham zarralarni butun spinga ega bo'lgan va o'ta oquvchan holatga o'tadigan juftlarga birlashtirish mumkin. Masalan, metallda erkin elektronlarni juftlash elektronsuyuqlikni o'ta oquvchanlik holatiga o'tishiga olib keladi. Natijada elektr tok yo'qotishsiz oshishi mumkin. Geliy  $He^3$  izotopining atomlari uch zarra (ikki proton va bir neytron) dan tuzilgan, u atomning umumiy spini yarimbutun, shuning uchun oddiy sharoitda  $He^3$  normal suyuqlik bo'ladi va faqat Kelvin gradusining mingdan bir ulushi atrofida juda past temperaturalarda atomlarning juftlashishi va o'ta oquvchan holatga o'tish yuz beradi.

## **Statistik fizik elementlari**

### **Statistik fizika va muvozonatli holat**

Makroskopik sistemalar xossalarini molekulyar-kinetik tasavvurlar asosida va matematik statistik usullar bilan urganuvchi nazariy fizika bulimi statistik fizika deb ataladi. Termodinamik sistemalarning holatlari termodinamik parametrlar sistema

holatini tavsiflovchi hamma fizik kattaliklar qiymatlari bilan aniqlanadi. Agar termodinamik parametrlardan biri boshqa qiymatga ega bo'lsa, bunda sistemaning xolati har xil bo'ladi. Agar holat vaqt bo'yicha o'zgarmasa statsionar holat deyiladi. Statsionar holatdagi sistemani muvozonat holatdagi sistema deyiladi. Asosiy termodinamik parametrlar bosim, harorat va hajmdir. Termodinamikada sistema holatlari kattaliklarini ichki va tashqiga ajratiladi. Sistemaga ta'sir etayotgan tashqi jismlar koordinatasiga bog'liq bo'lgan parametrlar tashqi deyiladi. Masalan, gazni hajmi tashqi jism-idish devorlariga bog'liq bo'lgani uchun tashqi kattalik hisoblanadi. Jism tashkil topgan zarrachalar tezliklariga bog'liq bo'lgan kattaliklar ichki kattaliklar deyiladi. Masalan, bosim va sistema energiyasi. Statistik fizika muvozonat holatdagi sistemalarni ko'rib chiqadi. Statistik fizikaning asosiy vazifasi sistemalarni atom tuzilishi nuqtai nazaridan xossalari o'rganishdan iborat. Statistik fizikada kvant mexanikasida o'rganiladigan alohida atom, molekula elementar zarrachalar xossalari va qonunlari asos qilib olinadi.

Ko'p sonli zarrachalardan tashkil topgan sistemalar holatini statistik qonuniyatlar bilan aniqlanadi. Buning uchun fizik kattaliklarni o'rtacha qiymati olinadi. Aloxida zarralar harakatini tavsiflaydigan qonuniyat (dinamik qonuniyatlar) lar bilan statistik qonuniyatlar orasidagi bog'lanish shundan iboratki, statistik fizika o'rganadigan makroskopik sistemalar xossalari alohida zarralar harakat qonunlariga bog'liq.

### **Sistemalar holatini ehtimolligi**

Turli sistemalar holati  $u$  yoki bu ehtimollik bilan aniqlanadi.  $w_i$  holatni  $i$  ehtimolligi, bu holat bo'lishi mumkin bo'lgan  $t_1$  vaqtni, sistemani kuzatish to'la vaqtga nisbatini chegarasiga aytiladi.

$$w_i = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{t_i}{T}$$

Agar biror  $M$  fizik kattalik holat funksiyasi bo'lsa va  $M_i$  qiymatlarni olsa,  $u$  vaqtda sistema  $i$  holatda deyiladi. Sistema  $i$  holati ehtimolligi,  $M$  fizik kattalik  $M_i$  qiymat olish ehtimolligi bilan ustma-ust tushadi. Agar  $M$  kattalikni to'la o'lchashlar soni  $N$  bo'lsa,  $M$  kattalikni  $M_i$  qiymat olgandagi o'lchashlar soni  $N_i$  ga teng bo'lsa,

undaw<sub>i</sub> =  $\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N_i}{N}$ . Sistema holatini uzluksiz o'zgarishida, kattaliklar oralig'ini hisobga olinadi.  $M$  kattalikni  $M$  dan  $M = dM$  oraliqda olishi mumkin bo'lgan qiymatlari ehtimolligi

$$dw(M) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{dt_m}{T}$$

Bu yerda  $dt_m$  - sistemani  $M$  dan  $M = dM$  oraliqda ub holatlarda bo'lishi vaqti.  $dM$  intervalda  $dt_m$  va  $dw_M$  kattaliklar quyidagi kattaliklarga proporsional bo'ladi.

$$dw(M) = \delta(M)dM$$

bu yerda  $\sigma(M)$  - ehtimolliklar zichligi yoki ehtimolliklar taqsimot funksiyasi deyiladi. Holatlar ehtimolligini meyorlash sharti: Diskret holatlarda  $\sum_i w_i = 1$  Holatlarning uzluksiz o'zgarishida  $\int dw(M) = \int \delta(M)dM = 1$ .

$M$  - kattalikni statistik o'rtacha qiymati  $\bar{M} = \sum_i w_i M$  Agar  $M$  kattalik uzluksiz o'zgarsa  $\bar{M} = \int Mdw(M) = \int M\delta(M)dM = 1$ .

Bu yerda integrallash sistema holati hamma holatlari bo'yicha olinadi. Masalan, bir atomli gaz molekulasi o'rtacha kinetik energiyasi:

$$\bar{E}_k = \int E_k f(E_k) dE_k = \frac{2}{\sqrt{\pi}(KT)^{3/2}} \int_0^{\infty} E_k \ell^{-\frac{E_k}{KT}} \sqrt{E_k} dE_k = \frac{3}{2} kT$$

### Gibbs taqsimoti

Atrofdagi jismlar bilan ta'sirlashmaydigan va o'zgarmas energiyaga ega bulgan yopiq makroskopik sistemalar turli holatlarining taqsimoti Gibbsning mikrokanonik taqsimoti deb ataladi. Bunday sistema uyg'otilgan bo'ladi: energiyaning har bir qiymatiga holatlarning turli qiymatlari to'g'ri keladi. Berilgan holatning  $\delta(E)$  uyg'otish darajasi ye energiyaga ega bulgan xolatlar soni deb ataladi. Mikrokanonik taksimot bir xil energiyaga ega bo'lgan turli holatlarning teng ehtimoliyatiga asoslangan. Ma'lum energiya bilan istalgan holatda uzoq vaqt bo'ladigan makraskopik sistemalarni ergodik sistemalar deyiladi. Bunday sistemalarda makroskopik sistema biror vaqt ichida ye energiyaga ega bo'lgan

holatda bo'lsa, vaqt o'tishi bilan shunday energiyali har qanday holatiga o'z-o'zidan o'tadi va ulardan har birida bir hil uzoq bo'la oladi.

Sistemaning  $w(E_i)$  holati ehtimolligi Gibbsning mikrokanonik taqsimotida ifodalanadi:

$$w(E_i) = C \delta E_i$$

Proportsionallik koeffitsienti S me'yorlash shartidan aniqlanadi:

$$\sum_i w(E_i) = 1$$

Makroskopik sistemalarning biror qismi bo'lgan kvaziyopik sistemalarning turli holatlarini taqsimot ehtimolligi Gibbsning kanonik taqsimoti deyiladi. Yopiq sistemaning boshqa qismlaridan o'rtacha xususiy energiyasi katta bo'lgan qismi kvazi yopiq sistema deyiladi. Masalan, ideal gazning har bir molekulasini juda past haroratlarda kvazi yopiq sistemalarni hosil qiladi. Uning xususiy kinetik energiyasi o'zaro ta'sir energiyasidan katta bo'ladi. Sistemalar holati ehtimolligi faqat energiyaga bog'liq. Gibbsning kvant kanonik taqsimotiga asosan:

$$w(E_i) = \frac{\ell^{-\frac{E_i}{Q}} \delta(E_i)}{\sum_i \ell^{-\frac{E_i}{Q}} \delta(E_i)} = \frac{\ell^{-\frac{E_i}{Q}} \delta(E_i)}{Z}$$

Bu yerda  $w(E_i)$  - kvaziyopik sistemani  $y_{E_i}$  energiyali holatda bo'lish ehtimolligi,  $b(E_i)$  - uyg'onish darajasi,  $\beta = 1/(kT)$  - kanonik taqsimot moduli yoki statistik harorat

$$Z = \sum_i \ell^{-\frac{E_i}{Q}} \delta(E_i)$$

bo'lib, u energetik o'lchovlarda ifodalanadi.  $\beta = 1/(kT)$  - statistik yig'indi

### Maksvell-Boltzmann taqsimoti

Maksvell-Boltzmann taqsimoti yoki qonuni gaz molekulasini maydon potentsiali bo'lmagan koordinata va tezliklar bo'yicha taqsimlanishini ifodalaydi. Bu taqsimotning ko'proq ishlatiladigan formulasi:

$$dn_{\vartheta} = \frac{4n_0}{\sqrt{\pi}\vartheta_e^3} e^{-\frac{1}{\vartheta_e^2}(\vartheta^2 + \frac{2E_{\pi}}{m})} \vartheta^2 d\vartheta$$

Bu yerda  $\vartheta_e$  - molekulaning eng katta ehtimollik tezligi,  $dn_u$  - hajm birligi ichidagi molekulalar soni,  $E_n$  - molekula potentsial energiyasi  $n_0 - E_n = 0$  nuqtadagi hajm birligi ichidagi molekulalar soni

$$dw = const \frac{1}{(2\pi mKT)^{3/2}} e^{-\frac{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2}{2mKT}} dP_x P_y P_z * e^{-\frac{E_n(x,y,z)}{KT}} d_x d_y d_z$$

Bu yerda  $dw$  - molekulalarning fazoviy hajmda koordinata va impulsning bo'lish ehtimolligi. Masalan, Gravatatsion maydondagi Boltsman taqsimotini ko'raylik.

$$dn(x, y, z) = const e^{-\frac{mgh}{KT}} dx dy dz$$

Tortishish maydoni  $m$  massali molekulalarning potentsial energiyasi:  $E_n = mgh$ , bu yerda  $h$  - balandlik va  $g$  - erkin tushish tezlanishi. Har bir balandlikda harorat bilan aniqlanadigan molekulalarning tezliklar bo'yicha Maksvell taqsimoti mavjud. Maksvell taqsimotini impulslar bo'yicha integrallasak  $dx \cdot dy \cdot dz$  hajmdagi molekulalar sonini beradi:

Gaz zichligi  $\sigma = \frac{dn(x,y,z)}{d_x d_y d_z} m$  balandliklar bo'yicha eksponentsial qonun asosida

kamayadi.  $\sigma = const e^{-\frac{mgh}{KT}}$ . Bu ifodadagi o'zgarmas (const)  $h = 0$  bo'lganda,

shartidan aniqlanadi. Shunday qilib  $\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{mgh}{KT}}$  (barometrik formula). Gaz zichligi

$h = \frac{KT}{mg}$  balandlikda  $h$  - marta kamayadi. Bu  $h$  ni gravitatsion maydonda Boltsman

taqsimoti uzunligining tavsifi deyiladi

Nazorat savollari.

1. Akustika nimani o'rganadi?
2. Tovush deganda nimani tushunasiz?
3. Tovush manbalari necha xil bo'ladi?
4. Tovushning qanday ob'yektiv va sub'yektiv xarakteristikallari bo'ladi?
5. Ultratovush va infratovush qanday xususiyatlarga ega?
7. Yopishqoqlik kuchi qanday sodir bo'ladi?
8. Yopishqoqlik koeffitsientiga ta'rif bering.
9. Nyuton formulasini tushuntirib bering.

## **7-Mavzu. Molekulyar kinetik nazariyaning asosiy qonunlari va tenglamalari. Reja**

1. Molekulyar kinetik nazariyaning asosiy qoidalari.
2. Molekulyar kinetik nazariyaning asosiy tenglamalari.
3. Gaz molekulalarining issiqlik harakati tezligi va energiyasi bo'yicha Maksvell taqsimoti.
4. Barometrik formula. Boltsman taqsimoti
5. Gaz molekulalarining o'rtacha to'qnashish soni va o'rtacha erkin yugirish yo'li.
6. Ideal gaz ichki energiyasi. Ideal gaz qonunlari. Izojarayonlar. Ideal gaz holat tenglamasi.
7. Termodinamik ish. Issiqlik miqdori. Termodinamika qonunlari.

*Tayanch iboralar: Maksvell taqsimoti, Barometrik formula, Boltsman taqsimoti, Termodinamik sistema, Molekulyar-kinetik nazariya, Diffuziya, Braun harakati Ideal gaz, Molekularning o'rtacha kvadratik tezligi.*

Makroskopik sistemalar xossalarini molekulyar-kinetik tasavvurlar asosida va matematik statistik usullar bilan o'rganuvchi nazariy fizika bo'limi statistik fizika deb ataladi. Termodinamik sistemalarning holatlari termodinamik parametrlar sistema holatini tavsiflovchi hamma fizik kattaliklar qiymatlari bilan aniqlanadi. Agar termodinamik parametrlardan biri boshqa qiymatga ega bo'lsa, bunda sistemaning holati har xil bo'ladi. Agar holat vaqt bo'yicha o'zgarmasa statsionar holat deyiladi. Statsionar holatdagi sistemani muvozonat holatdagi sistema deyiladi. Asosiy termodinamik parametrlar bosim, harorat va hajmdir. Termodinamikada sistema holatlari kattaliklarini ichki va tashqiga ajratiladi. Sistemaga ta'sir etayotgan tashqi jismlar koordinatasiga bog'liq bo'lgan parametrlar tashqi deyiladi. Masalan, gazni hajmi tashqi jism-idish devorlariga bog'liq bo'lgani uchun tashqi kattalik hisoblanadi. Jism tashkil topgan zarrachalar tezliklariga bog'liq bo'lgan kattaliklar ichki kattaliklar deyiladi. Masalan, bosim va sistema energiyasi. Statistik fizika muvozonat holatdagi sistemalarni ko'rib chiqadi. Statistik fizikaning asosiy vazifasi sistemalarni atom tuzilishi nuqtai nazaridan xossalarini o'rganishdan iborat. Statistik



fizikada kvant mexanikasida o'rganiladigan alohida atom, molekula elementar zarrachalar xossalari va qonunlari asos qilib olinadi.

Ko'p sonli zarrachalardan tashkil topgan sistemalar holatini statistik qonuniyatlar bilan aniqlanadi. Buning uchun fizik kattaliklarni o'rtacha qiymati olinadi. Alohida zarralar harakatini tavsiflaydigan qonuniyat (dinamik qonuniyatlar) lar bilan statistik qonuniyatlar orasidagi bog'lanish shundan iboratki, statistik fizika o'rganadigan makroskopik sistemalar xossalari alohida zarralar harakat qonunlariga bog'liq.

Molekulyar-kinetik nazariya modda holatining eng sodda holi bo'lgan gaz holatini talqin qilishda katta yutuqlarga erishdi. Bu nazariya soddalashtiruvchi bir qator farazlar kiritilgan sharoitdagi o'zining eng elementar ko'rinishida ham gaz holatining asosiy xossalarini va gazlarda bo'ladigan hodisalarni sifat jihatidan emas, balki miqdor jihatidan ham izohlab bera oladi.

Biz yechmoqchi bo'lgan birinchi masala gazning idish devorlariga beradigan bosimining kattaligini hisoblash masalasidir. Bu masalaning yechilishi absolyut temperaturaning fizik tabiatini yechib beradi. Masalani yechish uchun gazlarning eng sodda molekulyar-kinetik modelidan foydalanamiz. U quyidagichadir:

1. Gaz molekullari olisdan bir-biriga ta'sir ko'rsatmaydi, va ular tartibsiz xaotik harakatda bo'ladi;
2. Gaz molekulasining o'lchami juda kichik, shuning uchun gaz molekullarining xususiy hajmi idishda egallangan hajmidan juda kichik va ular shar shaklida. Molekulalarning o'lchamlari:

Moddalar uzluksiz harakatda bo'lgan atom va molekullardan tuzilgan degan fikri asoslangan modda tuzilishi haqidagi nazariyaga **molekulalar-kinetik nazariya** deyiladi. (MKN)

MKN uchta asosiy qoidaga asoslangan:

1. Modda zarralaridan tuzilgan:
2. Bu zarralar tartibsiz harakat qiladi:
3. Zarralar o'zaro ta'sirlashadi:

MKN asoslarini XVIII asarda M.V. Lamanosov aniq bayon qilib berdi va tajribada tasdiqladi.

Molekulalar-kinetik nazariya (MKN) to'g'riligini Broun harakati, diffuziya va boshqa hodisalar to'la tasdiqlaydi. Broun harakati deb, suyuqlik yoki gazda muallaq holatdagi qattiq va erimaydigan zarrachalarning uzluksiz xaotik harakatiga aytiladi.

Diffuziya deb, bir biri bilan chegaralash ikki modda molekulalarining xaotik harakati natijasida o'zaro aralashib ketish hodisasiga aytiladi.

Gazlarda diffuziya hodisasini tajribada birinchi bo'lib avstryalik fizik Loshmidat kuzatgan. Diffuziya xodisasi tabiatda va texnikada katta rol o'ynaydi. Texnikala diffuziya har xil moddalarni masalan, lavlagidan qandni, ximiya sanoatida xilma-xil moddalarni, tabiiy uran rudasidan yadro yoqilg'isi " ${}^{235}_{92}U$  iz topishni ajratib olishda va shu kabilardan foydalanadi".

MKN uchta qonunning asoslarida.

Bu Broun harakati qonunlaridir, ya'ni:

1. Broun harakati tashqi sabablarga bog'liq bo'lmasdan, to'xtovsiz sodir bo'lib turadi.

2. Braun harakatining intensivligi zarralarining o'lchamiga va shakliga bog'liq bo'lib, zarra materialiga bog'liq emas, Broun harakati zarralarning o'lchami  $1mm$  ( $10^{-3}m$ ) bo'lganda kuzatiladi.

3. Suyuqlik temperaturasi ko'tarishi bilan Broun harakatini intensivligi ortadi.

Molekulalar (atomlar) massasi va moddasi miqdori quyidagi tartibda aniqlashi mumkin. Atom va molekulalarning nisbiy masalasi  $m_0$ —berilgan molekula (yoki atom) massasi.

$$M_n = \frac{m_0}{\frac{1}{12}m_{oc}}$$

$\frac{1}{12}m_{oc}$  - uglerod molekulasi (yoki atom) massasini qismi.

Bunda:  $m_0 = \frac{1}{12}M_n m_{oc}$  bunda  $m_0$  - hisoblanayotgan molekulaning massasi.

Masalan: Kaliy ( ${}_{19}^{33}K$ ) ning atom massasi 33 ga teng: Geliy: ( ${}_{2}^4He$ ) atomining massasi 4 ga teng.

Modda miqdori ( $v$ ) deb, jismdagi atomlar soni  $N$  ning 0,012 kg masalasi uglerodda mavjud bo‘lgan atomlar soni  $N_a$  ga nisbatiga aytiladi:  $v = \frac{N}{N_a}$ , (1 mol) 0,012 kg uglerodda atomlar soniga teng bo‘lgan molekular soni. Molyar massa ( $\mu$ ) bilan belgilanadi va  $\mu = \frac{m}{v}$  dan hisoblanadi.

Molyar massa deb, 1 mol modda miqdoriga mos kelgan massaga miqdor jihatdan teng bo‘lgan fizik kattalikka aytiladi: ya’ni  $\mu v = m_0 N$  uchun  $\mu = m_0 N_a$  bo‘ladi. Mol ta’rifiga binoan, har qanday moddaning bir mol miqdoridagi molekula yoki atomlar soni bir xil bo‘ladi.

Bu songa Avogadro soni deb, ataladi, ya’ni.

$$N_a = \frac{\mu_c}{m_{oc}} = \frac{\mu_c}{m_o}, \quad N_a = \frac{\mu_c}{m_{oc}} = \frac{0,012 \text{ kg/mol}}{m_{oc}} \quad \text{ni}$$

E’tiborga olsak.

$$m = m_0 N_a = \frac{1}{12} M_n \cdot m_{oc} \cdot \frac{0,012 \text{ kg/mol}}{m_{oc}} = M_n \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$$

$$N_a = \frac{\mu_c}{m_{oc}} = 6,023 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}$$

Moddalardagi molekular soni:

$$N = v N_a = \frac{m}{M} N_a$$

Avogadro qonuni quyidagicha ta’riflanadi: «Bir xil temperatura va bir xil bosimdagi istalgan gazlarning teng hajmlaridagi molekular soni bir xil bo‘ladi».

Normal sharoitda, ya’ni  $t = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ , atm 1 atom 1 mol gazning hajmi, ya’ni molyar

hajmi:  $V_M = 22,4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{mol}} = 22,4 \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}$  bo‘ladi. Shuningdek, molekular

konsentratsiya:

$$n = \frac{N_a}{V_m} = \frac{6,023 \cdot 10^{23}}{22,4 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{\frac{1}{\text{mol}}}{\frac{\text{m}^3}{\text{mol}}} = 2,69 \cdot 10^{25} \frac{1}{\text{m}^3} \text{ bo‘ldi.}$$

Bunda Lashmid soni deyiladi.

Zaytun moyi molekularlarning o‘lchami quyidagiga teng.

$$V = 1 \text{ mm}^3, \quad S = 0,6 \text{ m}^3$$

$$d = \frac{V}{S} = \frac{0,001 \text{ cm}^3}{6000 \text{ cm}^3} \approx 1,7 \cdot 10^{-7} \text{ cm}$$

Demak, atomning o'lchami:  $D = 10^{-8} \text{ cm} = 10^{-10} \text{ m}$ , Suv molekulasining massasi:  $m_0(\text{H}_2\text{O}) = \frac{1 \text{ g}}{3,7 \cdot 10^{22}} \approx 2,7 \cdot 10^{-23} \text{ g}$  bo'ladi

Molekulalarning o'lchamlari va massasi. Molekulalarning chiziqli kattaligi  $10^{-8} - 10^{-10} \text{ m}$  bo'ladi. Alohida molekulalarning massalari juda kichik bo'lib, maxsus asbob-massa – spektrometrlar yordamida aniqlanadi. Masalan. suv molekulasining massasi  $3 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$  atrofida. Xalqaro kelishuvlarga asosan etalon, ya'ni birlik atom massasi  $m_0$  sifatida uglerod  $^{12}\text{C}$  izotopi massasining 1/12 qismi qabul qilingan

$$m_0 = \frac{1}{12} m_{oc} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Modda miqdori

Modda miqdori - moddagi molekulalar sonining 0,012 uglerodda qancha molekulalar bo'lsa, shuncha molekulalari bo'lgan modda miqdoridir. Uning SI dagi birligi  $\nu = 1 \text{ mol}$ .  $1 \text{ mol}$  - 0,012 kg uglerodda qancha molekulalar bo'lsa, shuncha molekulalari bo'lgan modda miqdoridir.

Avagadro soni va Avagadro qonuni.

Istalgan moddaning 1 molida bir xil sondagi molekulalar mavjuddir. Bu son Avagadro doimiysi deyiladi. 0,012 kg uglerodda  $N_A$  ta molekula bor:

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

ya'ni istalgan moddaning bir molida  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  ta molekula mavjud. Bir xil temperatura va bir xil bosimda istalgan gazning bir moli bir xil hajmi egallaydi. Normal sharoitda bu hajm

$$N_0 = 22,41 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol} \text{ ga teng}$$

Normal sharoit.

Normal sharoit: bosim normal atmosfera bosimi  $p = 101325 \text{ Pa} = 760 \text{ mm.sim.ust.}$  va temperatura  $T = 273,15 \text{ K}$  yoki  $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$  bo'lgan sharoit. M

Molekulyar massa. Molekulyar massa bir mol moddaning massasi kabi aniqlanib, molekula massasining Avagadro soniga ko'paytmasi kabi aniqlanadi.

$$M = m_{mol} \cdot N_A$$

### **Ideal gaz molekulyar – kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi**

$$P = \frac{1}{3} n m_0 \langle v_{kv} \rangle^2 = \frac{2}{3} n \langle \varepsilon_0 \rangle$$

bunda  $m_0$  – bir dona molekulaning massasi

$\langle v_{kv} \rangle$  - o'rtacha molekulalarning kvadratik tezligi.

$\langle \varepsilon_0 \rangle$  - molekula ilgarilanma harakatining o'rtacha kinetik energiyasi.

$$E = N \langle \varepsilon_0 \rangle = N \cdot m_0 \langle v_{kv} \rangle^2 / 2 = N \cdot 3/2KT = \frac{3}{2} RT$$

$$E = \frac{3}{2} RT$$

Gaz molekulalarining tartibsiz harakati tufayli uning zarralari idishning butun hajmi bo'ylab tekis taqsimlanadi. Va har bir hajm birligida o'rtacha bir xil sondagi zarralar bo'ladi. Shuningdek tashqi kuchlar ta'sir etmaganda muvozanat holatda gazning bosimi va temperaturasi butun hajm bo'yicha birday bo'ladi. Agar tashqi kuchlar ta'sir esa, idishdagi gaz molekulalarining tabiatini o'zgarishiga olib keladi. Masalan, og'irlik kuchi ta'sirida bo'lgan gaz (havo)ni ko'rib o'taylik.

Agar molekulalarning issiqlik harakati bo'lmaganda edi, ularning hammasi og'irlik kuchi ta'sirida yerga «qulab» tushar va butun havo yer sirti yaqinida yuqqa qatlam hosil qilib to'plangan bo'lar edi. Agar og'irlik kuchi mavjud bo'lmay, molekulyar harakat mavjud bo'lganda edi, molekulalar butun olam fazosi bo'ylab tarqalib ketgan bo'lar edi.

Atmosfera ( yerning havo qobig'i o'zining hozirgi tarzida ayni bir vaqtda molekulalarning issiqlik harakati va yerga tortishish kuchi borligi tufayli mavjuddir. Molekulalarning balanlik bo'yicha taqsimlanishida, gaz bosimini balandlikka bog'liq holda o'zgarish qonuni amal qiladi. Bu qonunni mohiyatini qaraylik. 1-rasmda havoni yer sirtidagi  $h=0$  bo'lgandagi bosimini  $P_0$  ga,  $h$  balandlikda esa  $R$  ga teng deylik. Balanlik  $dh$  ga ortganda bosim  $dp$  ga o'zgaradi.

Ma'lumki, biror balandlikka havoning bosimi yuzi bir birlikka teng bo'lgan shunday balandlikdagi vertikal havo ustuni og'irligiga teng. Shuning uchun dp yuzi bir birlikka teng bo'lgan havo ustunining h va h+dh balandliklardagi og'irliklari farqiga teng, ya'ni asos yuzi bir birlikka teng bo'lgan dh balandlikdagi havo ustuni og'irligiga teng:

$$dp = -\rho g dh$$

bu yerda  $\rho$  – havoning zichligi va  $g$  – og'irlik kuchining tezlanishi. Gazning (zichligi, molekula massasi  $m$  ni ularning hajm birligidagi soni  $n$  ga ko'paytirilganiga teng:

$$\rho = m n$$

Gazlar kinetik nazariyasidan ma'lumki, molekular soni  $n = P / kT$  ga teng. Shunga asosan  $n$  ni o'rniga qo'ysak,

$$\rho = \frac{mp}{kT} \text{ va } dp = -\frac{mg}{kT} p dh \quad (7.1)$$

ga teng bo'ladi. Bu tenglamani quyidagi ko'rinishda ifodalash mumkin:

$$dp = -\frac{mg}{kT} dh \quad (7.2)$$

Agar temperatura hamma balandlikda birday deb hisoblasak, u holda (7.2) munosabatni integrallab, quyidagi tenglikni olamiz:

$$\ln p = -\frac{mg}{kT} h + \ln c \quad (7.3)$$

bu yerda  $C$ -integrallash doimiysi. Bundan

$$P = c e^{-\frac{mg \cdot h}{kT}} \quad (7.4)$$

$C$  doimiy  $h=0$  bo'lganda  $P=P_0$  ekanlik shartidan aniqlanadi. (7.4) formulaga  $h$  va  $P$  ning bu qiymatlarini quyib yozsak:

$$C = P_0$$

Demak biz qaraydigan havo bosimining yer sirtidan balandlikka bog'liqligi quyidagi ko'rinishda bo'ladi.

$$P = P_0 e^{-\frac{mg \cdot h}{kT}} \quad (7.5)$$

$$\frac{k}{m} = \frac{R}{\mu}, \quad k\mu = mR \quad m = \frac{k\mu}{R}$$

yoki  $m = \frac{\mu}{N_0}$  ekanligini nazarga olsak (bu yerda  $\mu$ -molekulyar massa, ya'ni mol massasi,  $N_0$ -Avagadro soni) quyidagi munosabatni hosil qilamiz:

$$P = P_0 e^{-\frac{\mu g \cdot h}{R\tau}} \quad (7.6)$$

Bosimning balandlik ortishi bilan kamayib borishini ko'rsatuvchi (7.6) tenglama Barometrik formula deyiladi. Tog' cho'qqilari, samolyotning uchish balandligini o'lchashga mo'ljallangan asboblar shkalalari bevosita metrlarda darajalangan maxsus barometrdan iborat bo'ladi. Ammo biz bu tenglamani keltirib chiqarishda balandlikni barcha sohalarida temperatura o'zgarmaydi deb hisobladik, shuning uchun formulaga temperatura tuzatmasini kiritish lozim bo'ladi.

### **Bolsman taqsimoti (qonuni)**

Bizga ma'lumki, gazlarning bosimi hajm birligidagi molekular soniga proporsional ya'ni  $P = nk\tau$  bo'lgani uchun (7.6) formula balandlik ortishi bilan molekula zichligining kamayishi qonunini ham ifodalaydi:

$$n = n_0 e^{-\frac{m g \cdot h}{k\tau}} \quad (7.7)$$

bu erda  $n$  va  $n_0$ -oralaridagi balandlik farqi  $h$ -ar teng bo'lgan nuqtalardagi hajm birligidagi molekular soni. (7.7) Formuladagi  $mgh$  kattalik molekulaning  $h$ -balandlikdagi potensial energiyasini bildiradi. Shuning uchun (7.7) formula bizga energiyasi  $U = mgh$  bo'lgan zarralar soni  $n$  ni beradi deyish mumkin, bunda energiyasi nolga teng bo'lgan zarralar soni  $n_0$  ga teng bo'lishi kerak. Agar gaz qandaydir kuch maydonida bo'lib, shu tufayli uning zarralari biror potensial energiyaga ega bo'lsa, u holda berilgan  $U$  energiyali zarralar soni quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$n = n_0 e^{-\frac{U}{k\tau}} \quad (7.8)$$

va bu formulaga Bolsman (qonuni) formulasi deb ataladi. Bu formula issiqlik muvozanati sharoitida U energiyaga bo'lgan zarralar taqsimotini aniqlash imkonini beradi:

$$\frac{n}{n_0} = e^{-\frac{U}{kT}} \quad (7.9)$$

Bu formula yordamida berilgan U energiyali zarralar taqsimoti  $\frac{n}{n_0}$  ning shu energiya kattaligidan tashqari, faqat temperaturaga bog'liq bo'lishini ko'rsatadi va zarralarning energiya bo'yicha qanday taqsimlanishiga bog'liq bo'lgan kattalik sifatida ifodalashiga imkon beradi.

Gazlar kinetik nazariyasiga ko'ra gaz molekullari to'xtovsiz issiqlik xaotik harakatida o'zaro to'qnashib turadi. Ko'pgina to'qnashuvlardan keyin muvozanat yuzaga keladi. Ammo makroskopik muvozanat holatda ham mikroskopik jarayonlar, ya'ni ularning to'qnashuvlari davom etaveradi. Bu to'qnashuvlar tufayli molekullarning tezliklari o'zgarib turadi. Lekin ular tezliklarining o'zgarishi ma'lum bir tezlik intervalida ro'y beradi va umumiy qonuniyat asosida bo'ladi.

Gaz molekullari harakat tezliklarining bu qonuniyatlari ingliz olimi D. Maksvell tomonidan (1860- yilda) ochilganligi tufayli uning nomi bilan Maksvell taqsimoti deb yuritiladi. Maksvell taqsimotini qaraymiz.

Ma'lum V hajmdagi idishda N ta gaz molekullari bo'lsa, hajm birligidagi molekullar soni  $n = \frac{N}{V}$  ga teng bo'ladi. Anna shu n – sonidan dn tasi  $\vartheta, \vartheta + d\vartheta$  tezliklar intervalida xarakterlansa,  $f(\vartheta) = \frac{dn}{nd\vartheta}$  funksiyaga tezliklari  $\vartheta, \vartheta + d\vartheta$  intervalida yotuvchi gaz molekullarining tezliklari bo'yicha taqsimlanish funksiyasi deyiladi.

Bu ta'rifdan ko'rinadiki, taqsimot funksiyasi  $f(\vartheta)$  hajm birligidagi n ta molekullarning qancha qismi  $(dn)\vartheta, \vartheta + d\vartheta$  tezlik intervalida xarakterlanish ehtimolligi bilan aniqlanadi. Bu funksiyaning normallashtirish sharti quyidagicha ifodalanadi.



$$\int_{-\infty}^{\infty} f(v_x) dv_x = c \int_{-\infty}^{\infty} \ell^{\frac{av_x^2}{2}} dv_x = 1 \quad (7.10)$$

ya'ni butun tezliklar intervalida xarakterlanayotgan molekularning yig'indisi hajm birligidagi molekular sonini beradi.

(7.10) formula x, y, z koordinatalar sistemasida qaraydigan bo'lsak, taqsimot funksiyasi:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(v_x) dv_x = c \int_{-\infty}^{\infty} \ell^{\frac{av_x^2}{2}} dv_x = 1 \quad (7.11)$$

ga teng bo'lishini hosil qilamiz.

Bunda,  $\int_{-\infty}^{\infty} \ell^{\frac{av_x^2}{2}} dv_x$  integralni qiymatini jadval integral sifatida hisoblash mumkin.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \ell^{\frac{av_x^2}{2}} dv_x = \sqrt{\frac{2\pi}{a}} \quad (7.12)$$

U holda C doimiy  $c = \sqrt{\frac{a}{2\pi}}$  ga teng bo'ladi. Taqsimot funksiyasini x, y, z o'qiga nisbatan proyeksiyalar uchun quyidagi ifodani olamiz.

$$f(v_x) = \sqrt{\frac{a}{2\pi}} \ell^{\frac{av_x^2}{2}}$$

$$f(v_y) = \sqrt{\frac{a}{2\pi}} \ell^{\frac{av_y^2}{2}} \quad (7.13)$$

$$f(v_z) = \sqrt{\frac{a}{2\pi}} \ell^{\frac{av_z^2}{2}}$$

bu formulaga o'zgartirishlar kiritishi bilan

$$\frac{dn}{n} = \left(\frac{a}{\pi}\right)^{3/2} \ell^{a/2(v_x^2+v_y^2+v_z^2)} dv_x dv_y dv_z \quad (7.14)$$

yoki

$$\frac{dn}{n} = \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} \ell^{\frac{m}{2kt}(v_x^2+v_y^2+v_z^2)} dv_x dv_y dv_z \quad (7.15)$$

hosil bo'ladi.

Agar gaz molekulari sferik qatlamga to'planadi desak va ma'lum vaqtdan keyin tarqaladi desak:

$4\pi r^2 dr = 4\pi(v_i)^2 d(v_i)$  hosil bo'ladi. Bu yerda gaz molekularini sferik qatlamda to'planganligini e'tiborga olib, sferik qatlamni hajmi  $4\pi v^2 dv$  ga teng deb  $dv_x dv_y dv_z = 4\pi v^2 dv$ . Hajmdagi gaz molekulari uchun (8.6) formulani quyidagicha yozish mumkin.

$$\frac{dn}{n} = \left(\frac{m}{2\pi kt}\right)^{3/2} \ell^{\frac{mv^2}{2kt}} 4\pi v^2 dv = 4\sqrt{\pi} \left(\frac{m}{2kt}\right)^{3/2} \ell^{\frac{mv^2}{2kt}} v^2 dv \quad (7.16)$$

bu formulaga Maksvell taqsimoti deyiladi.

Maksvell taqsimoti funksiya ko'rinishida

$$f(v) = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kt}\right)^{3/2} \ell^{\frac{mv^2}{2kt}} v^2 \quad (7.17)$$

ifodalanadi.

Gazlar uchun Maksvell taqsimoti funksiyasining qiymatini keltirib chiqarganda, gaz solingan idishning hamma nuqtalarida temperatura bir xil, ya'ni gaz muvozanat holatda deb hisoblandi. Agar gaz tashqi biror potensial maydon ta'sirida bo'lsa, bu maydon ta'sirida gaz molekulari qo'shimcha potensial energiyaga ega bo'ladi va bunday gazning to'liq energiyasi kinetik va potensial energiyalar yig'indisidan iborat bo'ladi. Tashqi potensial maydon gaz molekularining tezliklar taqsimotiga ta'sir qilmasdan faqat gaz molekularining konsentratsion taqsimotiga ta'sir ko'rsatadi.

Gaz molekularining yer tortish kuchi maydoni ta'siridagi konsentratsion taqsimotini birinchi marta L. Bolsman aniqlaganligi uchun taqsimot uning nomi bilan Bolsman taqsimoti deb ataladi.

Agar borometrik formuladagi  $E_n = mgh$  er sirtidan  $h$  balandlikdagi  $m$  massali gaz molekularining yer tortish kuchi maydondagi potensial energiyasi ekanligini hisobga olsak

$$n = n_0 \ell^{E_n/kt} \quad (7.18)$$

kelib chiqadi. Bu formulaga Bolsman taqsimoti deb ataladi.

Bu formula faqatgina yer tortish kuchi maydonida o'rinli bo'lib qolmasdan, istalgan potensial maydondagi gaz konsentratsiyasining taqsimoti uchun o'rinlidir.

Gaz molekularining tezliklari bo'yicha taqsimoti Maksvell qonuniga, uning potensial maydondagi konsentratsion taqsimoti Bolsman qonuniga bo'ysinadi. Endi shu taqsimotlar orasidagi umumiy bog'lanishni ko'ramiz.

Nisbiy tezliklar orqali Maksvell taqsimoti

$$f(u) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \ell^{-u^2} u^2 \quad (7.19)$$

ko'rinishida ifodalanishini aytgan edik. Bu yerda ekanligini e'tiborga olsak,

$$dn = \frac{4}{\sqrt{\pi}} n \ell^{-u^2} u^2 du \quad (7.20)$$

bo'ladi.

Bu ifodaga Bolsman taqsimotidagi  $U$  ning qiymatini qo'ysak,

$$dn = \frac{4}{\sqrt{\pi}} n_0 \ell^{-(u^2 + \frac{E_n}{kt})} u^2 du \quad (7.21)$$

umumlashgan Maksvell-Bolsman taqsimoti hosil bo'ladi.

Shunday qilib, Maksvell taqsimoti muvozanat holatdagi, ya'ni doimiy temperaturadagi gaz molekularining tezliklar bo'yicha taqsimotini ifodalaydi va tashqi potensial maydonga bog'liq emas.

Bolsman taqsimoti esa doimiy temperaturadagi gaz molekularining tashqi potensial maydondagi konsentratsiyani taqsimotini ifodalab, gaz molekulari tezliklar taqsimotiga bog'liq emas. Maksvell taqsimotini tajribada nemis fizigi Otto Shtern 1920- yil tekshirdi. Keyinchalik 1947- yilda O. Shtefn, Isterman va Simpsonlar bilan birgalikda molekulyar dastalar usulidan foydalanib, Maksvell

taqsimotining bajarilishini molekullarning og'irlik kuchi maydonida erkin tushishida ham kuzatdi va Maksvell taqsimoti qonunini to'g'ri ekanligini isbotladi.

Bolsman taqsimotini: ya'ni molekullarning konsentratsion taqsimoti Bolsman qonuniyatiga bo'ysunishini tajribada J. Perren aniqladi. Buning uchun u bir-biriga aralashmaydigan ikki suyuqlikdan emulsiya tayyorlab, bir emulsiyada ikkinchisini muallaq turadigan mayda tomchilarini hosil qiladi.

Juda sezgir mikroskop yordamida emulsi tomchilari sonining balandlikka qarab o'zgarishini kuzatadi. Bundan muallaq zarralarning balandlik bo'yicha taqsimoti Bolsman qonuniga bo'ysunishini isbotladi. Shu asosda Bolsman doimiysini

$$K = \frac{mg \left( L - \frac{P}{P} \right) (h_1 - h_2)}{T \ln \frac{n_1}{n_2}} \quad (7.22)$$

aniqlashga ham Perron erishdi.

$K = 1,38062 \cdot 10^{-23} \frac{j}{K}$  ga teng ekan.

### Nazariy savollar

1. Molekulyar kinetik nazariyaning asosiy qoidalari qaysilar.
2. Molekulyar kinetik nazariyaning asosiy tenglamalarini keltirib chiqaring.
3. Gaz molekullarining issiqlik harakati tezligi va energiyasi bo'yicha Maksvell taqsimotini ko'rsating.
4. Barometrik formula. Boltsman taqsimoti
5. Gaz molekullarining o'rtacha to'qnashish soni va o'rtacha erkin yugirish yo'li ifodasi qanday bo'ladi.
6. Ideal gaz ichki energiyasi.
7. Ideal gaz qonunlari.
8. Izojarayonlar.
9. Ideal gaz holat tenglamasi.
10. Termodinamik ish.
11. Issiqlik miqdori.
12. Termodinamika qonunlari.

## 8-Mavzu. Real gazlar

### Reja:

1. Real gazlar.
2. Van-der-Vaals tenglamalari.
3. Real gazlar ichki energiyasi.
4. Joule-Tomson effekti.
5. Molekulalararo o'zaro ta'sir kuchlari. Gazlarni suyultirish

*Tayanch iboralar: Mendeleev-Klapeyron tenglamasi, ideal gaz, Lenard-Jons, real gazlar holat, fazaviy o'tishlar, bosim o'zgarishi, izoxorik jarayon.*

Mendeleev-Klapeyron tenglamasi bilan ifodalangan ideal gazlar real gazlar xossalari bilan farq qiladi. Chunki ideal gazlarda molekulalar orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari hisobga olinmaydi. Real gazlarni katta bosim ostida harorati qanday bo'lishidan qat'iy nazar siqish qiyinlashadi. Tajribalar shuni ko'rsatadiki, solishtirma issiqlik sig'imi, qovushoqlik kabi fizikaviy kattaliklar ham real gazlarda boshqacha bo'ladi. Molekulalar orasidagi o'zaro ta'sirni hisobga olmasa ham bo'ladi. O'zaro ta'sir kuchlari-itarishish va tortishish mavjudligidan molekulalarning potensial - energiyasi paydo bo'ladi. Bu potensial energiya Lenard-Jons formulasida ifodalanadi.

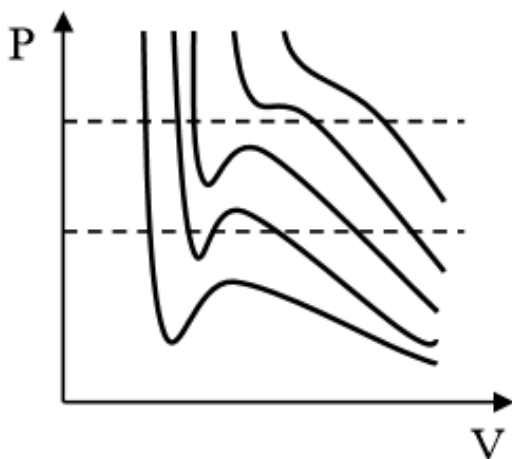
$W_p = -\frac{a_1}{r^6} + \frac{a_2}{r^{12}}$ , bu yerda  $a_1$  va  $a_2$  lar gazning kimyoviy tabiatiga bog'liq bulgan musbat koeffitsientdir. Real gaz molekulalari orasidagi o'zaro ta'sir kuchi:  $= -\frac{dW_U}{dr} = -\frac{a_1}{r^7} + \frac{a_2}{r^{13}}$ , bu tenglamani birinchi hadi Van-der-Vals kuchi deb ataluvchi tortishish kuchi bo'lib, ular uch xil bo'ladi: Orientatsiya, induksion va dispersion. Bu kuchlarning paydo bo'lishi elektr tabiatiga ega. Ikkinchi had o'zaro itarishish kuchi bo'lib, kvant mexanikasida tushuntiriladi. Yuqoridagilarni hisobga olib, golland fizigi Van-Der-Vals real gazlar holat tenglamasini yaratdi.

Har bir real gaz molekulasida  $V = \frac{1}{6}\pi d^3$  hajmga ega. Van-der-Vaals buni hisobga oldi.  $V^* = V - v$  bu yerda  $v = 4N_A V$  - Van-der-Valsning hajm qo'shimchasi  $v$  - molekulaning kimyoviy tabiatiga bog'liq. Real gazlar molekulalari

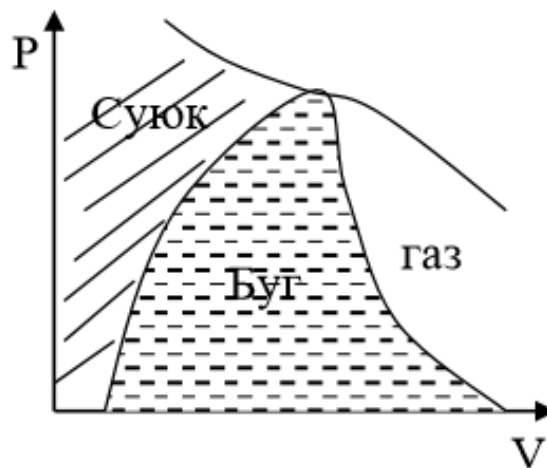
orasida o‘zaro ta’sir mavjudligidan, molekullarning idish devorlariga beradigan bosim ideal gazlarnikidan kichik bo‘ladi.

$$P_{id} = P + \frac{a}{V^2}$$

ga teng bo‘ladi.



8.1-rasm



8.2-rasm

$a$  – qo‘shimcha molekula kimyoviy tabiatiga bog‘liq bo‘lgan koeffitsient.

Shunday qilib 1 mol gaz uchun Van-der Vaals tenglamasi

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$$

$$\text{Istalgan } m \text{ - massali gaz uchun } \left(P + \frac{m^2 a}{\mu^2 V^2}\right)\left(V - \frac{m}{\mu} b\right) = \frac{m}{\mu} RT$$

Van-der-Vaals tenglamasi Hajmga nisbatan kub tenglama bo‘lib, bu tenglamani Van-der-Vaals izotermalari orqali ifodalanadi. (8.1-rasm).  $T_1$  - haroratda gaz holatida bo‘ladi.  $T_4$  - haroratda, AD izobara 4 izotermani uch nuqtada (AVS) kesib o‘tadi, ya’ni shu haroratda bosimning bitta qiymatiga hajmning uchta qiymati to‘g‘ri keladi. Bu moddani bir vaqtning o‘zida uch xil fazaviy holatda bo‘lishini ko‘rsatadi. Harorat ko‘tarilishi bilan izotermadagi bukilish kamayib boradi, 2 izotermada tekislanib, K nuqtaga keladi. K nuqtasi to‘g‘ri keladigan harorat kritik harorat deyiladi. (2-rasm)  $T > T_k$  da gaz suyuklikka aylanmaydi.  $T_{n2o} = 647K, T_{kne} = 5K, T_{kn2} = 33k$ , Kritik haroratda suyukliklarning sirt tarangligi nolga aylanib suyuqlik va to‘yingan bug‘ orasidagi farq yo‘qoladi.

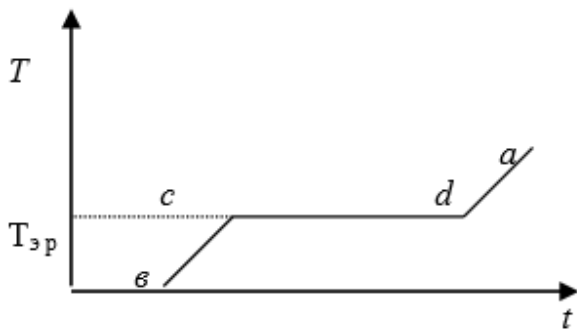
## Fazaviy o'tishlar

Ko'p real moddalar uch xil fazada (yoki agregat holatda): qattiq, suyuq va gaz holatda uchraydi. Bir agregat holatdan ikkinchi agregat holatga o'tish fazaviy o'tish deyiladi.

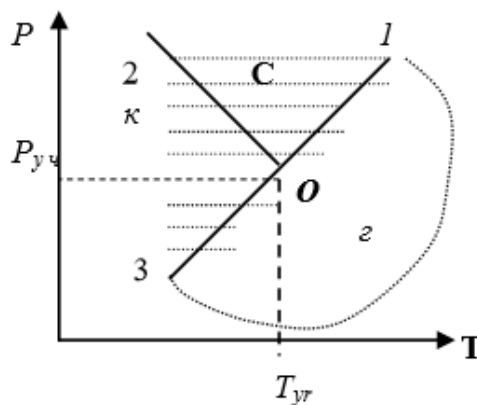
O'tishning ikki turi mavjud (bir holatdan ikkinchi holatga)

1. Modda holatini tavsiflovchi parametrlar (hajm, bosim, harorat va hokozolar) son qiymatlari o'zgaradi, ammo moddaning tarkibi, tuzilishi o'zgarmaydigan o'tishlar. Gazning qisilishi, kengayishi, isishi, qattik jismlarning tarkibi, tuzilishi va fizik xossalarning o'zgarishligi shunday o'tishlardir.

2. Modda agregat holatining, tarkibining, tuzilishining, fizik xossalarning o'zgarishi fazaviy o'tishlarga kiradi. Fazaviy o'tishga bug'lanish va kondensatsiya, erish va qotish, metallarning o'ta o'tkazuvchan bo'lib qolishi va h.k. lar kiradi. Ba'zi fazaviy o'tishlarda moddaning agregat holatlarining o'zgarishi yuzaga keladi. Masalan, qattiq jism suyuq va gaz holatiga o'tadi va aksincha. Bunda molekullarning o'zaro joylashuvi, ular orasidagi masofa, issiqlik harakati o'zgaradi. Biz muz-suv-bug' sistemasini olsak, bug' uch faza va uch agregat holatga to'g'ri keladi. Boshqa fazaviy o'tishlarda moddaning agregat holatlari saqlanadi, ammo tuzilishida o'zgarishlar yuzaga keladi. Natijada moddaning fizik xossalari o'zgaradi. Bunday o'tishlarga temir haroratini 7800 ga ko'targanda ferromagnitlik xossasining yo'qolishi, o'ta o'tkazuvchanlik hodisasi va h.k. kiradi. Faraz qilamiz, kristall jism qizdirilish haroratining ortishi bilan ma'lum  $v_s$  - qismda qattik holatda qoladi (8.3-rasm)  $s$  - nuqta kristalning erishi nuqtasiga to'g'ri keladi va har xil kristall jism uchun har xil qiymatga ega.



8.3-rasm



8.4-rasm

$cd$  - uchastkada kristallga berilgan issiqlik uning erishiga sarf bo‘ladi - kristall strukturasi buziladi.  $d$  nuqta esa erishning tugash nuqtasi,  $da$  - suyuqlikning qizish qismi bo‘ladi. Ba’zi qattik jismlar suyuqlikka aylanmasdan, bir yo‘la gaz holatiga o‘tib ketish hodisasi mavjud bo‘lib, bu jarayon sublimatsiya deyiladi. Masalan, yodni olsak, u harorat ta’sirida to‘g‘ridan – to‘g‘ri bug‘ga aylana boshlaydi. Gaz holatdan suyuqlikka, suyuqlikdan qattik jismga aylanish va aksincha kechayotgan fazoviy o‘tishlarni "bosim ( $R$ ) - harorat ( $T$ ) diagrammasida kuzatish mumkin (8.4-rasm). Bu rasmda to‘yingan bug‘ bosimining tashqi bosimga bog‘liqligini  $0 - 1$  egri chiziq ko‘rsatadi, bu egri chiziqning har bir nuqtasi gaz- suyuqlik chegarasida dinamik fazoviy muvozonatni ifodalaydi.  $0 - 2$  egri chiziq qattiq va suyuq faza orasidagi chegarani  $0 - 3$  esa qattiq va gaz fazalari orasidagi chegarani ko‘rsatadi.  $0$  - uchlanma nuqta uch fazani bir vaqtda mavjud bo‘lishini ko‘rsatadi. Har qaysi modda uchun o‘zining uchlanma nuqtasi bo‘ladi, ya’ni uning uchta fazasi muvozonatda bo‘ladigan nuqtasi mavjud. Diagrammadan ko‘rinib turibdiki, bosim o‘zgarishi bilan erishi, bug‘ga aylanishi va sublimatsiya temperaturalarini o‘zgaradi. Fazaviy o‘tish natijasida moddaning hajmi ham o‘zgaradi.

Fazaviy muvozanat sharoitida  $R, T$  orasidagi bog‘lanish Klapeyron - Klauziusning quyidagi differensial tenglamasi bilan yoziladi.

$$\frac{dP}{dT} = \frac{q}{T\Delta V} \quad (8.1)$$

Bunda  $\frac{dP}{dT}$  fazaviy muvozonat egri chizig‘i ustidagi hosila, fazaviy o‘tish issiqligi,  $\Delta V$  - fazaviy o‘tishda hajmning o‘zgarishi.



## Real gazlarning ichki energiyasi

Ideal gazlarning ichki energiyasi asosan gaz molekulari harakatining kinetik energiyasidan iborat bo'lib, bir mol gaz uchun

$$U_{\mu} = \frac{i}{2}RT = C_V T \quad (8.2)$$

Ko'rinishda yoziladi. Bu formulada  $C_V = \frac{i}{2}R$  bir mol gaz uchun izoxorik jarayonda issiqlik sig'imidir. Real gazlar ichki energiyasini o'rganishda molekularning o'zaro ta'siri natijasida ichki bosimi  $R_i$  ning vujudga kelishi va shu kuchlar ta'sirida potensial energiyaning o'zgarishini hisobga olish kerak. Molekularning o'zaro tortishish kuchi bajargan ish:

$$dA = R_i dV \quad P_i = \frac{a}{V^2} \text{ ni hisobga olib, } dA = dU_2 = \frac{a}{V^2} dV \quad W_2 = \frac{a}{V} + c$$

Agar molekular bir-biridan cheksiz uzoqlashsa,  $S = 0$  va

$$U_2 = -\frac{a}{V} \quad (8.3)$$

Shunday qilib, real gazlarning ichki energiyasi (8.2) va (8.3) yordamida quyidagicha yoziladi:

$$U = U_{\mu} + U_r = C_V T - \frac{a}{V}, \quad U = C_V T - \frac{a}{V} \quad (8.4)$$

Demak, real gazning ichki energiyasi gazning haroratiga va hajmga bog'liq ekan.

Suyuqliklar va qattik jismlar orasidagi ayrim o'xshashliklar.

Suyukliklar shaklan tez o'zgaruvchan bo'lib, siqilish qobiliyati gazlarga nisbatan juda kichik. Suyuqlik molekulari orasidagi o'zaro ta'sir kuchi gaz molekularining o'zaro ta'siridan katta, shu sababli molekularning o'zaro ta'sir kuchi suyuqliklar uchun juda muhim ahamiyatga ega. Suyuqlik molekulari suyuqlikning sirtida va ichida har xil potensial energiyaga ega, shu sababli suyuqlik sirtining xossalari suyuqlikning ichki qismi xossalaridan farq qiladi. Suyuqlik ichidagi  $A$  molekula atrofidagi molekular bilan o'zaro ta'sir qilib, bu kuchlar o'zaro kompensatsiyalangan bo'ladi.  $V$  molekulaning suyuqlik sirtidan yuqori qismidagi energiya kompensatsiya qilingan bo'lib,  $f$  kuch molekulani suyuqlik ichiga (pastga) tortadi, chunki bu molekulaga ta'sir etuvchi kuchlar to'la

kompensatsiya qilinmagan. Demak suyuqlik sirtidagi barcha molekulalarga, ularni pastga, suyuqlik ichkarisiga tortuvchi kuchlar ta'sir etadi.

Ya'ni, suyuqlikning sirt qatlami suyuqlikka ma'lum bosim beradi, bu bosim molekulyar bosim deyiladi. Natijada suyuqlikning sirtqi qatlamidagi molekulalar hajmidagi molekulalarga nisbatan ortiqcha potensial energiyaga ega bo'ladi. Bu energiya sirt energiyasi yoki erkin energiya deb ataladi.

Sirtidagi suyuqlik molekulalari, suyuqlik ichidagi molekulalarga nisbatan ortiqcha energiyaga ega bo'lib, uning sirt qatlamida taranglikni hosil qiladi.

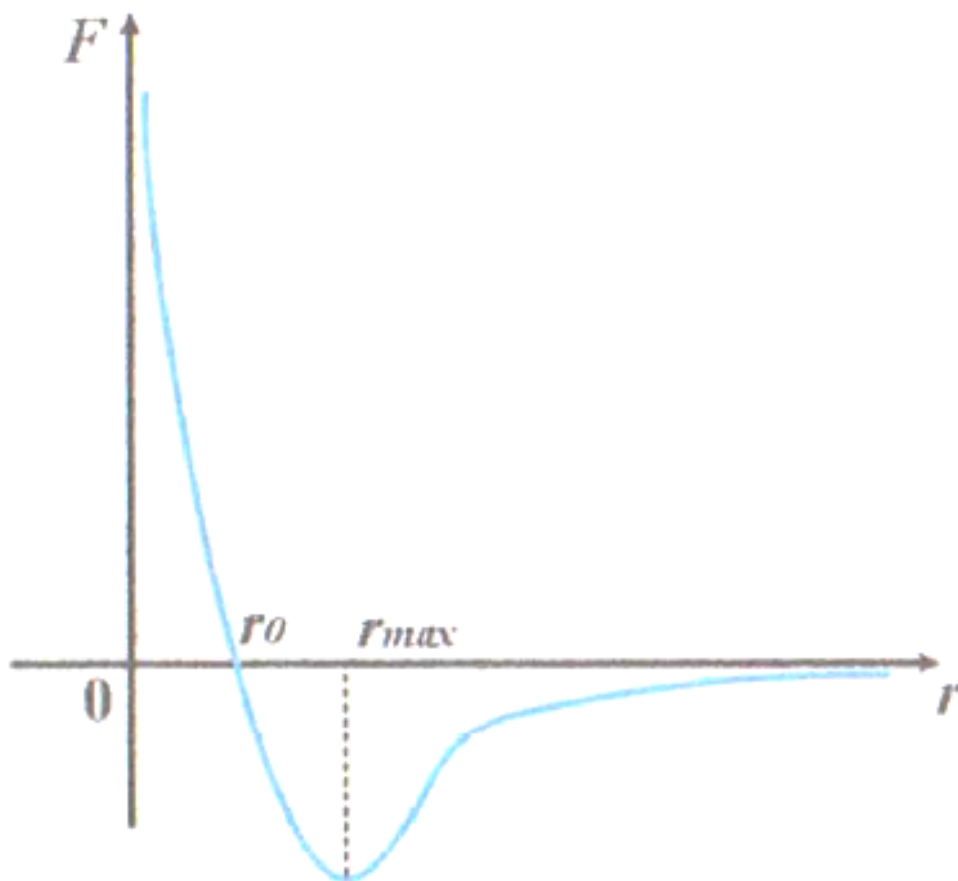
Sirt taranglik kuchi:

$$F = \alpha \ell \quad (8.5)$$

Bunda  $\alpha$  - sirt taranglik koeffitsienti:  $\ell$  - suyuqlik sirt chegarasi uzunlik birligi, -  $\alpha$ ,  $n/m$  hisobida o'lchanib, suyuqlikning tabiatiga, tarkibiga va haroratiga bog'liq. Suyuqliklarda molekulalar ichki bosimi bo'lishi real gazlar bilan suyuqliklar o'rtasida umumiylik borligidan dalolat beradi. Bu umumiylik asosida molekulalarning o'zaro ta'siri yotadi. Suyuqliklar bilan qattik jismlar o'rtasida ham umumiylik bor, suyuqliklarning ko'p xossalari qattiq jismlar xossalariga o'xshab ketadi. Bu o'xshashlik qattik jismlar eriganda yoki erigan qattik jismlar qotganda ko'proq namoyon bo'ladi.

### **Molekulalararo o'zaro ta'sir kuchlari. Gazlarni suyultirish**

Molekulalar orasida har doim tortishish va itarishish kuchlari mavjud. Ular bir-biriga juda yaqin kelganda itarishish kuchlari tortish kuchlaridan ustunlik qiladi. Biror kritik masofadan uzoqlasha boshlaganda esa tortishish kuchlari ustunlik qila boshlaydi. Qattiq jismlar va suyuqliklarda har doim molekulalar qo'shni molekulalarni masofada tutib turadi va molekulalar bir-biriga biror kritik masofa atrofida yaqinlashib va uzoqlashib turadi, ya'ni tebranib turadi. Gazlarda esa molekulalararo masofa ancha katta bo'lgani sababli ular bir-birlarini masofada tutib tura olmaydilar. Ideal gazlar esa bir-birlarining borligini faqat to'qnashganda sezadilar (8.5-rasm)



8.5-rasm

- 1)  $r < r_0$  da itarishish kuchlari keskin oshadi.
- 2)  $r = r_0$  da itarishish va tortishish kuchlari kompensatsiyalashadi.
- 3)  $r = r_{max}$  da tortishish kuchi eng katta qiymatga erishadi.
- 4)  $r > r_{max}$  da tortishish kuchi keskin kamayadi.
- 5)  $r \gg r_{max}$  da tortish kuchi nolga teng bo'ladi. Bunga ideal gazlar misol bo'ladi.

Bir-biri bilan to'qnashuvchi ikki molekulani xuddi bilyard toshlari kabi shar shaklidagi absalyut qatiq jismlar deb hisoblanadi. Chunki molekulalar to'qnashganda energiya va Impulsning saqlanish qonuni to'la bajariladi. Masalan idish dovoriga urilgan molekula xuddi Shunday tezlik bilan undan sapchiydi. Shuni ham eslatib o'tish kerakki, ancha katta temperaturalarda harakatlanayotgan molekulalar to'qnashishi noelastik bo'lib, energiyaning bir qismi atomni uyg'onishiga sarf bo'ladi. Lekin bu haqda kvant fizikasida tanishiladi.

## Nazariy savollar

1. Real gazlar qanday gaz
2. Van-der-Vaals tenglamalari
3. Van-der-Vaals sonlari
4. Real gazlar ichki energiyasi.
5. Joule-Tomson effekti.
6. Molekulalararo o'zaro ta'sir kuchlari.
7. Gazlarni suyultirish

### 9-Mavzu. Elektrostatika. Kulon qonuni. Elektr maydoni Reja:

1. Elektr zaryadi. Elektr zaryadning saqlanish qonuni.
2. Kulon qonuni.
3. Elektrostatik maydon va uning kuchlanganligi. Maydonlar superpozitsiyasi.
4. Vakuumba elektrostatik maydonlar uchun Gauss teoremasi.
5. Elektrostatik maydon potentsiali elektrostatik maydonda zaryadni ko'chirishda bajariladigan ish.

**Tayanch iboralar:** *elektrodinamika, elektrlanish, elektrotexnika, elektr zaryadi, elektr zaryadining saqlanish qonuni, dielektriklar.*

Elektrodinamikani batafsil o'rganishni boshlashdan avval, uning rivoji to'g'risida qisqacha tarixiy ma'lumotlarni keltirib o'tamiz. Ba'zi bir asosiy elektromagnit hodisalari qadim-qadimdan ma'lum bo'lgan, masalan eramizdan avvalgi 7 - asrdayoq qadimgi grek olimi Fales qahraboni ipak matoga ishqalaganda u yengil jismlarni o'ziga tortishini ko'rsatib o'tgan. 16 - asr oxirida ingliz vrachi va fizigi V.Gilbert bir qator tajribalar o'tkazib, nafaqat qahrabo va balkim oyna, fosfor va boshqa jismlarning teri hamda shunga o'xshagan yumshoq matolar bilan ishqalaganda ularda tortish xususiyati paydo bo'lishini aniqladi. U bu hodisani elektrlanish deb ataladi. Elektrostatikaning birinchi miqdoriy qonunini 1785 - yilda Sh.Kulon tajriba yo'li bilan aniqladi. Oradan 1 yil o'tib, L.Galvani elektr toki

hodisasini kashf etdi. 1799 - yilda A.Volta birinchi bo'lib, barqaror elektr yurituvchi kuch (*E.Yu.K*). manbasini yaratdi. 1820 - yilda X.Ersted magnit va tok orasidagi ta'sirlashuvni kuzatdi. A.Amper esa toklarning o'zaro ta'sirlashuvini o'rganib, bu hodisani hisoblash usulini ko'rsatib berdi.

1826 - yilda G.Om metall o'tkazgichdagi tok kuchi va kuchlanishni bir-biri bilan bog'lovchi qonunni aniqlab, uni nazariy jihatdan asoslab berdi. 1831 - yilda M.Faradey barcha amaliy elektrotexnika va radiotexnikaning asosida yotuvchi elektromagnit induksiya hodisasini kashf etdi. U 1833 - yilda elektroliz qonunini tajribaviy usulda aniqladi. Bu qonun elektr zaryadlarining diskretligini tasdiqlashiga asos bo'ldi. 1845 - yilda Faradey magnit maydonida joylashgan modda orqali yorug'lik o'tganida shu yorug'lik tebranishlari tekisligining o'zgarishini kuzatdi. Bu fakt yorug'lik va elektr o'rtasidagi bog'lanishdan dalolat beradi. Faradey 19 - asrning 30-50 - yillaridayoq birinchi bo'lib elektr va magnit maydonlar tushunchasini kuzatdi. 1841 - 1842 - yillarda E.X.Lents va Dj.Djoul tokning issiqlik ta'siri qonunini aniqladilar. Faradeyning tadqiqot ishlari bazasida toklar elektrotexnikasi rivojlandi, o'zgarmas va o'zgaruvchan tok generatorlari va dvigatellari yaratildi, elektroenergiyani uzoq masofalarga uzatish imkonini beruvchi qurilma transformatorlar paydo bo'ldi. 1853 - yilda Kelvin (U.Tomson) past chastotali elektromagnit tebranishlarini olishga muvofiq bo'ldi va uning nazariyasini ishlab chiqdi. 1860 - 1865 - yillarda Dj.Maksvell to'plangan barcha ilmiy materiallarni umumlashtirib, elektromagnit maydon nazariyasini yaratdi, elektromagnit to'lqinlar mavjudligini bashorat qildi, yorug'likning elektromagnit tabiatga ega ekanligini tasdiqladi (1873y.) va yorug'lik bosimini nazariy hisobladi. 1887 -1888 - yillarda G.Gerts tajribada uzun elektromagnit to'lqinlarni oldi. P.N.Lebedov yorug'likning qattiq jism va zaryadga ko'rsatadigan bosimni tajribada bevosita o'lchab, Maksvellning hisoblari to'g'ri ekanligini isbotladi. 1881 - yilda nemis fizigi va fiziologi G.Gelmgolts moddalarda elementar elektr zaryadli zarrachalar mavjud degan gipotezani ilgari suradi. Keyinchalik bu gipoteza (1897 - yilda ingliz fizigi Dj.Tomson tomonidan) elektronning va (1919 - yilda ingliz fizigi E.Rezerford tomonidan) protonning ochilishi bilan o'z isbotini topdi. 1911 - yilda

R.Milliken elektronning zaryadini o'lchab, uning zaryadi diskret ekanligini isbotladi. Tashqi fotoeffekt hodisasi (G.Gerts 1888y.) va unga tegishli qonunlarning (A.G.Stoletov, 1888y., A.Eynshteyn 1905y.) kashf etilishi, shuningdek, qizdirilgan metallardan elektronning ajralib chiqishi hodisasi (T.Edison 1883y.) vakuumli elektron lampani (Dj.Fleming 1904y.) yaratishga va radiotelefoniyaga usullarini ishlab chiqishga imkoniyat yaratdi. 1895 - yilda A.S. Popov radiotelegrafiyani kashf etdi. XX asrning 30 - yillarida yarimo'tkazgichlarini faol o'rganish boshlandi, uning natijasi o'laroq 1948 - yilda U.Shokli va boshqalar tomonidan tranzistor kashf etdi. Yarim o'tkazgichlarni amaliy o'zlashtirish zamonaviy elektronika, yuqori sifatli televideniya va elektron hisoblash mashinalarining yaratilishiga olib keldi. Shuningdek, sanoatning turli tarmoqlari uchun misli ko'rinmagan rivojlanish imkoniyatlari ochildi. 1911 - yilda K.Kamerling - Onnes tomonidan o'ta o'tkazuvchanlik hodisasi kashf etildi. 1986 -1997 - yillarda qarshiligi  $T \approx 100K$  temperaturada ham nolga teng bo'luvchi yangi materiallar yaratildi. Uning asosida elektr energiyasini uzatuvchi va hozirda to'plovchi qurilmalarni mukammallashtirish, yangi rusumdagi transport vositalarini ishlab chiqish imkoniyati paydo bo'ldi.

Elektr zaryadi. Elektr zaryadining saqlanish qonuni.

Hozirgi zamon fizikasi nuqtai-nazaridan elektr zaryadi elementar zarraning fundamental xarakteristikalaridan biri bo'lib, uning elektromagnit ta'sirlashuv qobiliyatini belgilab beradi.

Tajribalar asosida, elektr zaryadining quyidagi xossalari aniqlangan:

1. Elektr zaryadining ishorasi tabiat tomonidan belgilab qo'yilmagan. Tabiatda, teskari xossali ikki xil elektr zaryadi mavjud. Ular shartli ravishda manfiy (elektron) va musbat (proton) zaryadlarga ajratilgan. Agar shishani teri bilan ishqalansa musbat zaryad, ebonit (qahrabo) ni junga ishqalansa manfiy zaryadlar hosil bo'ladi. Bir turdagi zaryadlar bir-biridan qochadi, turli ishorali zaryadlar esa bir-birini tortadi.

2. Elektr zaryadi relyativistik invariant kattalikdir, u zaryad tashuvchining harakati tufayli o'zgarib qolmaydi.

Masalan, elektron qanday harakatda qatnashishidan qat'iy nazar, uning zaryadi doimo bir xilligacha qoladi.

3. Elektr zaryadi additivlik xususiyatiga ega, ya'ni istalgan sistemaning zaryadi shu tizimdagi barcha zarralar zaryadlarining algebraik yig'indisiga teng. Masalan ionning elektr zaryadi atom yadrosi zaryadi va ionlashishidan so'ng qolgan elektronlar zaryadining algebraik yig'indisiga teng.

4. Tabiatda uchraydigan barcha elektr zaryadlarni diskret va yoki boshqacha aytganda ular elementar zaryad ( $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Kl) ga karralidirlar. Bu elektr zaryadlarining kvantlanganlik xossasi deb ham yuritiladi. Elektron manfiy elementar zaryadni, proton ( $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ ) - musbat elementar zaryadni tashuvchilar hisoblanishadi.  $Q = \pm Ne$ .

5. Istalgan berk sistemadagi elektr zaryadlarining algebraik yig'indisi, bu sistemaning ichida qanday o'zgarish bo'lishidan qat'iy nazar, o'zgarmaydi. Bu elektr zaryadlarining saqlanish qonuni deyiladi. Bu qonun tajriba natijalarini umumlashtirish orqali kelib chiqadi. Uni ingliz fizigi M.Faradey 1843 - yilda eksprimetda tasdiqladi. Elektr zaryadining yuqorida ko'rsatib o'tilgan 1 – 5 bandlardagi xossalari fundamental qonunlar ekanini ta'kidlab o'tamiz. Ularni boshqa hech bir fizik qonundan keltirib chiqarib bo'lmaydi. Hozirgi kungacha tabiatda bu xossalarga qarama - qarshi keluvchi biror - bir hodisa kuzatilmagan. Jismdagi erkin zaryadlar konsentratsiyasiga bog'liq holda ularni o'tkazgichlar, dielektriklar va yarim o'tkazgichlarga ajratish mumkin. o'tkazgichlar ikki guruhga bo'linadi:

I - turdagi o'tkazgichlar (metallar) - ularda zaryadlar (erkin elektronlar)ning ko'chishi tufayli moddalarda kimyoviy o'zgarishlar kuzatilmaydi.

II - turdagi o'tkazgichlar (erigan tuzlar, kislota va ishqor eritmaları) - da zaryadlar (musbat va manfiy ionlar) ning ko'chishi natijasida kimyoviy o'zgarishlar (almashinish) lar kuzatiladi.

Dielektriklar (shisha, plastmassa, qahrabo, distillangan suv, spirt va hokazo) bu deyarli erkin zaryadlarga ega bo'lmagan jismlardir.

Yarim o'tkazgichlar (germaniy, kremniy, selen va grafit) esa orliq holatni egallaydigan jismlardir. Ularning elektr o'tkazuvchanligi sezilarli tarzda tashqi sharoit, asosan teperaturaga bog'liq bo'ladi.

Elektr zaryadi (elektr miqdori) ning birligi

$$[Q] = Kl \quad (\text{Kulon}) \quad Kl = A \cdot c$$

1 Kl – o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasidan 1s ichida (undan 1A tok o'tib turgani holda) oqib o'tadigan zaryad miqdoridir.

### **Elektr zaryadining saqlanish qonuni:**

Jismlar ishqalanish orqali elektrlanganda, bir vaqtning o'zida ikkala jism elektrlanadi, shu bilan birga ulardan biri musbat, ikkinchisi esa manfiy zaryadlanadi. Agar ikkala jism ham elektrlangunga qadar zaryadlanmagan bo'lsa, birinchi jismning musbat zaryad miqdori ikkinchi jismning manfiy zaryad miqdoriga teng bo'ladi. Agar bu elektrlangan ikkala jism birlashtirilsa, jismlar yana zaryadsizlanib qoladi, ya'ni neytrallashadi. Shunga qator tajribalar asosida elektr zaryadlarining quyidagicha saqlanish qonuni kashf qilindi:

*Elektr zaryadlari o'z-o'zidan paydo bo'lmaydi va yo'qolmaydi, ular faqat bir jismdan boshqasiga uzatiladi yoki berilgan jism ichida ko'chadi va berk sistema ichida elektr zaryadlarining algebraik yig'indisi o'zgarmay qoladi.*

$$q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + \dots + q_n = const$$

Elektr zaryadlarining itarishish yoki tortishishida hosil bolgan elektr zaryadlarining o'zaro ta'sir kuchlari *elektr kuchlari* deyiladi. Elektr kuchlari elektr zaryadlari tomonidan yuzaga keltiriladi va zaryadlangan jismlar yoki zarrachalarga ta'sir qiladi. Mazkur mavzuda va bundan keyin zaryadlangan jismlaming ta'sir kuchini o'rganayotganda ularni nuqtaviy zaryadlar deb hisoblaymiz. Ushbu mavzuda yoritiladigan Kulon qonuni ham faqat nuqtaviy zaryadlar uchun o'rinlidir.

**Nuqtaviy zaryad deb**, tekshirilayotgan masofaga nisbatan o'lchamlari juda kichik bo'lgan zaryadli jismlarga aytiladi.

*Vakuumba bir-biridan 1 m masofada joylashgan va 1 Kl dan zaryad miqdorlariga ega bo'lgan nuqtaviy zaryadlar bir-birlari bilan  $9 \cdot 10^9$  N kuch bilan ta'sirlashadilar.*



$$F_0 = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad (9.1)$$

Bu yerda:  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^{10} \left[ \frac{N \cdot m^2}{Kl^2} \right]$  proporsionallik koeffitsienti

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \left[ \frac{Kl^2}{N \cdot m^2} = \frac{F}{m} \right]$  elektr doimiysi

### **Elektr maydon kuchlanganigi tushunchasi:**

Qo‘zg‘almas elektr zaryadi atrofida hosil bo‘lgan elektrostatik (yoki qisqacha elektr) maydoni **“sinov zaryadi”** deb ataladigan zaryad yordamida tekshiriladi.

**“Sinov zaryadi” deb,** tekshirilayotgan maydonning xususiyatini sezilarli darajada o‘zgartirmaydigan juda kichik, musbat zaryadga ega nuqtaviy zaryadga aytiladi.

Elektr maydoni tomonidan sinov zaryadiga ta’sir qiluvchi kuchning sinov zaryadiga nisbati sinov zaryadining katta-kichikligiga bog‘liq bo‘lmaydi va bu nisbat o‘sha nuqtadagi (sinov zaryadi kiritilgan nuqtadagi) **elektr maydon kuchlanganligi deyiladi.**

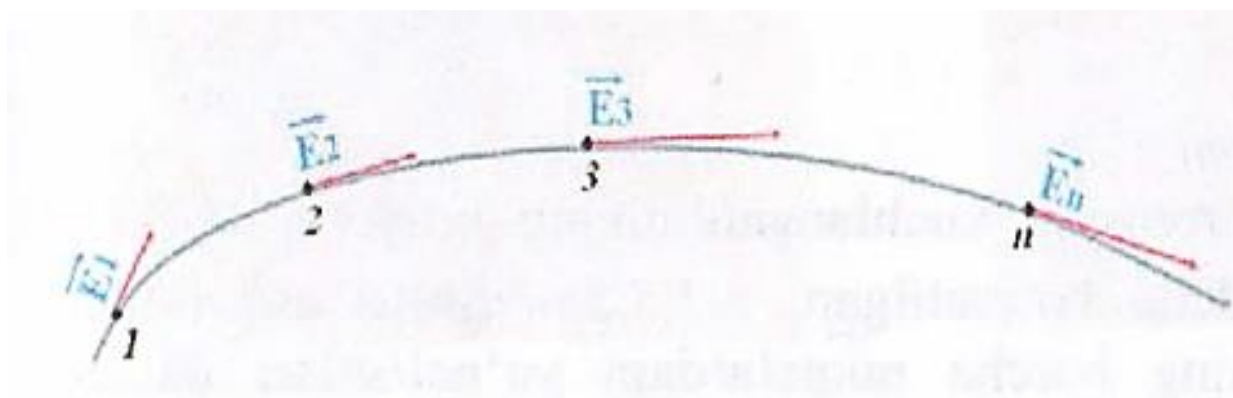
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \left( \frac{N}{Kl} = \frac{V}{m} \right) \quad (9.2)$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = k \frac{q}{r^2}$$

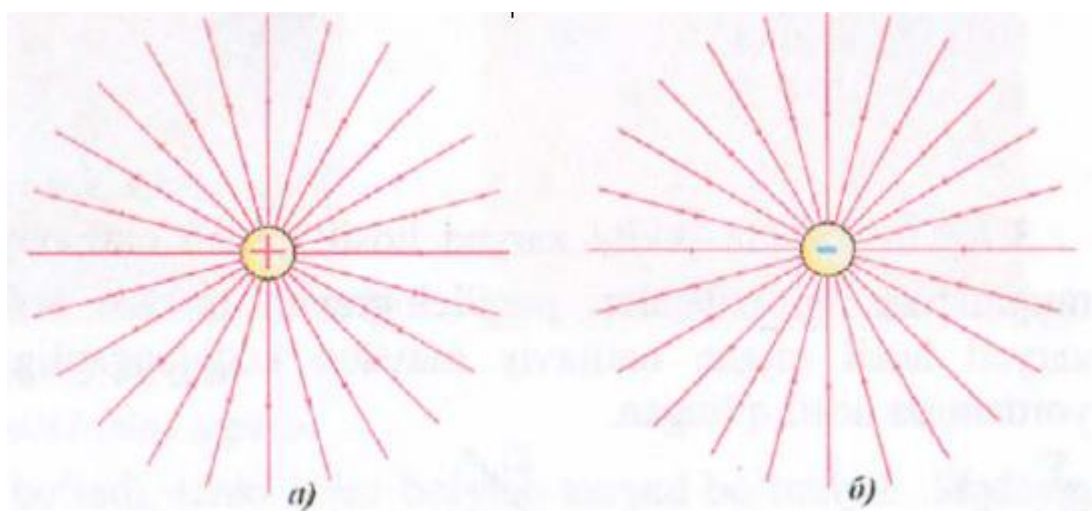
Elektr maydon kuchlanganligi vektor kattalik bo‘lib, elektr maydonni kuch jixatidan xarakterlaydi.

### ***Elektr maydon kuch chiziqdari, superpozitsiya prinsipi:***

**Elektr maydon kuch chizig‘i deb,** shunday chiziqqa aytiladiki, bu chiziqning har bir nuqtasida elektr maydon kuchlanganlik vektori shu chiziqqa urinma holda yo‘nalgan bo‘ladi (9.1-rasm).



9.1-rasm



9.2-rasm

Musbat zaryadning elektr maydon kuch chiziqlari zaryad sirtidan boshlanib, cheksizlikkacha davom etadi. Manfiy zaryadniki esa cheksizlikdan boshlanib, zaryad sirtida tugaydi (*a,b-rasm*). Demak, elektr maydonining boshi va oxiri mavjud bo‘lib, ular zaryadlarning o‘zlari ekan. Boshqacha aytganda, elektr maydonining manbasi elektr zaryadlarining o‘zlari bo‘lar ekan (9.2-rasm).

Fazoning biror nuqtasidagi zaryadlar sistemasi hosil qilgan natijaviy maydon kuchlanganligini topish uchun, shu nuqtadagi har bir zaryad hosil qilgan maydon kuchlanganlik vektorlari geometrik qo‘shiladi.

*Maydonlarni qo‘shishning bunday usuli maydonlar superpozitsiya prinsipi deyiladi.*

$$\vec{E}_{nat} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots + \vec{E}_n \quad (9.3)$$

Barcha maydon kuchlanganliklari qo‘shilib, bitta natijaviy maydon kuchlanganlik vektori hosil qilinadi va buni teng ta‘sir etuvchi vektor deyiladi. Qo‘shib chiqilgan maydonlarni esa tashkil etuvchilar yoki komponentalar deyiladi.

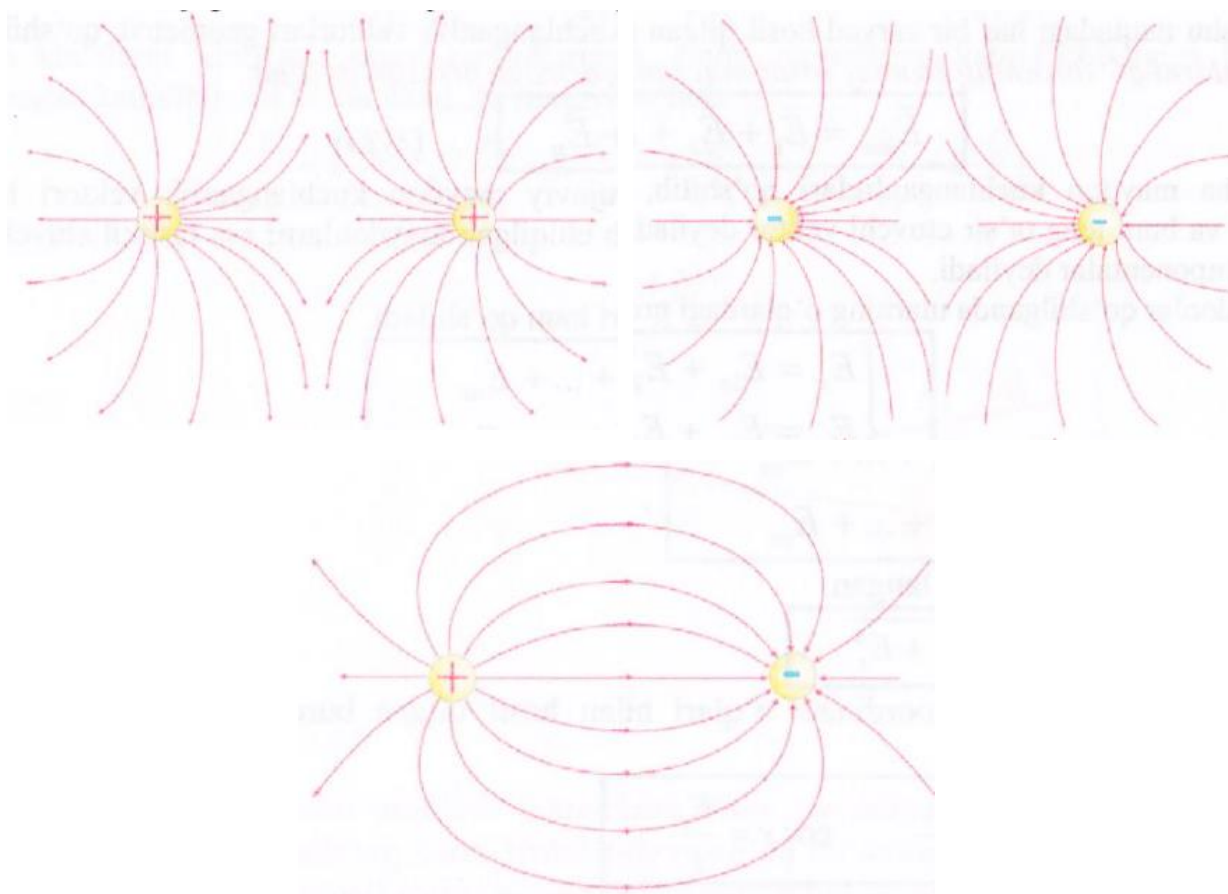
Maydonlar qo‘shilganda ularning o‘qlardagi proyeksiyalari ham qo‘shiladi:

$$\begin{cases} E_x = E_{1x} + E_{2x} + E_{3x} + \dots + E_{nx} \\ E_y = E_{1y} + E_{2y} + E_{3y} + \dots + E_{ny} \\ E_z = E_{1z} + E_{2z} + E_{3z} + \dots + E_{nz} \end{cases}$$

Teng ta‘sir etuvchi proeksiyalar orqali quyidagicha bog‘langan:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$$

Teng miqdordagi musbat-musbat, musbat-manfiy, manfiy-manfiy zaryadlar hosil qilgan kuch chiziqdari quyidagi (9.3-rasm) rasmda tasvirlangan.



9.3-rasm

Odatda zaryad o‘tkazgichning tashqi sirtida bo‘ladi, ichki hajm bo‘ylab zaryad bo‘lmaydi. Masalan, metall shar manfiy zaryadlangan bo‘lsa, ortiqcha elektronlar sharning tashqi sirti bo‘ylab yoyilib ketadi. Chunki, metallar o‘tkazgich

bo'lgani sababli zaryad bir joydan boshqa joyga erkin ko'cha oladi. Ortiqcha elektronlar bir-biridan mumkin qadar uzoqlashib o'tkazgichning sirtiga yoyilib chiqadi.

Zaryadlangan shar ichidagi elektr maydon kuchlanganligi nolga teng bo'ladi.

$$\vec{E} = 0$$

Hisob-kitoblar nafaqat shar ichida, balki barcha zaryadlangan o'tkazgichlar ichida maydon kuchlanganligi nolga teng bo'lishini ko'rsatdi.

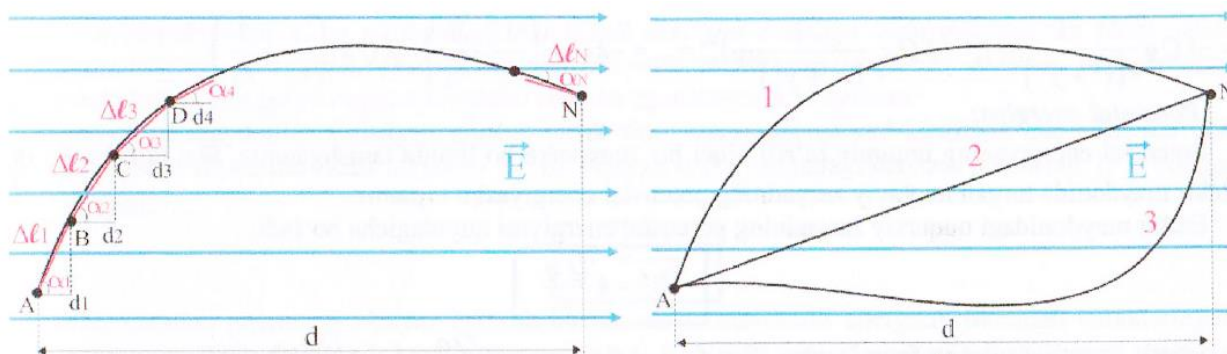
Sirtiyl zaryadlangan sharning sirtida ( $r=R$ ) maydon kuchlanganligi quyidagicha:

$$E_0 = k \frac{q}{r^2} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

Agar zaryad sharning butun hajmi bo'ylab bir tekis taqsimlangan bo'lsa, elektr maydon kuchlanganligining qiymati shar markazidan sirtigacha chiziqli holda oshib boradi. Hajmiyl zaryadlangan Shar markazidan ixtiyoriyl  $r < R$  masofadagi elektr maydon kuchlanganligi quyidagicha:

$$E = k \frac{q}{R^3} r = E_0 \frac{r}{R}$$

Agar kuchning bajargan ishi trayektoriya shakliga bog'liql bo'lsa, bu kuchni **konservativ kuch**, aksincha esa **nokonservativ kuch** deyiladi. Konservativ kuchlarning ta'sir maydonini **potensial maydon** deyiladi. Elektr zaryadlari hosil qiladigan maydon potensial maydonmi yoki yo'qmi degan savolga javob berishga harakat qilib ko'raylik.



9.4-rasm

Rasmdan ko‘rinib turibdiki,  $d$ -trayektoiyaning maydon yo‘nalishiga proeksiyasi. Demak,  $A=qEd$  ga ko‘ra nuqtaviy zaryadni elektr maydonida ko‘chirishda bajarilgan ish trayektoriyaning maydon yo‘nalishiga proeksiyasiga bog‘liq bo‘lar ekan, trayektoriya shakliga esa mutlaqo bog‘liq bo‘lmas ekan. Trayektoriya shakllari turlicha, lekin trayektoriyaning maydon yo‘nalishidagi proyeksiyalari bir xil  $d$  ga teng bo‘lgan barcha trektoriyalarda teng ish bajariladi (9.4-rasm).

Trayektoriya shakli qanday bo‘lishidan qat’iy nazar agar  $d=0$  bo‘lsa, bajarilgan ish nolga teng bo‘ladi. Boshqacha aytganda elektr maydonida berk kontur bo‘ylab zaryadni ko‘chirishda ish bajarilmas ekan.

Yuqoridagilardan xulosa qilib shuni aytish mumkinki, haqiqatan ham elektr kuch konservativ kuch, bu kuchning maydoni esa potensial maydondir. Zaryadni ko‘chirishda bajarilgan ish traektoriya shakliga bog‘liq emas va zaryadni berk kontur bo‘ylab ko‘chirishda ish bajarilmaydi.

Nuqtaviy zaryadni bir jinsli maydonda ko‘chirishda bajarilgan ish quyidagicha bo‘ladi:

$$A = qEl\cos\alpha = qEd$$

Potensial energiyaning umumiy ta’rifi bilan biz **mexanika** bo‘limida tanishganmiz. Shu ta’rifga ko‘ra elektr maydonida turgan nuqtaviy zaryadning potensial energiyasini topamiz.

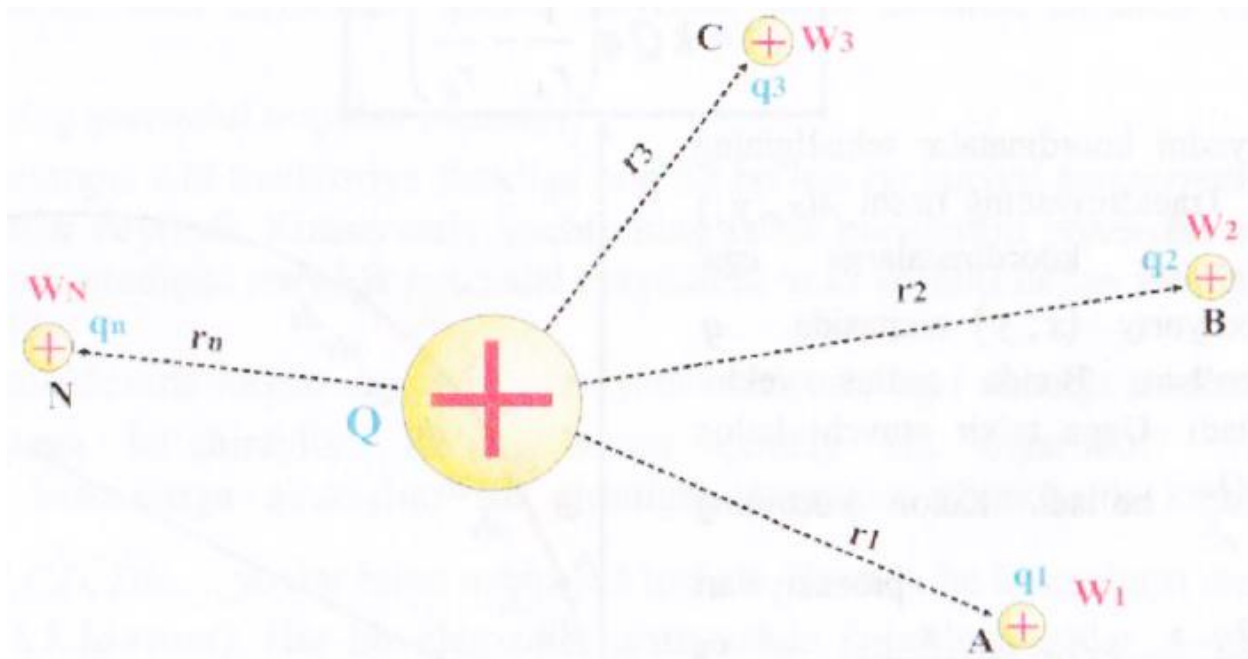
Elektr maydonidagi nuqtaviy zaryadning potensial energiyasi quyidagicha bo‘ladi:

$$W = k \frac{Qq}{r}$$

Demak, markaziy kuch maydonida nuqtaviy zaryadni ko‘chirishda bajarilgan ish trayektoriya boshidagi va oxiridagi potensial energiyalar farqiga teng bo‘lar ekan.

$$A = kQq \left( \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right) = k \frac{Qq}{r_A} - k \frac{Qq}{r_B} = W_A - W_B$$

**Elektr maydon potentsiali:** Elektr maydonini  $Q$  zaryad hosil qilayotgan bo‘lsin va bu maydonning turli nuqtalariga  $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ , sinov zaryadlarini kiritaylik. Bu nuqtalarda sinov zaryadlarining potentsial energiyalari mos holda  $W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$ , bo‘lsin (9.5-rasm).



9.5-rasm

$$W_1 = k \frac{Qq_1}{\epsilon r_1}, W_2 = k \frac{Qq_2}{\epsilon r_2}, W_3 = k \frac{Qq_3}{\epsilon r_3}, \dots, W_n = k \frac{Qq_n}{\epsilon r_n}$$

Bu energiyalarni kiritilgan sinov zaryadlariga bo‘linsa, sinov zaryadining katta-kichikligiga bog‘liq bo‘lmagan kattalik hosil bo‘lar ekan, ya’ni quyidagicha bo‘ladi:

$$\frac{W_1}{q_1} = k \frac{Q}{\epsilon r_1}, \frac{W_2}{q_2} = k \frac{Q}{\epsilon r_2}, \frac{W_3}{q_3} = k \frac{Q}{\epsilon r_3}, \dots, \frac{W_n}{q_n} = k \frac{Q}{\epsilon r_n}$$

Elektr maydoniga kiritilgan sinov zaryadi potentsial energiyasining sinov zaryadiga nisbati sinov zaryadining katta-kichikligiga bog‘liq bo‘lmaydi va bu nisbat o‘sha nuqtadagi (sinov zaryadi kiritilgan nuqtadagi) elektr maydon potentsiali deyiladi.

$$\varphi = \frac{W}{q'}$$

Elektr maydon potentsialiga quyidagicha ta’rif ham beriladi:

Elektr maydonning biror nuqtasidagi potentsiali deb, shu nuqtaga kiritilgan musbat birlik sinov zaryadini maydon tomonidan cheksizlikkacha (maydon bo'lmagan nuqtaga, maydon tashqarisiga) siljitishda bajarilgan ishga miqdor jihatidan teng bo'lgan kattalikka aytiladi.

Elektr maydon potentsiali *skalyar* kattalik bo'lib, elektr maydonni energetik jihatidan xarakterlaydi. (+) ishorali zaryadlar atrofida (+) ishorali potentsial, (-) ishorali zaryadlar atrofida (-) ishorali potentsial hosil bo'ladi. Maydonning biror nuqtasidagi natijaviy potentsialni topish uchun shu nuqtada har bir zaryad hosil qilgan potentsiallar algebraik qo'shiladi.

$$\varphi_{nat} = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \dots + \varphi_n$$

### **Zaryadlangan o'tkazgichlarning potentsiali:**

Ixtiyoriy shakldagi o'tkazgich zaryadlanganda uning zaryadi o'tkazgich sirti bo'ylab joylashadi. Chunki, o'tkazgichlarda zaryad bir nuqtadan ikkinchi nuqtaga erkin ko'cha oladi. O'tkazgich zaryadni bir xil ishorali elementar zarrachalar tashkil etgani uchun ular mumkin qadar bir-biridan uzoqlashib eng chetki joyga ya'ni, o'tkazgich sirtiga joylashib oladi. O'tkazgich qanday shaklda bo'lmasin, uning sirtidagi barcha nuqtalarda elektr potentsiali bir xil bo'ladi. Agar o'tkazgichning biror nuqtasida potentsial kattaroq bo'lsa, demak bilish kerakki, hali zaryadning o'tkazgich sirti bo'ylab taqsimoti oxiriga etmagan. Elektr maydoni zaryadni potentsiali katta nuqtadan potentsiali kichikroq bo'lgan nuqtalarga ko'chishga majbur qiladi va bu ko'chki toki o'tkazgich sirtidagi barcha nuqtalarda potentsial tenglashguncha davom etadi.

Siriy zaryadlangan Sharning sirtida ( $r=R$ ) potentsial quyidagicha:

$$\varphi_0 = k \frac{q}{\varepsilon R}$$

Hisob-kitoblar nafaqat shar ichida, balki barcha siriy zaryadlangan o'tkazgichlar ichida ham elektr maydon potentsiali bir xil bo'lishini ko'rsatdi.

Dielektrlarda jismning qayerida zaryad hosil qilinsa, u o'sha joyda turaveradi. Zaryad bir joydan boshqa joyga osonlikcha ko'chmaydi. Chunki, dielektrlarda zaryad eltuvchi erkin elektronlar yo'q. Agar zaryad jismning butun

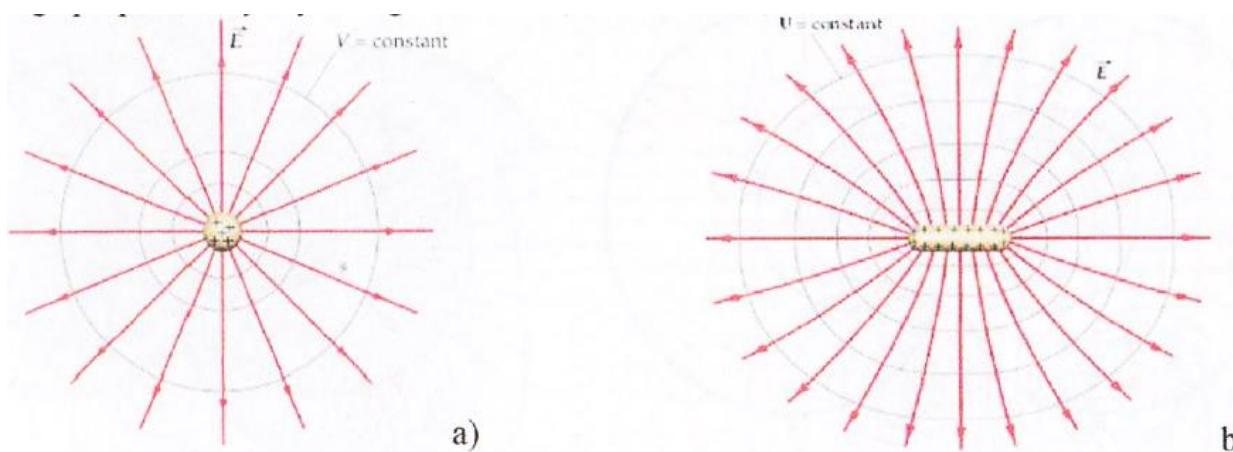
hajmi bo'yicha hosil qilinsa, bu zaryad o'tkazgichlardagi kabi sirtiga chiqib ketmasdan hajm bo'yicha turaveradi. Endi hajmiy zaryadlangan sharning potensialini ko'rib chiqamiz.

Hajmiy zaryadlangan shar markazida elektr maydon potentsiali quyidagicha bo'ladi:

$$\varphi = \frac{3}{2}k \frac{Q}{R} = \frac{3}{2}\varphi_0$$

Bir xil potentsialga ega bo'lgan nuqtalarning geometrik o'rni *ekvipotensial sirt* degan sirt hosil qiladi. Nomlanishidan ham teng potentsialli degan ma'noni berishi ko'rinib turibdi.

Nuqtaviy zaryadlarning ekvipotensial sirtlari konsentrik sferalardan iborat bo'ladi. Ixtiyoriy jismniki esa maydon kuchlanganligi jism sirtiga tik chiquvchi bo'lib, ekvipotensial sirtlar esa shu kuchlanganlik chiziqlariga perpendikulyar yo'nalgan bo'ladi (9.6-rasm).



9.6-rasm

Ekvipotensial sirtning barcha nuqtalarida zaryadning potentsial energiyalari bir xil bo'ladi. Bitta ekvipotensial sirtning bir nuqtasidan boshqa xoxlagan nuqtasiga zaryadni ko'chirishda ish bajarilmaydi. Chunki, bunda potentsial energiya o'zgarmaydi. Zaryadni bir ekvipotensial sirtning ixtiyoriy nuqtasidan ikkinchi ekvipotensial sirtning ixtiyoriy nuqtasiga ko'chirishda bir xil  $A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$  ish bajariladi.



### Sinov savollari:

1. Zaryad nimani xarakterlaydi?
2. Zaryadning hossalari aytib bering?
3. Kulon qonuni nimadan iborat? U qanday shartlar asosida o'rinli?
4. Elektrostatik maydon kuchlanganligi nimani xarakterlaydi. Unga ta'rif bering?
5. Elektrostatik maydon kuchlanganligining yo'nalishi qanday aniqlanadi?
6. Kuchlanganlik birliklarini keltirib chiqaring?
7. Kuchlanganlik chiziqlari qanday tuziladi va u nimani xarakterlaydi?
8. Kuchlanganlik vektor oqimi nima? Uning birligi qanday?
9. Maydon superpozitsiyasi printsipli nimadan iborat?

### 10-Mavzu. O'zgarmas elektr toki.

#### Reja:

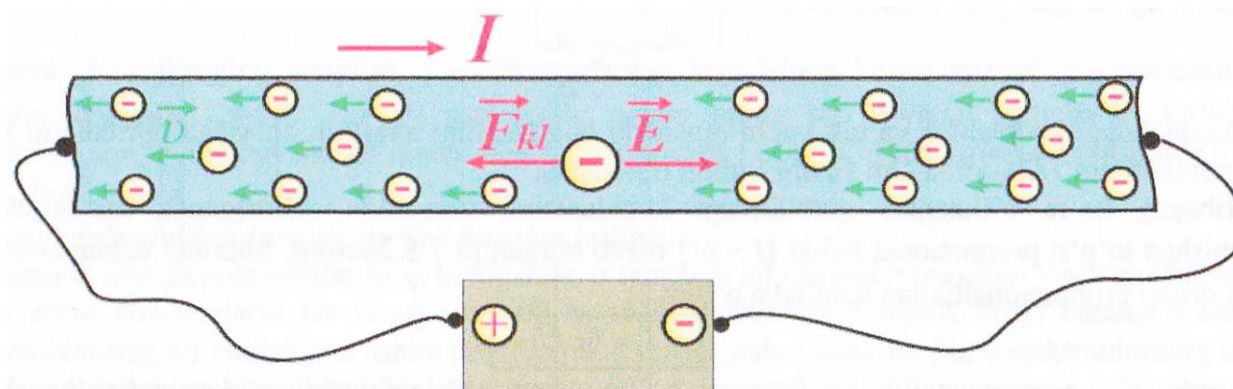
1. Elektr toki. Tok kuchi va uning zichligi
2. Tashqi kuchlar. Elektr yurituvchi kuch va kuchlanish
3. Om qonuni va uning integral hamda differentsial ko'rinishidagi ifodasi. O'tkazgichlar qarshiligi.
4. Tokning ishi va quvvati. Joule-Lens qonuni
5. Zanjirning bir jinslimas qismi uchun Om qonuni
6. Turli muhitlarda elektr toki.
- 7.

**Tayanch iboralar:** *elektr tok, konveksiya toki, tok kuchi, o'zgarmas tok, tok zichligi, nomustaqil gaz razryadi, gazlarning ionlanishi, nomustaqil gaz razryadi, ionlanish ishi, mustaqil gaz razryadi, elektron emissiya, fotonli ionlanish.*

Elektr zaryadini asosan elektronlar, protonlar, musbat va manfiy ionlar tashkil qiladi. Shulardan protonlar har doim qo'zg'almas holatda yadroda turgani sababli, ular ko'chmaydi va tok ham hosil qilmaydi. Umumiy holatda elektr tokini elektron, musbat va manfiy ionlar hosil qiladi. Shu jumladan, elektr toki metallarda erkin elektronlar harakati tufayli, elektrolitlarda elektronlar, anionlar va kationlar harakati

tufayli, yarimo‘tkazgichlarda, elektronlar va kovaklar harakati tufayli, vakuumda esa faqat elektronlar harakati tufayli paydo bo‘ladi. Metallarda atomlarning tashqi qobig‘idagi elektronlar yadro bilan juda zaif bog‘langan bo‘lgani sabab, bu elektronlar erkin elektronga aylanadi va butun kristall panjaralari orasida daydib yuradi. Bu erkin elektronlar u yoki bu atomga tegishli bo‘lmasdan, balki butun kristallga tegishli bo‘ladi. Metallarda erkin elektronlar konsentratsiyasi  $n=10^{25}-10^{29}$   $m^{-3}$  oralig‘ida bo‘ladi.

Tartiblangan holda, yo‘nalish olib harakatlanuvchi zaryadlar oqimini **elektr toki deyiladi**. Elektr maydon ta‘siri ostida o‘tkazgichdagi erkin zaryadlar harakatlanib, musbatlari maydon bo‘ylab, manfiylari esa teskari yo‘nalishda siljiy boshlaydilar. Buni o‘tkazuvchanlik toki deb ataymiz. O‘tkazuvchanlik toki elektr maydonining ta‘siri ostida hosil bo‘ladi. Bu holda, o‘tkazgichdagi zaryadlarning (elektrostatik) taqsimot muvozanati buziladi uning sirti va hajmi sohalari ekvipotensial bo‘lmay qoladi. O‘tkazgichning ichida elektr maydoni paydo bo‘ladi, uning sirtidagi maydon kuchlanganligining urinma tashkil etuvchisi esa  $\vec{E} \neq 0$  bo‘ladi. O‘tkazgichdagi zaryad taqsimoti uning barcha nuqtalari ekvipotensial holga kelmaguncha davom etadi. Agar tok fazodagi zaryadli makroskopik jismlarning siljishi tufayli hosil bo‘lsa, uni konveksiya toki deb yuritimiz.



10.1-rasm

Elektr tokining hosil bo‘lishi va barqaror turishi uchun eng avvalo erkin siljiy oladigan zaryadli zarrachalar bo‘lishi, so‘ngra esa ularni energiya bilan doimiy ta‘minlab turuvchi elektr maydoni mavjud bo‘lishi lozim. Elektr tashuvchi zaryadli zaryadlar quyidagilardan iborat:

Metallarda erkin elektronlar;

Elektrolitlarda musbat va manfiy zaryadli ionlar;

Gazlar va plazmada ionlar va elektronlar;

Yarimo'tkazgichlarda elektronlar va tirqishlar;

Tokning yo'nalishi sifatida shartli ravishda musbat zaryadlarning harakat yo'nalishi qabul qilingan.

Elektr tokini miqdoriy jihatdan xarakterlash uchun tok kuchi degan skalyar fizik kattalik kiritiladi. Vaqt birligi ichida o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasidan oqib o'tuvchi zaryad miqdorini aniqlovchi kattalikni tok kuchi deb ataymiz.

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

Agar vaqt o'tishi bilan tokning son qiymati va yo'nalishi o'zgarmasa uni **o'zgarmas tok** deyiladi.

$$I = dQ/dt \quad \text{agar } I = \text{const bo'lsa, } I = Q/t$$

Tok kuchining o'lchov birligi  $[I] - A(\text{amper})$

O'rganilayotgan sirtning turli nuqtalaridagi tok yo'nalishini va tok kuchining shu sirt bo'yicha taqsimlanishini xarakterlash uchun tok zichligi deb ataluvchi kattalik kiritiladi:

O'tkazgichning birlik ko'ndalang kesim yuzasidan o'tuvchi tok kuchining son qiymatini ko'rsatuvchi vektor fizik kattalikni **tok zichligi** deyiladi.

$$\vec{j} = \frac{dI}{dS}, \quad I = \frac{dQ}{dt} = ne \langle \vec{v} \rangle S$$

Shunda, tok zichligi:.

$$\vec{j} = ne \langle \vec{v} \rangle$$

Bunda  $\langle \mathcal{V} \rangle$  - o'tkazgichdagi zaryadlar tartibli harakatining o'rtacha arifmetik tezligi,  $n$  - tok tashuvchi zarrachalar konsentratsiyasi;  $e$ -elementar zaryad.

Tok zichligining o'lchov birligi:  $[j]=A/m^2$  .

Istalagan  $S$  sirt orqali o'tuvchi tok kuchi  $\vec{j}$  vektorning oqimi sifatida aniqlanadi:

$$I = \int j \, dS$$

Bunda  $d\vec{S} = \vec{n}dS$  ( $\vec{n}$  –  $dS$  yuzaga o'tkazilgan birlik normal vektor)

Agar  $S$  berk sirt bo'ylab,  $d\vec{S}$  vektor hamma joyda tashqi  $\vec{n}$  normal bo'yicha o'tkazilgan bo'lsa, unda:  $dQ = -Idt$ .  $\oint \vec{j} \, d\vec{S} = -\frac{dQ}{dt}$

Bu tenglamani **uzilmaslik tenglamasi** deyiladi. Agar tok o'zgarmas bo'lsa, zaryad  $Q = const$  va  $\oint \vec{j} \, d\vec{S} = 0$  shart bajariladi.

### Tashqi kuchlar.

#### Elektr yurituvchi kuch va kuchlanish

O'zgarmas elektr toki mavjud bo'lishi uchun zanjirda, noelektrik tabiatli kuchlar bajaradigan ish hisobiga, doimiy potentsiallar farqi hosil qilib turuvchi qurilma bo'lishi kerak. Bunday qurilma **generator** yoki **tok manbai** deb ataladi. Tok manbai tomonidan zaryadlarga ta'sir etuvchi noelektrik tabiatli kuchlarni esa **tashqi kuchlar** deyiladi. Tashqi kuchlarning tabiati turlicha bo'lishi mumkin.

O'zgarmas tok generatorida bu kuchlar magnit maydon va yakorning aylanish mexanik energiyalari hisobiga hosil bo'ladi;

Akkumulyator va galvanik elementda kimyoviy reaksiyalar tufayli paydo bo'ladi;

Yarimo'tkazgichli fotoelementda elektromagnit energiya yorug'lik hisobiga vujudga keladi.

Tashqi kuchlar tomonidan musbat birlik zaryadni ko'chirishda bajariladigan ishni aniqlovchi fizik kattalik zanjirda ta'sir qiluvchi **elektr yurituvchi kuch (E.Yu.K.)** deb yuritiladi.

$$\varepsilon = A/Q_0$$

Bu holda ish tok manbai energiyasining sarflanishi hisobiga bajariladi. Tashqi kuch tomonidan  $Q_0$  zaryadga ta'sir etuvchi kuch quyidagiga teng:

$$\vec{F}_m = \vec{E}_m Q_0$$

bunda  $\vec{E}$  - tashqi kuchlar maydonining kuchlanganligi. Zanjirning berk qismida  $Q_0$  zaryadni ko'chirishda bajariladigan ishni aniqlaymiz:

$$A = \oint \vec{F}_m d\vec{l} = Q_0 \oint \vec{E}_m d\vec{l}$$

yoki

$$\varepsilon = \oint \vec{E}_m d\vec{l}$$

Zanjirning chegaralangan 1-2 qismi uchun esa:

$$\varepsilon_{12} = \int_1^2 \vec{E}_T d\vec{l}$$

$Q_0$  zaryadga tashqi kuchlardan tashqari elektrostatik maydon kuchlari ham taʼsir qiladi.

$$\vec{F}_e = Q_0 \vec{E}$$

$$\vec{F} = \vec{F}_t + \vec{F}_e = Q_0 (\vec{E}_m + \vec{E})$$

Yoki

$$A_{12} = Q_0 \int_1^2 \vec{E}_m d\vec{l} + Q_0 \int_1^2 \vec{E}_m d\vec{l}$$

Bundan esa quyidagi formulani hosil qilamiz:

$$A_{12} = Q_0 \varepsilon_{12} + Q_0 (\varphi_1 - \varphi_2)$$

Berk zanjirda elektrostatik kuchlarning bajargan ishi nolga teng. Shu sababli:

$$A_{12} = Q_0 \varepsilon_{12}$$

Zanjirning biror chegaralangan qismida birlik musbat zaryadni koʻchirishda natijaviy maydon kuchlari tomonidan bajaradigan ishni aniqlovchi skalyar fizik kattalikni zanjirning shu qismidagi **kuchlanishi** deyiladi.

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}$$

Agar zanjirning qaralayotgan qismida EYuK boʻlmasa:

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$$

unda kuchlanish zanjirning shu qismidagi potentsiallar farqiga teng boʻladi.

**Zanjirning bir qismi uchun Om qonuni:**

O'tkazgich uchlaridagi potentsiallar ayirmasi yoki kuchlanish deb, bir birlik musbat zaryadni o'tkazgich bo'ylab ko'chirishda o'tkazgichdagi elektr maydoni kuchning bajargan ishiga miqdor jihatidan teng bo'lgan fizik kattalikka aytiladi.

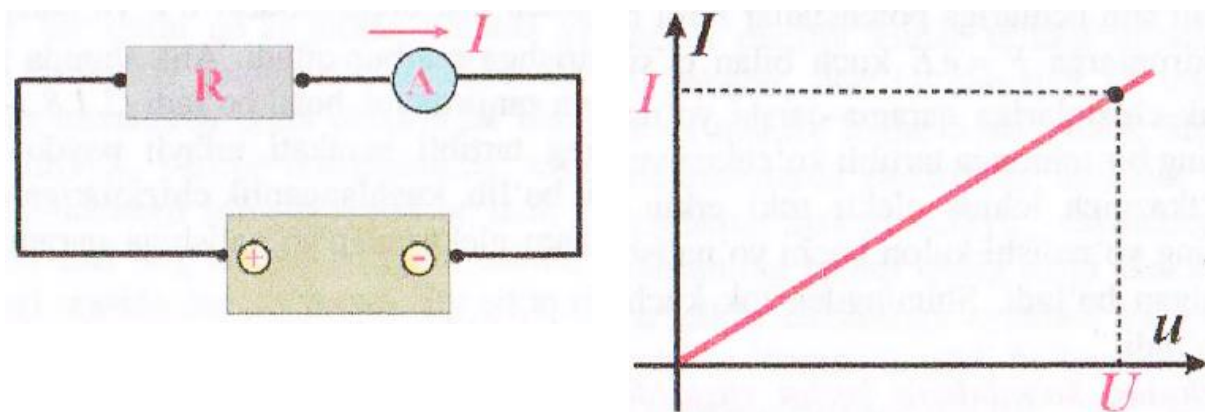
$$U = \frac{A}{q}$$

O'tkazgichdagi kuchlanish va tok kuchi orasidagi bog'lanishni aniqlash bo'yicha tajribalami birinchi bo'lib nemis fizigi 1826-yilda Om Georg Simon o'tkazgan.

Tajribaga ko'ra o'tkazgich qutblaridagi kuchlanishni asta-sekin oshirilganda tok kuchi ham kuchlanishga to'g'ri proporsional holda ( $I \sim U$ ) oshib borgan (10.2-rasm). Shuning uchun koeffitsiyent kiritish orqali proporsionallikdan tenglikka o'tildi.

$$I = GU$$

Bu yerda: **G - proporsionallik koeffitsiyenti bo'lib**, unga *o'tkazgichning o'tkazuvchanligi* deyiladi. O'tkazuvchanlik qancha yaxshi bo'lsa, ayni bir kuchlanishda o'tkazgichdan shuncha katta tok o'tadi.



10.2-rasm

Amaliy hisoblashlarda o'tkazuvchanlikka teskari bo'lgan ifoda – o'tkazgich qarshiligi ishlatiladi.

$$R = \frac{1}{G}$$

Turli xil o'tkazgichlar zanjirdan o'tayotgan tokni turlicha cheklaydi yoki tokka turlicha qarshilik ko'rsatadi.

O'tkazgichning zanjirdagi tokni cheklash xossasiga o'tkazgich qarshiligi deyiladi.

O'tkazgich qarshiligi  $R$  orqali tok kuchi  $I$  ning kuchlanish  $U$  ga bog'liqligi quyidagicha bo'ladi:

$$I = \frac{U}{R}$$

Yuqoridagi bog'lanishni birichi bo'lib G.S.Om aniqlagani uchun bu bog'lanish uning sharafiga *zanjirning bir qismi uchun Om qonuni* deb ataladi. Bu qonun quyidagicha ta'riflanadi:

Zanjirning bir qismidan o'tayotgan tokning kuchi o'tkazgich uchlaridagi kuchlanishga to'g'ri proporsional va o'tkazgichning qarshiligiga teskari proporsionaldir.

O'tkazgichning qarshiligi uning geometrik o'lchamlariga va material turiga bog'liq bo'lgan kattalikdir. O'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasi qancha katta bo'lsa, erkin elektronlar yugurishi uchun shuncha keng yo'lakcha qilib qo'yilgan va bu elektronlar bir-biriga turtilmasdan Shuncha bemaol yugurishadi deb fikr yuritsak, qarshilik o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasiga teskari proporsional degan xulosaga kelamiz. O'tkazgich uzunligi qancha uzun bo'lsa, erkin elektronlar bu uzun yo'lda Shuncha ko'p kristal panjaralaridagi tugunlar bilan to'qnashadi deb fikr yuritsak, qarshilik o'tkazgichning uzunligiga to'g'ri proporsional degan xulosaga kelamiz.

O'tkazgich qarshiligi o'tkazgichning geometrik o'lchamlariga va materila turiga quyidagicha bog'langan:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Bu yerda:  $l$ -o'tkazgich uzunligi;  $S$  – o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasi;  $\rho$  – o'tkazgichning solishtirma qarshiligi bo'lib, har xil materiallar uchun uning son qiymati turlichadir. Solishtirma qarshilikning son qiymatlari har xil materiallar uchun ilovada berilgan. Solishtirma qarshilikning o'lchov birligi  $[\rho] = [om \cdot m]$

## Tokning ishi va quvvati. Joule-Lens qonuni

O'tkazgichdan elektr toki o'tganda zaryadlar potentsiali katta bo'lgan nuqtadan potentsiali kichik bo'lgan nuqtaga ko'chadi. Boshqacha aytganda o'tkazgich ichidagi elektr maydoni erkin zaryadlarni katta potentsiilli nuqtadan kichik potentsiilli nuqtaga ko'chiradi. O'tkazgich uchlaridaga potentsiillar ayirmasi kuchlanish  $U$  ga teng bo'lganda elektr maydonining  $t$  vaqt davomida  $q$  zaryadni katta potentsiilli nuqtadan kichik potentsiilli nuqtaga ko'chirishda bajargan ishi quyidagicha bo'ladi:

$$A = qU = IUt$$

Yuqoridagi formulani yana boshqa ko'rinishlarda ham ifodalash mumkin.

$$A = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t$$

Energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra elektr tokining bajargan ishi atrofdagi energiya o'zgarishiga teng bo'lishi kerak. Boshqacha aytganda, elektr tokining bajargan ishi issiqlikka aylanadi, ya'ni tokning bajargan ishi o'tkazgichda ajralib chiqqan issiqlik miqdoriga teng bo'ladi. Yuqoridagi formulani quyidagicha yozish ham mumkin:

$$Q = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t$$

Yuqoridagi formulani Joule va Lenslar alohida-alohida topganliklari uchun ularning sharafiga **Joule-Lens qonuni** deyiladi.

**Joule-Lens qonuni:** O'tkazgichda ajralib chiqqan issiqlik miqdori o'tkazgichdagi tok kuchi kvadrati, o'tkazgich qarshiligi va tok o'tib turish vaqtlari ko'paytmasiga tengdir.

Elektr zanjirining biror qismida elektr energiyasining boshqa turdagi energiyasiga aylanish tezligini xarakterlovchi kattalikka tokning quvvati deyiladi. U holda tokning quvvati  $P$  deb tok o'tib turgan  $t$  vaqtda bajarilgan  $A$  ishga yoki shu vaqtda o'tkazgichda ajralib chiqqan issiqlik miqdori  $Q$  ga aytiladi.

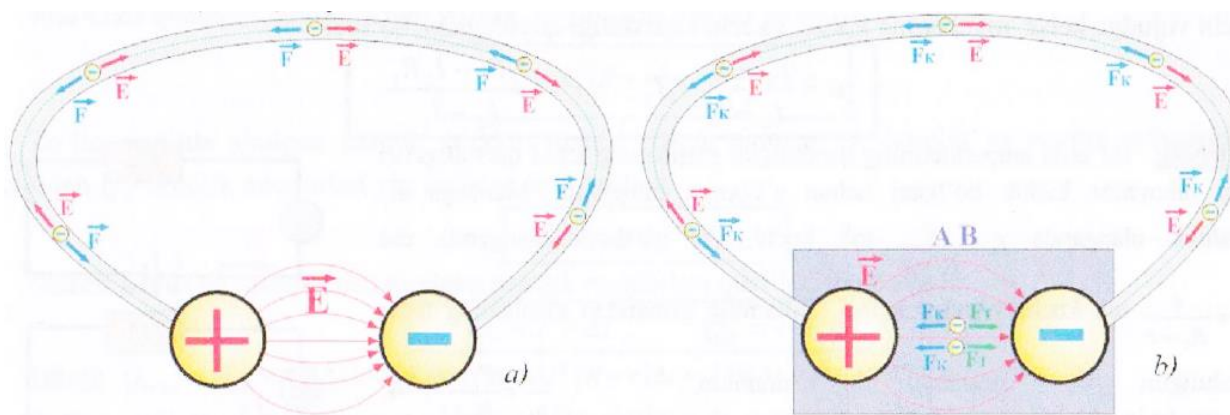
$$P = \frac{A}{t} = \frac{Q}{t}; \quad P = IU = I^2R = \frac{U^2}{R}$$



Shuni ta'kidlash kerakki, iste'molchilar ketma-ket ulanganda hosil bo'ladigan natijaviy quvvat har bir iste'molchi pasportida yozilgan quvvatlarning eng kichigidan ham kichikroq chiqadi.

### Manbaning EYuK:

Ikkita sharcha turli ishorali zaryadlar bilan bir xil miqdorda zaryadlangan boisin. Ularni bir-biriga tekizilganda Kulon kuchlari ta'sirida bu sharchalar tezda neytrallashadi. Manfiy zaryadlangan sharchadagi ortiqcha elektronlar Kulon kuchlari bo'yicha va elektr maydon kuch chiziqlariga qarama-qarshi yo'nalishda musbat zaryadli sharchaga tomon harakatlanadi (10.3-a, rasm). Musbat zaryadli sharchaga yetib kelgan elektronlar yetishmayotgan elektronlarni to'ldirib neytrallashadi. Musbat va manfiy zaryadli Sharchalar sim bilan tutashtirilganda qisqa vaqt davomida simlarda elektr toki paydo bo'ladi. Sharchalar neytrallashganda esa tok o'tishi ham to'xtaydi. Har doim tok oqib turishi uchun har doim sharchalarda musbat va manfiy zaryadlar mavjud bo'lishi kerak. Buning uchun tashqi biror kuch elektronlarni (+) qutbdan sug'urib olib, ularni Kulon kuchlari yo'nalishiga qarama-qarshi va elektr maydon yo'nalishi bo'yicha (-) qutbga ko'chirib ish bajarish kerak (10.3-b, rasm). Shundagina har doim (+) va (-) qutblar orasida potentsiallar mavjud bo'ladi va yopiq sistemada tok beto'xtov aylanadi.



10.3-rasm

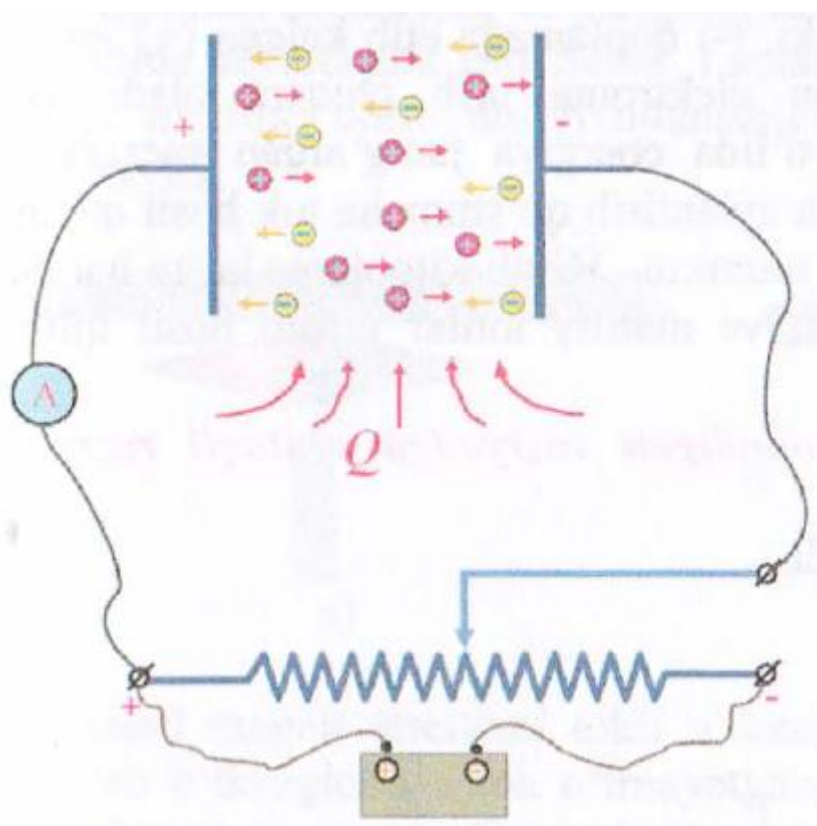
Kulon kuchidan tashqari barcha kuchlar tashqi kuch bo'lishi mumkin. Masalan, galvanik elementlarda ximiyaviy kuchlar Kulon kuchlariga qarshi ish bajaradi. Tashqi kuchlarning zaryadlarga ta'sirini *elektr yurituvchi kuch (EYuK)* deyiladi.

Berk konturdagi EYuK miqdor jihatidan tashqi kuchlarning birlik musbat zaryadni berk kontur bo‘ylab ko‘chirishda bajargan ishiga tengdir.

$$\varepsilon = \frac{A_{tash}}{q} \left[ \frac{J}{Kl} = V \right]$$

Zanjir ochiq bo‘lganda manbaning EYuK uning qutblaridagi potentsiallar ayirmasiga teng bo‘ladi. Shuning uchun ham EYuK xuddi kuchlanish kabi voltlarda o‘lchanadi.

Elektr tokining gazlar orqali o‘tishiga gaz razryadi deyiladi. Normal sharoitda barcha gazlar yaxshi izolyator hisoblanishadi. Agar biror tashqi fizik ta‘sir ionlagich (ultrabinafsha nurlar, rentgen nurlari, qizdirish va h.k) vositasida gazlarni ionlashtirsak, faqat shundagina ular elektr tokini o‘tkazuvchi muhitga aylanadi. 10.4-rasmda tasvirlangan zanjir orqali elektr toki oqishini ta‘minlash uchun, elektrodlar oralig‘iga zaryad tashuvchilar kiritish yoki biror usul bilan elektrodlar orasidagi gazda zaryad tashuvchilar vujudga keltirilishi kerak.



10.4-rasm

Ma'lumki, gazlarda elektronlarning o'z atomlari bilan o'zaro ta'sir kuchi birmuncha katta. Elektronlarni atomdan ajratib olish uchun tashqi kuch  $A = e(\varphi_i - \varphi_m)$  bilan aniqlanuvchi ishni bajarishi lozim. Yadroning atom tashqarisidagi potentsiali  $\varphi_m = 0$  bo'lgani sababli tashqi kuchning bajargan ishi quyidagicha yoziladi:  $A_i = e\varphi_i$  Bu ifoda **ionlashish ishini** bildiradi. Bunda  $\varphi_i$  – ionlanish potentsiali. Turli gaz atomlari bir-biridan ionlanish potentsiali bilan farq qiladi. Masalan vodorod uchun  $\varphi = 13,5V$ , geliy uchun esa  $\varphi_i = 24,5V$  ga teng.

Gaz razryadining xarakteri quyidagi faktlarga bog'liqdir:

Gaz va elektrodning kimyoviy tabiatiga;

Gazning bosimi va temperaturasiga;

Elektrodning shakli, o'lchami va o'zaro joylashuviga;

Elektrodlar orasidagi kuchlanishga;

Tokning zichligi va quvvatiga;

Gazdagi zaryad tashuvchilar tashqi faktorlar tufayli vujudga kelishi natijasida kuzatiladigan elektr tokini **nomustaqil gaz razryad** deyiladi. Unga boshqacha ta'rif berish ham mumkin:

Ionlagich ta'siri to'xtagach gazdagi tokning o'tishi yo'qoladigan elektr o'tkazuvchanlikni **nomustaqil gaz razryad** deb ataymiz.

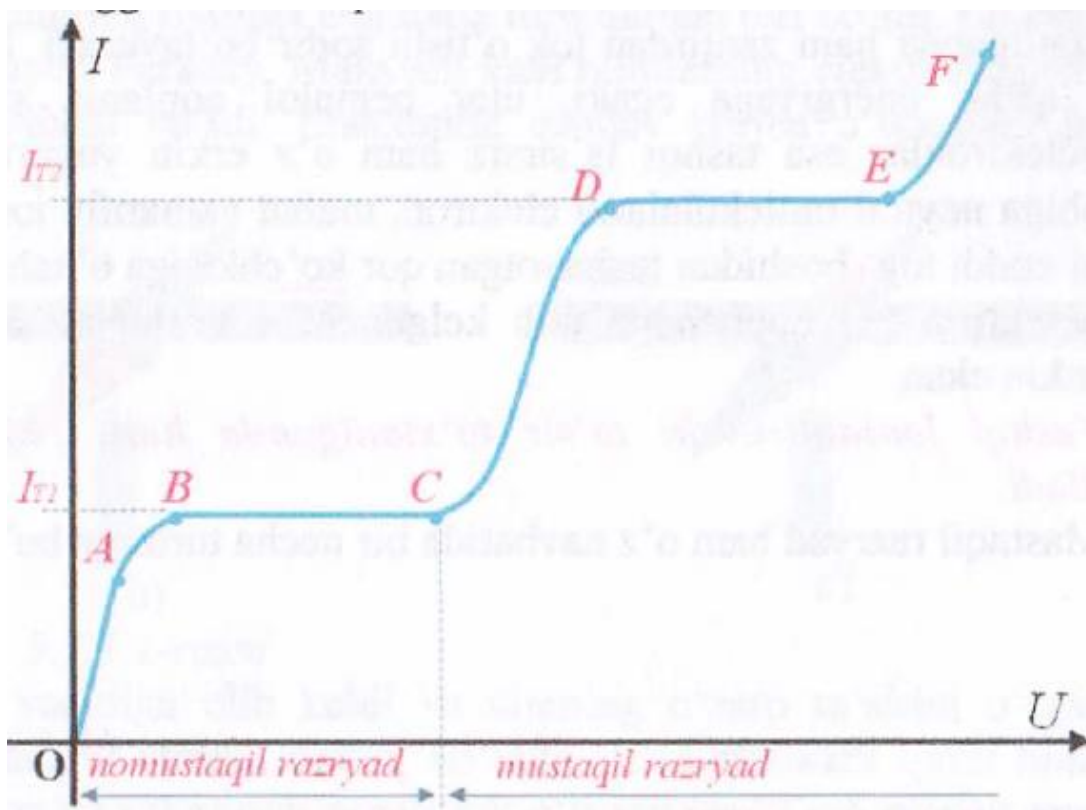
Ionlanish protsessi bilan bir qatorda gazda rekombinatsiya jarayoni ham sodir bo'ladi. Rekombinatsiya ionlanishga teskari jarayon bo'lib, bunda musbat va manfiy ionlarning yoki elektron va musbat ionning to'qnashuvi natijasida neytral molekular hosil bo'ladi. Agar  $M$  va  $N$  elektrodga berilgan kuchlanish yetarlicha katta bo'lsa, unda ionizator ta'sirida vujudga kelayotgan ionlarning deyarli hammasi rekombinatsiyalanishga ulgurmasdanq elektrodga yetib oladi.

Ionizator ta'sirida gazning birlik hajmida birlik vaqtda  $n$  juft ion vujudga keladi. Bir-biridan  $l$  uzoqlikda joylashgan  $S$  yuzli ikki elektrod orasidagi hajm  $Sl$  ga teng bo'lgani uchun,  $\Delta t$  vaqt ichida umumiy zaryad  $Q = qnSl\Delta t$  bo'lgan ionlar vujudga keladi. Bu ionlarning hammasi tok tashishda qatnashadi.

To'yinish tokining zichligi quyidagi formula orqali ifodalanadi:

$$j = \frac{Q}{S\Delta t} = qnl$$

10.5-rasmda  $j = f(E)$  bog‘lanish diagrammasi berilgan.



10.5-rasm

Grafikning  $O_a$  qismi kuchsiz elektr maydonga mos keladi. Bunday maydonlarda zaryad tushuvchilar kichik tezliklar bilan harakatlanib, ko‘pincha elektrodlanga yetib bormasdan, rekombinatsiyalashadi. Lekin elektr maydon kuchaygani sari ionlar tezligi ortib, tokning ortishiga sabab bo‘ladi. Bu sohada  $j$  va  $E$  orasidagi bog‘lanish Om qonuniga bo‘ysunadi.  $ab$  qismida esa  $j$  ning  $E$  ga chiziqli bog‘liqligi buziladi. Grafikning bu qismini oraliq soha yoki o‘tish sohasi deyiladi.  $bc$  qismi esa to‘yinish tokiga mos keladi. Maydon kuchlanganligi

$E_b \leq E \leq E_c$  bo‘lganda ionizator ta‘sirida vujudga kelgan ionlarning hammasi tok tashishda qatnashadi.

Lekin maydon kuchlanganligi  $E_c$  dan ortganda zarbdan ionlanish tufayli tok keskin ortadi.

## Mustaqil gaz razryadi va uning turlari.

Tashqi ionlagich ta'siri to'xtatilgandan so'ng ham elektr maydon mavjud bo'lgan gazli muhitda tok o'tishi davom etadigan razryad mustaqil razryad deyiladi. Mustaqil razryad hosil bo'lish sharti bilan tanishamiz. Yuqori kuchlanish ostidagi elektronlar katta kinetik energiyaga ega bo'lib qoladilar. Ular neytral gaz molekulalari bilan to'qnashib, uni ionlashtiradilar. Chunki kuchlanganligi  $E$  bo'lgan elektr maydoni  $q$  zaryadli tok tashuvchi (ion yoki elektron) ga  $F = qE$  kuch bilan ta'sir etadi. Bu kuch ta'sirida tok tashuvchi ikki ketma-ket to'qnashuv orasida erkin bosib o'tilgan  $l$  yo'lda  $W_k = qEl$  kinetik energiyaga erishadi. Agar bu energiya gaz molekulasining ionlanishi uchun bajarilishi lozim bo'lgan  $A_i$  ishdan katta bo'lsa, ya'ni  $W_k > A_i$  shart bajarilsa, tok tashuvchining neytral molekula bilan to'qnashishi natijasida molekula ikki qismga—erkin elektronga va musbat zaryadlangan ionga ajraladi (10.5-rasm).

Musbat ionlar katodga, elektronlar esa anodga tomon harakatlanadi. Ikkilamchi elektronlar gaz molekulalarini ionlashda davom etadi va buning natijasida elektron va ionlarning umumiy soni tobora oshib boradi. Bu jarayonni **zarbdan ionlanishi** deb aytiladi.

Lekin tashqi ionlagich chetlashtirilgach, elektron ta'sirida sodir bo'ladigan zarbdan ionlanish—razryadni ta'minlashga kifoya qilmaydi. Razryad davom etishi uchun qaysidir jarayonlar ta'sirida gazda doimo yangi elektronlar hosil bo'lib turishi shart.

1. Gazdagi musbat zaryadli ionlar elektr maydon ta'sirida ancha katta energiyaga erishgach, katodga urilish natijasida elektrodan elektronlar ajralib chiqadi. (2-jarayon). Buni **ikkilamchi elektron emissiya** deb ataladi.

2. Zarbdan ionlanish natijasida vujudga kelgan ion uyg'otilgan holatda bo'lishi mumkin. Bu ion uyg'otilgan holatdan asosiy holatga o'tayotganda qisqa to'lqin uzunlikda nur chiqaradi. Bunday nur energiyasi molekulaning ionlanishiga yetarli bo'lib qolganda **fotoionlanish hodisasi** ro'y beradi (3-jarayon).

3. Neytral molekula fotonni yutib, ionlanib qoladi. Buning natijasida molekulaning **fotonli ionlanish** jarayoni sodir bo'ladi. (4 jarayon).

4. Bundan tashqari foton katoddan elektronni urib chiqarish oqibatida ham gaz razryadi kuzatilishi mumkin (5-jarayon).

5. Elektrodlar orasidagi kuchli elektr maydon ( $E \approx 10^8 V/m$ ) metallardan elektronlarni yulib olishi (**avtoelektron emissiya**) tufayli gaz razryadi paydo bo'ladi (6-jarayon).

1) **Yorqin razryad** kichik bosimda hosil bo'ladi. Uni, naycha ichidagi gaz bosimi  $0,1mm$  simob ustuniga, elektrodga berilgan kuchlanish esa bir necha yuz voltga teng bo'lganda kuzatish mumkin. Katodga yaqin joylashgan, nurlanish sodir bo'layotgan sohani katod qorong'u fazasi deyiladi. Razryadning qolgan (anodgacha davom etgan) qismida miltillagan nurlanish kuzatiladi. Uni nurlanuvchi anod ustuni deyiladi. Naydagi gazni o'zgartirganda nurlanishning rangi ham o'zgaradi. Masalan, neon-qizil, argon-ko'kish, geliy sariq rangdagi nurlanish beradi. Yorqin razryadning bu xususiyatlaridan kunduzgi yorug'lik lampalarida, vitrinalarni yoritish va bezash maqsadlarida foydalaniladi.

2) **Uchqunli razryad**. Agar atmosfera bosimidagi gazda juda katta ( $E \approx 3 \times 10^6 V/m$ ) kuchlanganlikli elektr maydoni hosil qilinganda, unda qisqa vaqt davom etadigan uchqunli razryadni kuzatish mumkin. **Eng ulkan uchqun razryad-yashindir**. Yashin bulutlar orasida yoki bulut bilan yer oralig'ida katta potentsiallar farqi vujudga kelishi natijasida paydo bo'ladi. Uchqun yaqinidagi gaz yuqori temperaturalargacha qiziydi va keskin kengayadi. Bu esa o'z navbatida tovush to'lqinlarining vujudga kelishiga sabab bo'ladi. Yashinning uzunligi  $50km$  gacha, tok kuchi esa  $20000A$  gacha yetadi. Shuning uchun ham yashin tufayli vujudga keladigan tovush, ya'ni momoqaldiraq juda kuchli bo'ladi.

3) **Yoy razryad**. Agar kuchli manbadan uchqunli razryad olib, so'ngra elektrodlar orasidagi masofani kamaytirsak razryad uzviy razryadga aylanadi. Natijada yoy razryad hosil bo'ladi. Bunda tok kuchi keskin ortib bir necha yuz amperga yetadi, razryad oralig'idagi kuchlanish esa bir necha o'n voltga pasayadi. Bunda elektrodning temperaturasi ( $2500 - 4000$ )°C gacha ko'tariladi.

Temperaturaning bu qadar ko'tarilishi metallarni payvandlashda, kuchli yorug'lik tarqatilishi esa yoy lamapalarda foydalaniladi.

4) **Tok razryad.** Nihoyatda kuchli, notekis elektr maydoni ta'siri ostida kuzatiladi. Masalan katta kuchlanishli tokga ega bo'lgan elektr toklarni o'tkazuvchi va yer dan tashkil topuvchi tizimni-kondensatorning ikki qoplamasi deb olish mumkin. Bu kondensatordagi elektr maydon notekis bo'lib, maydon kuchlanganligi sim yaqinida juda katta qiymatga erishadi. Shuning uchun bu sohada simni har tomondan o'rab oluvchi nurlanish tok razryad paydo bo'ladi. Tok razryad shuningdek, elektrodning uchlik qismlarida, kema machtalari va daraxtlarning uchlarida ham kuzatiladi.

### **Plazma haqida tushuncha.**

Yuqori darajada ionlashgan, lekin kichik makroskopik hajmda elektroneytral (ya'ni musbat va manfiy zaryadlar soni amalda o'zaro teng) bo'lgan gaz plazma deb ataladi. Ionlashganlik darajasi  $\alpha = 1$  bo'lsa, plazma to'liq, aks holda to'liqsiz ionlashgan bo'ladi. Plazmani ikki usul bilan hosil qilish mumkin:

1. O'ta yuqori temperaturalargacha qizdirilgan gaz molekulasi o'zaro to'qnashuvlari tufayli ionlanish sodir bo'ladi. Masalan  $T > 10000K$  da har qanday modda plazma holatida bo'ladi. Barcha yulduzlar, xususan quyosh ham ana shunday yuqori temperaturali plazmadan iborat.

2. Gazdan elektr tok o'tishi (elektr razryad) jarayonida ham plazma hosil bo'ladi. Lekin, bunda ionlar elektronlarning temperaturalari keskin farq qiladi. Masalan, yorqin razryadda elektronlar temperaturasi  $10000K$  bo'lsa, ionlar temperaturasi esa  $2000K$  dan ortmaydi.

Yerning ionosferasidagi plazma Quyosh nurlanishi tufayli atmosferadagi gaz molekulalarining fotoionlashuvi natijasida vujudga keladi. Plazma radioto'lqinlarni qaytaradi, chunki u elektromagnit maydon bilan ta'sirlashadi.

Plazmaning eng asosiy xususiyati uning kvazineytralligidir. Plazmada katta elektr maydonlar vujudga kelmaydi. Buning sababi quyidagicha: plazmaning biror qismida ionlarning to'planib qolishi natijasida vujudga kelgan elektr maydon chiqib ketayotgan elektronlarga tormozlovchi ta'sir ko'rsatadi, so'ng ularni orqaga

qaytaradi. Shu tarzda elektronlarning tebranish harakati vujudga keladi. Bu tebranishlarning chastotasi va amplitudasi quyidagicha aniqlanadi:

1. Plazma tebranishlarining chastotasi (**Lengmor chastotasi**):

$$\omega = \sqrt{\frac{e^2 n_e}{\epsilon_0 m_e}}$$

bunda  $e$  –elektron zaryadi,  $m_e$ – uning massasi,  $n_e$ – elektronning konsentratsiyasi.

2. Plazmada zaryadlar fazoviy ajraladigan masofaning maksimal qiymati (**Debay radiusi**):

$$\lambda_d = \sqrt{\frac{\epsilon_0 k T_e}{e^2 n_e}}$$

Bunda  $k$  – Boltsmann doimiysi,  $T_e$ – plazmadagi elektronlarning termodinamik temperaturasi.

Debay radiusi  $\lambda_d$  zaryadlarning fazoviy ajralish masshtabini, plazma chastotasi  $\omega$  esa zaryadlarning ajralmagan holatga qaytish davrini, ya'ni plazmaning zaryad jihatdan neytralligini tiklash davrini xarakterlaydi. Bu ikki kattalik plazmaning asosiy xarakteristikalari hisoblanadi.

Plazmadan yaqin kelajakda quyidagi yo'nalishlarda foydalanish mumkin:

1. Boshqaruvchi termoyadro reaksiyalarida;
2. Magnitogidrodinamik generatorlarda.

### **Sinov savollari:**

1. Om qonunining differentsial ko'rinishini keltirib chiqaring
2. Joule-Lenz qonunining differentsial shaklni hosil qiling
3. Tokning solishtirma issiqlik quvvati qanday fizik ma'noni anglatadi?
4. Umumlashgan Om qonunini tahlil qilib bering
5. Tugun tushunchasini yoriting
6. Kirxgofning birinchi qoidasini ta'riflang, u qanday qonunga asoslanadi?
7. Kirxgofning ikkinchi qoidasini ta'riflang, u qanday qonunga asoslanadi?



8. Agar zanjirga  $n$ -dona bir xil  $\varepsilon$  E.Yu.K.li manbalar o‘zaro ketma-ket ulansa natijaviy  $\varepsilon_H$  nimaga teng bo‘ladi?
9. Agar zanjirga  $n$ -dona  $\varepsilon$  E.Yu.K. parallel tarzda ulasak  $\varepsilon_H$  qanday bo‘ladi?
10. Kirxgof qoidalarini ifodalovchi tenglamalar qanday tuziladi?
1. Ionlanish va rekombinasiya jarayonlarini tushuntiring?
2. Mustaqil va nomustaqil gaz razryadlarning farqi nimada? Ularning mavjud bo‘lish shartlarini aytib bering?
3. Mustaqil gaz razryadda to‘yinish toki, hosil bo‘la oladimi?
4. Mustaqil gaz razryad turlarini sanab bering. Ularning har birining o‘ziga xosligi nimada?
5. Yashin qanday gaz razryadga mansub?
6. Gaz razryadning xarakteri qanday faktorlarga bog‘liq?
7. To‘yinish tokining zichligi nimalarga bog‘liq?
8. Yoy razryaddan qanday maqsadlarda foydalaniladi?
9. Plazma qanday hosil bo‘ladi?
10. Plazmaning asosiy xossalari aytib bering?
11. Yarim o‘tkazgichlarning metallardan prinsipial farqi nimadan iborat?
12. Faollashtirish energiyasi nima?
13. Yarim o‘tkazgichlardagi elektronlarning konsentratsiyasi nimalarga bog‘liq?
14. Yarim o‘tkazgichlar o‘tkazuvchanligi deformatsiyaga qanday bog‘liq?
15. Yarim o‘tkazgichlarga misollar keltiring?
16. «Bo‘sh» joy hosil bo‘lish mazmunini tushuntiring?
17. Yarim o‘tkazgichlarda aralashma moddaning roli qanday?
18. Donor va aktseptor aralashmani farqlab bering?
19. Yarim o‘tkazgichlarning qo‘llanilishi haqida tushuntirib bering?
20. Yarim o‘tkazgichli triod yoki tranzistorning ishlash prinsipini tushuntiring?
21. Nima sababdan elektronlarning issiqlik xarakati tufayli elektr toki xosil bo‘lmaydi.
22. Metallar elektr o‘tkazuvchanligining klassik nazariyasidan foydalanib, Om qonunining differensial ko‘rinishini keltirib chiqaring

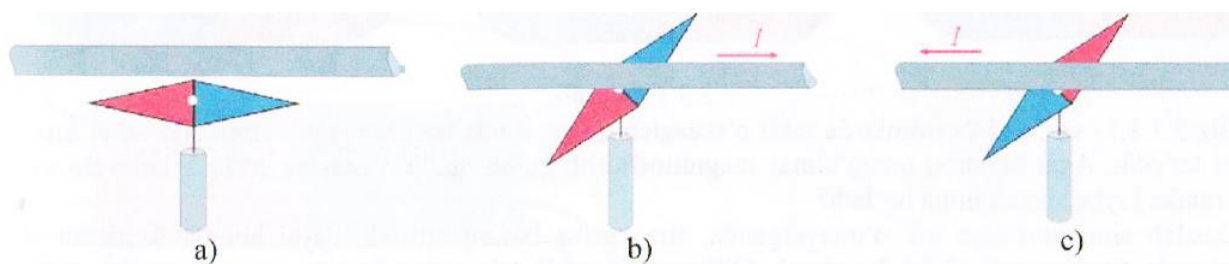
23. Metallar elektr o'tkazuvchanligining klassik nazariyasi metallar qarshiligining temperaturaga bog'liqligini qanday tushuntiradi
24. Videman-Frants qonunini ta'riflang
25. Elektronning metaldan chiqish ishi sababini va chiqish ishini son qiymati qanday faktorlarga bog'liq bo'lishini ayting
26. Vakuimli diodning volt - amper xarakteristikasini tushuntirib bering?
27. Boguslavskiy-Lengmyur qonuni nimadan iborat? Richardson-Deshman formulasini yozing?
28. Kontakt potentsiallar farqi hosil bo'lishining sababi nimada?
29. Zebbek effekti nima?
30. Pelte va Tomson effektlarini ta'riflang?

**11- Mavzu. Magnit maydon. Elektromagnit induksiya hodisasi**  
**Reja:**

1. Magnit maydon va uning xarakteristikalari
2. Bio-Savar-Laplas qonuni va uning magnit maydonlarini hisoblash uchun qo'llanilishi.
3. Amper qonuni. Parallel toklarning o'zaro ta'sirlashuvi.
4. Harakatdagi zaryadning magnit maydoni. Lorens kuchi.
5. Magnit induksiya vektori oqimi. Magnit maydon uchun Gauss teoremasi.
6. Tokli o'tkazgichni magnit maydonida ko'chirishda bajariladigan ish.
7. Elektromagnit induksiyasi hodisasi. Faradeyning qonuni
8. Magnit maydonida aylanuvchi ramka.
9. Konturning induktivligi. O'zinduksiya
10. O'zaro induksiya.
11. Magnit maydon energiyasi
12. Uyurmali elektr maydon

***Tayanch iboralar:** Magnit maydon, Kuchning aylantiruvchi momenti, magnit induksiya chiziqlari, Bio-Savar-Laplas qonuni. Elektromagnit induksiyasi hodisasi, EYuK, Magnit maydonda aylanuvchi ramka, Lens qoidasi.*

Elektr tokining magnit ta'siri 1820 yilda Daniyalik fizik Ersted tomonidan tajriba yo'li bilan aniqlandi va o'rganildi. Erstedning bu yangiligi fizika fanining rivojiga eng katta turtkilardan biri bo'ldi. Bu esa o'z navbatida keyinchalik Bio, Savar, Laplas, Amper, Faradey, Maksvell kabi olimlarning elektromagnetizm ustida ish olib borib uni rivojlanishiga sababchi bo'ldi. Erstedning qanday tajriba o'tkazgani bilan tanishaylik (11.1-rasm).



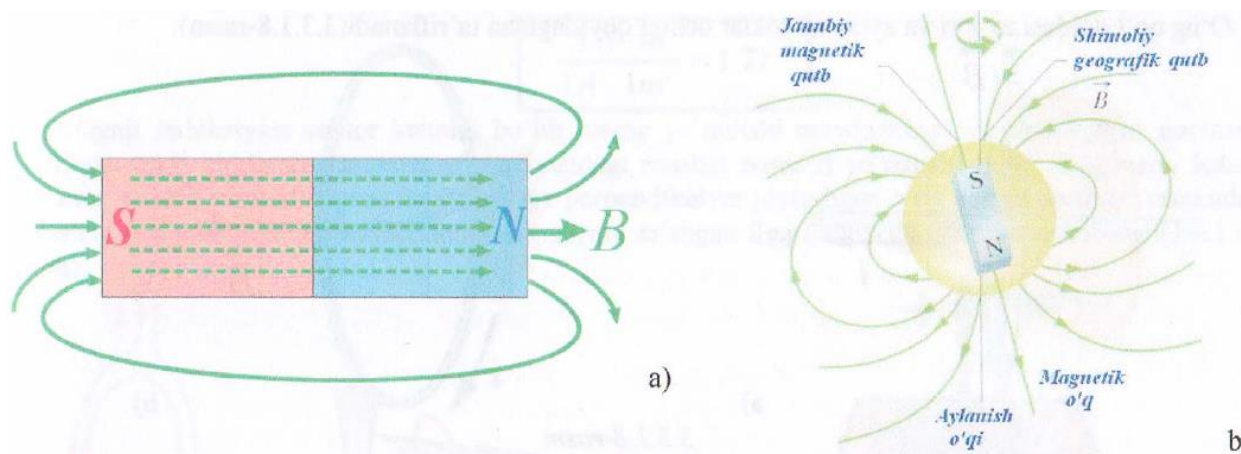
11.1-rasm

Ersted magnit strelkani tokli o'tkazgich yaqiniga olib keldi va ularning o'zaro ta'sirini o'rgandi. Dastlab o'tkazgichdan tok o'tmayotganda, magnit strelka befarq bo'ladi, ya'ni strelkani qaysi holatga keltirilsa o'sha vaziyatda turadi (11.1-a, rasm). O'tkazgich orqali tok o'tkazilganda esa magnit strelka qat'iy bir holatni egallaydi. Magnit strelkani vaziyatini o'zgartirmoqchi bo'lganda yana avvalgi holatiga qaytaveradi (11.1-b, rasm). Endi o'tkazgichdan o'tayotgan tok yo'nalishini qarama-qarshi tomonga o'zgartirilsa, magnit strelka  $180^\circ$  burchakka burilib qutblari o'rnini almashinib qoladi. Natijada yangi qat'iy vaziyat qaror topadi (11.1-c, rasm).

Demak, yuqoridagi bara tajribalardan shunday xulosa kelib chiqadi: tokli o'tkazgich va magnit strelka yoki magnittosh biri-birining maydoniga tushishga intilar ekan. Magnit strelka erkin bo'lganday burilib tokli o'tkazgichning maydoni ko'rsatadi. Sim ramka erkin bo'lganda esa, u burilib magnittoshning maydonini ko'rsatadi.

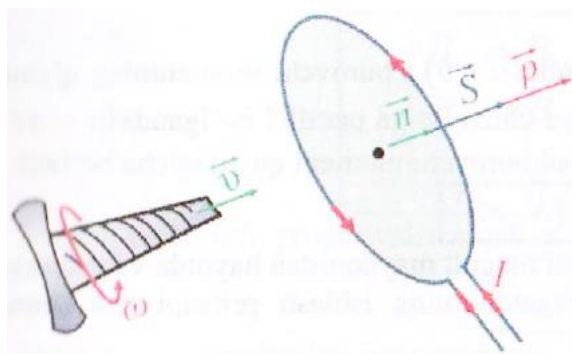
Faqatgina o'tkazgichdan tok o'tgandagina uning atrofida magnit maydon paydo bo'lishi magnit maydonning manbasi - bu elektr toki (harakatlanayotgan elektr zaryadi) ekan degan xulosaga olib keladi. Shunday qilib, Ersted kashfiyoti fizika fanining rivojlanishida katta turtkilardan biri bo'lib, bu kashfiyot keyinchalik elektromagnetizm sohasida muhim kashfiyotlarni ochilishiga poydevor bo'ldi.

Erkin aylanuvchi magnit strelka Yerning magnit maydoni ta'sirida taxminan meridian chizig'i bo'ylab joylashadi. Strelkaning bir uchi shimol tomonni ikkinchi uchi esa janub tomonni ko'rsatadigan vaziyatni egallaydi. Strelkaning shimolni ko'rsatadigan uchini shimoliy qutb deyiladi va  $N$  ( $N$  -North-shimol) harfi bilan belgilanadi. Strelkaning janubni ko'rsatadigan uchini janubiy qutb deyiladi va  $S$  ( $S$  -South-janub) harfi bilan belgilanadi (11.2-rasm).

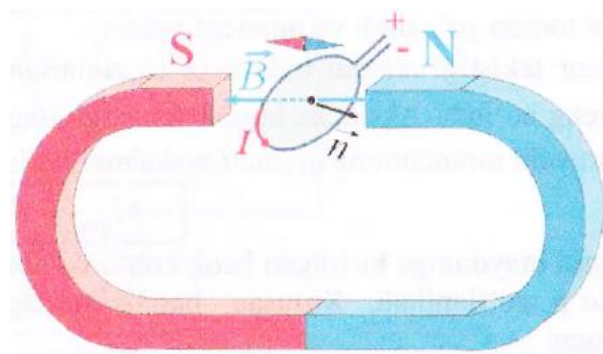


11.2-rasm

Konturning fazodagi joylashuvini shu konturga o'tkazilgan normalning yo'nalishi orqali xarakterlaymiz. Uning musbat yo'nalishi (11.3-rasm) da ko'rsatilgan.



11.3-rasm



11.4-rasm

Berilgan nuqtadagi magnit maydon yo'nalishi sifatida, shu nuqtaga joylashtirilgan tok konturining musbat yo'nalishi olinadi (11.4-rasm). Shuningdek, shu nuqtadagi magnit strelkasi (ignasi) ning shimoliy qutbga ta'sir qiluvchi kuchning yo'nalishi orqali ham aniqlanishi mumkin.

Magnit maydoni tokli konturga aylantiruvchi, juft kuch sifatida ta'sir qilib, uni ma'lum bir yo'nalish bo'yicha joylashishga majbur qiladi. Kuchning

aylantiruvchi momenti – maydonning shu nuqtasidagi xossalriga hamda konturning xossalriga bog‘liq bo‘ladi.

$$\vec{M} = [\vec{P}_m \vec{B}]$$

bunda  $\vec{B}$ - magnit induksiya vektori bo‘lib, u magnit maydonning miqdoriy xarakteristikasi hisoblanadi,  $\vec{P}_m$ - tokli konturning magnit momenti vektori.  $I$  tok o‘tayotgan yassi kontur uchun:

$$\vec{P}_m = IS\vec{n}$$

bunda  $S$ - kontur sirtini yuzasi,  $\vec{n}$ - konturning sirtiga o‘tkazilgan normalning birlik vektori.  $\vec{P}_m$  ning yo‘nalishi musbat normal yo‘nalishi bilan ustma–ust tushadi.

Magnit maydonini magnit maydon induksiyasi xarakterlaydi:

$$B = \frac{M_{max}}{P_m}$$

Magnit maydonining grafikasini esa magnit induksiya chiziqlari yordamida ifodalash mumkin. Ularning har bir nuqtasiga o‘tkazilgan urinma shu nuqtadagi  $\vec{B}$  vektorning yo‘nalishi bilan bir xil bo‘ladi. Bu yo‘nalish **o‘ng vint qoidasi** bilan aniqlanadi. Agar vint o‘qi tok yo‘nalishi bo‘ylab ilgarilanma harakatga keltirilsa, unda vint dastasi magnit induksiya chiziqlari yo‘nalishida aylanadi.

Magnit induksiya chiziqlari doimo berk va tokli o‘tkazgichni qamrab oluvchi tarzda joylashadi.

Makrotoklar hosil qiluvchi magnit maydonini magnit maydon kuchlanganlik vektori  $\vec{H}$  orqali tavsiflanadi. Bir jinsli, izotrop muhit uchun:  $\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}$  bunda  $\mu_0$  magnit doimiysi,  $\mu$  - muhitning magnit singdiruvchanligi bo‘lib, u makrotok magnit maydon  $\vec{H}$ - muhitning mikrotoklari hisobiga necha marta kuchayishini ko‘rsatadi.

### **Bio - Savar – Laplas qonuni va uning magnit maydonlarini hisoblash uchun qo‘llanilishi.**

$I$  tok o‘tayotgan o‘tkazgichning  $dl$  elementi, o‘zidan  $r$  masofada yotuvchi ixtiyoriy nuqtasidagi  $d\vec{B}$  maydon induksiyasi Bio – Savar – Laplas qonuniga ko‘ra quyidagicha ifodalanadi:

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0 I [d\vec{l}, \vec{r}]}{4\pi r^3}$$

bunda  $d\vec{l}$ - modul bo'yicha  $dl$ - tok elementiga teng bo'luvchi va tok bilan bir xil yo'nalish oluvchi vektor.  $\vec{r} = d\vec{l}$  tok elementidan maydonning  $A$  nuqtasiga o'tkazilgan radius vektor bo'lib, uning moduli  $r$ ga teng.

$d\vec{B}$  vektorning yo'nalishi,  $d\vec{l}$  va  $\vec{r}$  vektorlar yotadigan tekislikka perpendikulyar bo'lib, u o'ng vint qoidasi yordamida aniqlanadi.  $d\vec{B}$  vektorning moduli quyidagicha ifodalanadi.

$$dB = \frac{\mu\mu_0 I dl \sin \alpha}{4\pi r^2}$$

bunda  $\alpha$  -  $d\vec{l}$  va  $\vec{r}$  vektorlar orasidagi burchak.

Xuddi elektrostatik maydonlar singari, magnit maydoni uchun ham **superpozitsiya prinsipi** o'rinli:

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i$$

**1. To'g'ri tokning magnit maydoni** (tokli, cheksiz uzun, ingichka, to'g'ri o'tkazgichning maydoni).

O'tkazgichning o'qidan  $R$  masofada yotuvchi istalgan  $A$  nuqtada barcha tok manbalari hosil qiladigan  $d\vec{B}$  vektorlarining yo'nalishlari bir xil chizma tekisligiga perpendikulyar ya'ni bir tomonga yo'nalgan bo'ladi.

Shu sababli  $d\vec{B}$  vektorlar yig'indisini ular modullarining yig'indisi bilan almashtirish mumkin.

$$r = \frac{R}{\sin \alpha}, \quad dl = \frac{R d\alpha}{\sin \alpha}$$

ekanligini e'tiborga olib, bir dona tok elementi hosil qiladigan magnit induksiyasini aniqlaymiz:

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi R} \sin \alpha d\alpha$$

To'g'ri tokning barcha tok elementlari uchun  $0 \leq \alpha \leq \pi$  shart bajariladi. Shunga ko'ra:

$$B = \int dB = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi R} \int_0^\pi \sin \alpha d\alpha = \frac{\mu\mu_0 2I}{4\pi R}$$

Shunday qilib, **to'g'ri tokning magnit maydon induksiyasi** quyidagigina teng bo'lar ekan:

$$B = \frac{\mu\mu_0 2I}{4\pi R}$$

## 2. Tokli, doiraviy o'tkazgichning markazidagi magnit maydoni.

Bu holda ham barcha tok elementlari o'ramning markazidan normal yo'nalishiga mos keluvchi  $d\vec{B}$  vektorlarini hosil qiladi. Shuning uchun  $\vec{B}$  vektorlarning yig'indisini ularning modullarining yig'indisi bilan almashtiriladi. O'tkazgichning barcha tok elementlari radiusi vektorga perpendikulyar va ulardan doiraning markazigacha bo'lgan masofa  $R$  ga tengligi uchun:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi R^2} dl$$

$$\text{Shunda } B = \int dB = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi R^2} dl \int_0^{2\pi} dl = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi R^2} 2\pi R = \mu\mu_0 \frac{I}{2R}$$

Demak, tokli doiraviy o'tkazgichning markazidagi magnit maydon induksiyasi quyidagicha bo'ladi:  $B = \mu\mu_0 \frac{I}{2R}$

## 2) Tokli doiraviy o'tkazgichning doira markazidan o'tuvchi o'qdagi magnit maydoni.

O'ramning markazidan o'ram tekisligiga perpendikulyar tarzda  $OO'$  o'qini o'tkazamiz  $I$  tok o'tayotgan o'ramdagi turli  $dl$  elementlar maydonlari uchun  $OO'$  o'qining  $S$  nuqtasidagi  $d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0 I [d\vec{l}, \vec{r}]}{4\pi r^3}$  vektorlarning yo'nalishlari ustma-ust tushmaydi.

Magnit maydonining tokli o'tkazgichga ta'sirini birinchi bo'lib Amper o'rgandi. Gorizontaal erkin tokli o'tkazgichni magnit qutblari orasiga joylashtirganda, tokli o'tkazgich qutblar orasiga tomon tortildi (11.8-rasm). O'tkazgichdagi tok kuchining miqdorini oshirganda qutblar orasiga tortilish yanada kuchaydi. Demak, ta'sir kuchi tok kuchiga proporsional ekan. Tokli o'tkazgichning magnit maydonda turgan qism uzunligi oshirilganda ham ta'sir kuchi proporsional

holda oshdi. Undan tashqari magnit maydoni qanchalik kuchli bo'lsa ham ta'sir kuchi shuncha ortar ekan.

Yuqoridagi fikrlarni xulosa qilib, magnit maydonining tokli o'tkazgichga ta'sir kuchini quyidagicha yozishimiz mumkin ekan:

$$F_A = IBlsin\alpha$$

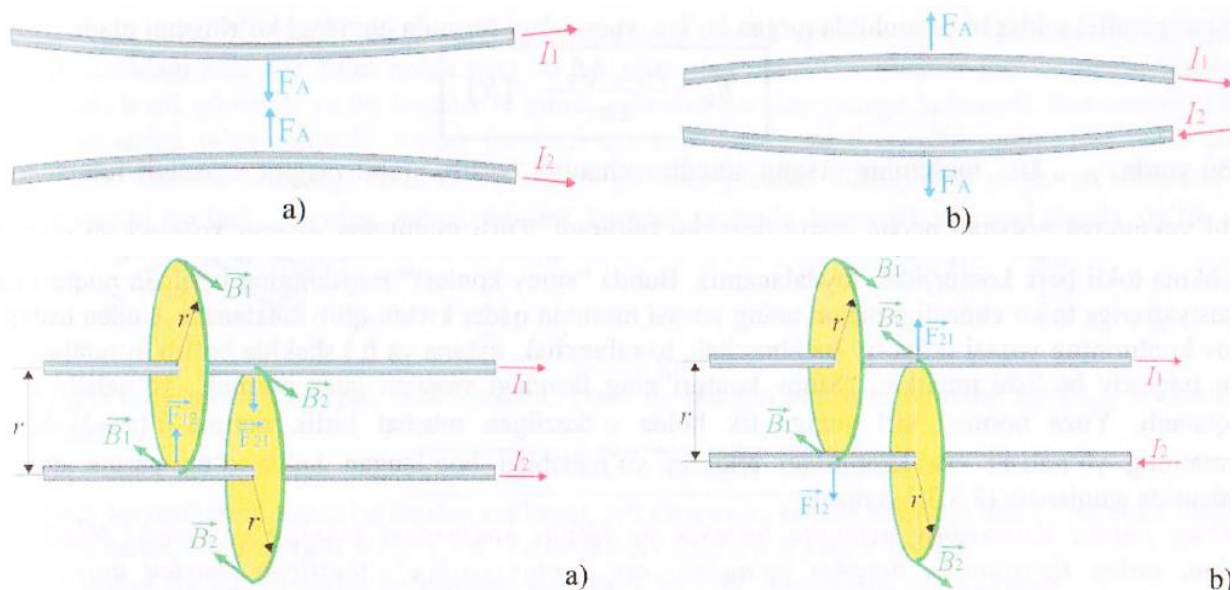
Maydonning biror nuqtadagi magnit induksiyasi shu nuqtada induksiya chiziqlariga perpendikulyar joylashtirilgan o'tkazgich orqali birlik tok kuchi o'tayotganda uning birlik uzunligiga ta'sir qiluvchi kuchga miqdor jihatidan teng bo'ladi.

Amper kuchining kattaligini miqdoriy baholash uchun 11.5-rasmdagidek tajriba o'tkazamiz. Magnit induksiya chiziqlariga tik holda gorizontaal o'tkazgichni joylashtiramiz. O'tkazgich yelkalari teng bo'lgan tarozining bir yelkasiga osilgan va uni ikkinchi yelkasida o'tkazgich massasiga teng yuk bilan muvozonatlanadi. O'tkazgichdan tok o'tkazilganda esa muvozonat buzilib birinchi elka bosib ketadi. Muvozonatni tiklash uchun esa ikkinchi pallaga qo'shimcha  $mg$  yuk qo'yiladi. Yelkalar teng bo'lgani uchun Amper kuchi qo'shimcha qo'yilgan yuk og'irligiga teng, ya'ni  $F_A=mg$  bo'ladi.

### **Parallel toklarning ta'siri:**

Tokli o'tkazgich faqat magnittosh qutblariga kiritilganda Amper kuchi ta'sir qilmas ekan. Tokli o'tkazgich har qanday magnit maydoniga kiritilsa bas, bu o'tkazgichga ta'sir qiluvchi Amper kuchi paydo bo'ladi. Jumladan, tokli o'tkazgich boshqa bir tokli o'tkazgichning maydoniga kiritilganda ham ular o'zaro ta'sirga kirishadi. O'zaro parallel toklarning qanday ta'sirlashishi tajribalardan ma'lum. Agar parallel o'tkazgichlarda toklar bir tomonga yo'nalgan bo'lsa, o'tkazgichlar tortishadi. Agar parallel o'tkazgichlarda toklar qarama-qarshi tomonga yo'nalgan bo'lsa, o'tkazgichlar itarishadi (11.6-rasm).





11.6-rasm

Parallel toklarning o'zaro ta'sir kuchi uchun

$$F \sim \frac{I_1 I_2}{r} l$$

ekani aniqlandi. Proporsionallikdan tenglikka har doimgidek koeffitsient kiritish orqali o'tiladi.

$$F = k \frac{I_1 I_2}{r} l$$

Bu yerda  $k = 2 \cdot 10^{-7} [N/A^2]$ -proporsionallik koeffitsienti.

Agar parallel toklar biror muhitda turgan bo'lsa, yuqoridagi formula quyidagi ko'rinishni oladi:

$$F = \frac{\mu \mu_0 I_1 I_2}{2\pi r} l$$

**Lorens kuchi va uning yo'nalishi:**

Magnit maydoniga kiritilgan tokli o'tkazgichga ta'sir qiladigan Amper kuchining vujudga kelish sababini Gollandiyalik nazariyotchi olim Xendrik Anton Lorents (1853-1928) quyidagicha izohlaydi: o'tkazgichda tokni hosil qilayotgan tartibli harakatlanayotgan zaryadli zarralarga magnit maydoni ta'sir qiladi. Lekin bu zaryadli zarralar o'tkazgich sirtini tark etib keta olmaydi, ya'ni o'tkazgich sirti bilan chegaralangan hajm ichida harakatlana oladi. Bu zaryadli zarralarga magnit

maydoni tomonidan ta'sir qiluvchi kuchlar qo'shib yig'indi kuch-Amper kuchini hosil qiladi. Shuning uchun amper qonunidan foydalanib tokli o'tkazgich ichida harakatlanayotgan bitta elementar  $q$  zaryadga ta'sir qiluvchi kuchni aniqlash mumkin bo'ladi.

***Bir jinsli magnit maydonida harakatlanayotgan zaryadli zarraga magnit maydoni tomonidan ta'sir qiluvchi kuchga Lorents kuchi deyiladi.***

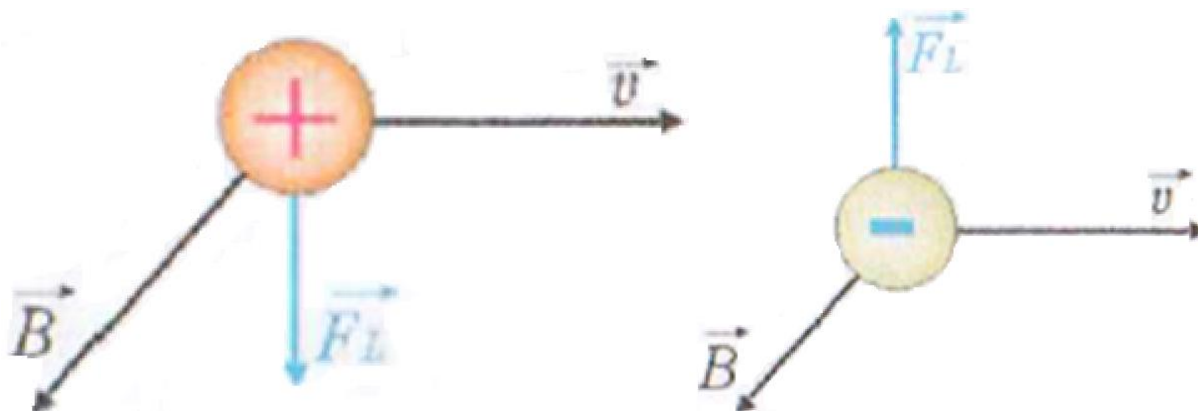
Lorents kuchining qiymati quyidagicha bo'ladi:

$$F_L = qvB\sin\alpha$$

Magnit maydonida harakatlanayotgan elektr zaryadga ta'sir etuvchi kuch, shu zaryad miqdori, zaryad tezligi, magnit maydon induksiya vektori, tezlik bilan induksiya vektori orasidagi burchak sinusi ko'paytmasiga teng.

Lorents kuchi yo'nalishi Amper kuchi bilan mos tushadi. Lorent kuchi yo'nalishi  $\vec{F}_L$  magnit induksiya vektori  $\vec{B}$  va zaryadning harakat yo'nalishi  $\vec{v}$  yotgan tekislikka perpendikulyar yo'nalgan bo'lib, uning yo'nalishi Amper kuchi kabi chap qo'l qoidasi bilan aniqlanadi.

Agar chap qo'limizni  $\vec{B}$  magnit induksiyasining zaryad tezligiga perpendikulyar bo'lgan tashkil etuvchisi kaftimizga kiradigan qilib tutib, yoyilgan to'rt barmog'imiz musbat zaryad yo'nalishida (manfiy zaryad yo'nalishiga teskari yo'nalish) ochilsa,  $90^\circ$  ga kerilgan bosh barmog'imiz zaryadga ta'sir etuvchi  $F_L$  Lorens kuchining yo'nalishini ko'rsatadi.



11.7-rasm

Zaryadli zarra harakatining har onida Lorents kuchi yo'nalishi magnit maydon yo'nalishiga perpendikulyar bo'lgani uchun, ya'ni kuch va ko'chish orasidagi

burchak har doim  $90^0$ ga teng bo'lgani uchun Lorents kuchining bajargan ishi har doim nolga teng bo'ladi. Lorens kuchi zarraning kinetik energiyasini va tezligining miqdorini o'zgartirmaydi, faqat tezlik yo'nalishini tinimsiz o'zgartiradi.

### **Elektromagnit induksiyasi hodisasi. Faradeyning qonuni**

Ersted, elektr toki o'zini o'rab turuvchi fazoda magnit maydoni hosil qilishini aniqlagach, tadqiqotchilarda «magnit yordamida tok olish mumkinmi?» degan tabiiy savol paydo bo'ldi. Bu muhim muammoni 1831-yilda ingliz fizigi M.Faradey hal qilgan. U elektromagnit induksiya hodisasi deb yuritiladi. Uning mohiyati quyidagicha:

Berk kontur bilan chegaralangan yuzadan o'tayotgan magnit oqimi o'zgarsa, shu konturda induksion tok hosil bo'ladi. Quyidagi ikkita tajriba yordamida uning isbotini ko'rish mumkin.

Agar doimiy magnitni galvanometr bilan ulangan solenoid ichiga kiritsak va yoki undan chiqarsak galvanometrda tok hosil bo'lganini kuzatamiz. Ikkala holdagi toklarning yo'nalishi o'zaro teskari bo'ladi. Bunda magnitning g'altakka nisbatan tezligi qancha katta bo'lsa, galvanometr strelkasining og'ishi ham shuncha katta bo'ladi. Magnit qutblari o'zgartirilsa, faqat galvanometr strelkasining og'ish yo'nalishi o'zgaradi, xolos. Shuningdek, magnitni qo'zg'almas holda qoldirib, g'altakni harakatlantirsak ham yuqoridagi effektning aynan o'zi takrorlanadi.

Bir-birining ichiga joylasha oladigan ikkita g'altak olib, ulardan birining ikki uchini galvanometrغا ulasak va ikkinchi g'altakdan esa tok o'tkazsak unga tokni ulash va uzish paytlarida galvanometr strelkasining og'ishi kuzatiladi. Shuningdek g'altakdagi tokning ortishi, kamayishi va yoki g'altaklarning bir-biriga nisbatan harakati paytida ham induksion tok hosil bo'ladi. Bunda tokni ulash va uzish, uning o'sishi va kamayishi hamda g'altaklarning yaqinlashish va uzoqlashish paytlaridagi induksion tokning yo'nalishi o'zaro teskari bo'lishini ta'kidlab o'tamiz.

Ko'p sonli tajribalar, induksion tokning magnit maydon induksiya oqimining qaysi usulda o'zarganiga mutlaqo bog'liq bo'lmasligini ko'rsatadi.

Elektromagnit induksiya hodisasi tufayli elektr va magnit hodisalari orasidagi bog'lanish tiklandi. Natijada yagona elektromagnit maydon nazariyasi yaratildi.

Elektromagnit induksiya hodisasi fundamental mohiyatga ega bo‘lib, uning asosiy mohiyati Faradey qonuni bilan ifodalanadi:

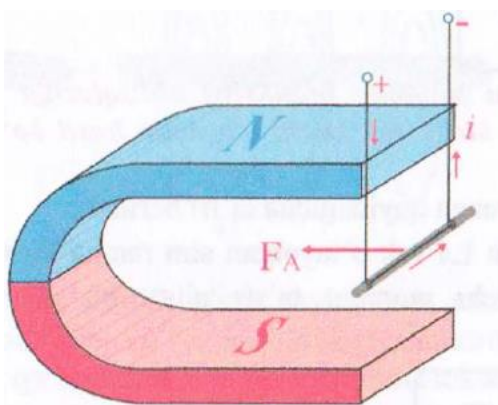
Qanday sabab bilan sodir bo‘lishidan qat’iy nazar, berk kontur bilan chegaralangan yuza orqali o‘tuvchi magnit oqimining har qanday o‘zgarishi natijasida konturda induksion EYUK (va demakki induksion tok) hosil bo‘ladi.

Uning miqdori faqat shu sirdan sizib o‘tayotgan magnit oqimining o‘zgarish tezligi bilangina aniqlanadi:

$$\varepsilon_i = - \frac{d\Phi}{dt}$$

$\frac{d\Phi}{dt} > 0$  da  $\varepsilon_i < 0$ ,  $\frac{d\Phi}{dt} < 0$ , bo‘lganda esa  $\varepsilon_i > 0$  bo‘lishini ko‘rsatadi

Bu Holdagi minus ishorasi, 1833-yilda E.X.Lens tomonidan aniqlangan, induksion tokning yo‘nalishini oydinlashtirish umumiy qoidasining matematikaviy ifodasi bo‘ylab xizmat qiladi. Konturda hosil bo‘luvchi tok shunday yo‘naladiki, uning magnit maydoni shu induksion tokni hosil qiluvchi maydon o‘zgarishini qoplash (kompensatsiyalash)ga intiladi. Faradey qonunini energiyaning saqlanish qonunidan bevosita keltirib chiqarish ham mumkin



11.8-rasm

Bir jinsli magnit maydoniga joylashtirilgan I tokli o‘tkazgichni  $dx$  masofaga siljitishda Amper kuchi  $A$  miqdorda ish bajaradi (11.8-rasm).  $A = IdF$  Agar konturning to‘la qarshiligi  $R$  bo‘lsa, bajarilgan ish ajralib chiqadigan issiqlik miqdori va o‘tkazgichni magnit maydon bo‘ylab ko‘chirishda bajaradigan ishning yig‘indisidan tashkil topadi:

$$\varepsilon Idt = I^2 R dt + Id\Phi$$

$$I = \left( \frac{\varepsilon - \frac{d\Phi}{dt}}{R} \right)$$

bunda  $-\frac{d\Phi}{dt} = \varepsilon_i$  induksion EYUK bo‘lib, u Faradey qonuni hisoblanadi. Induksion EYUK ning o‘lchov birligini aniqlaymiz:

$$\left[ \frac{d\Phi}{dt} \right] = \frac{Vb}{s} = \frac{Tl}{s} \times m^2 = \frac{N \times m^2}{A \times ms} = \frac{J}{ms} = \frac{A \times Vs}{As} = V$$

Magnit maydonda aylanuvchi ramka generatorlarda mexanik energiya elektromagnit induksiya hodisasidan foydalanish orqali elektr energiyasiga aylantiriladi. Uning ishlash prinsipini bir jinsli magnit maydonida aylanayotgan yassi ramka misolida ko‘rishimiz mumkin. Mazkur ramka bir jinsli magnit maydoni  $B = const$  da  $\omega = const$  burchak tezlik bilan bir tekis aylanayotgan bo‘lsin. Istalgan  $t$  vaqtda  $S$  yuzali ramka hosil qiluvchi magnit oqimi quyidagicha bo‘ladi:

$$\Phi = B_n S = BS \cos \alpha = BS \cos \vec{\omega}t$$

bunda  $\alpha = \vec{\omega}t$ -ramkaning  $t$  vaqt momentidagi burilish burchagi.

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} = BS\vec{\omega} \sin \vec{\omega}t$$

Agar  $-1 \leq \sin \vec{\omega}t \leq 1$  ekanligini e‘tiborga olib:

$$\varepsilon_{imax} = BS\vec{\omega} \quad \text{yoki} \quad \varepsilon_i = \varepsilon_{max} \sin \vec{\omega}t$$

Shunday qilib, agar bir jinsli magnit maydonida ramka tekis aylansa, unda garmonik qonun bilan o‘zgaruvchi induksion EYUK hosil bo‘lar ekan.

Oxirgi formuladan  $\varepsilon_i$  ning qiymati  $\vec{\omega}$ ,  $B$  va  $S$  kattaliklarga bog‘liq bo‘lishi ma‘lum bo‘ladi. O‘zbekiston Respublikasida tokning standart chastotasi  $\vartheta = \frac{\vec{\omega}}{2\pi} = 50Hz$  qabul qilinganligi uchun faqat oxirgi ikki kattaliklarni oshirish mumkin.  $U$  ni oshirish uchun kuchli doimiy magnitlar ishlatiladi yoki elektromagnitlardan ancha katta tok o‘tkaziladi. Shuningdek, ba‘zan elektromagnit o‘zagini katta magnit singdiruvchanli materialdan tayyorlanadi. Agar bir emas, balki o‘zaro ketma-ket ulangan bir necha o‘ramdan iborat ramka aylansa, unda  $S$  oshadi. Mexanik energiyaning elektr energiyasiga aylanishi qaytar jarayondir. Agar magnit maydoniga joylashgan ramkadan tok o‘tkazsak, unga aylantiruvchi moment ta’sir

qilib ramka aylana boshlaydi. Elektrodvigatellar shu prinsipda ishlab elektr energiyasini mexanik energiyaga aylantirib beradi.

### **Sinov savollari.**

1. Elektromagnit induksiya hodisasining mohiyati nimadan iborat? Faradey tajribalarini tahlil qilib bering?
2. Lens qoidasini ta'riflang va misollar bilan to'ldiring?
3. Magnit maydonida aylanuvchi ramkada sodir bo'ladigan jarayonni tahlil qiling.
4. O'zinduksiya hodisasining mohiyati nimadan iborat? Bunda induksiya EYUK nimaga teng bo'ladi.
5. O'zaro induksiya hodisasini tushuntiring? Bu holdagi induksiya EYUK ni hisoblang?
6. Relaksatsiya vaqti  $\tau = \frac{L}{R}$  qanday fizik ma'no kasb etadi? Uning vaqt o'lchamiga ega ekanligini isbotlang?
7. Kuchaytiruvchi transformatorlarning birlamchi va ikkilamchi o'ramlaridagi toklarning nisbatini aniqlang?
8. Qachon o'zinduksiya EYUK katta bo'ladi? O'zgarmas tok zanjirini ulagandami? yoki uzgandami?
9. Kontur induktivligining fizik ma'nosi nimadan iborat? U nimaga bog'liq?
10. Elektromagnit maydon energiya zichligi nimaga teng?

### **12-Mavzu. Elektromagnit tebranishlar va to'lqinlar**

#### **Reja:**

1. Elektromagnit induksiya hodisalarining Faradey-Maksvell talqini.
2. Siljish toki. Uyurmaviy elektr maydon.
3. Maksvell tenglamalari tizimining integral va differentsial ko'rinishi.
4. Elektromagnit to'lqinlarning tarqalish tezligi.
5. Elektromagnit to'lqin tenglamasi. Energiya zichligi. Energiya oqimining zichligi.
6. Maksvell tenglamalarining Lorentts almashtirishlariga nisbatan invariantligi.

*Tayanch iboralar: Maksvell taqsimoti, Barometrik formula, Boltsman taqsimoti, Termodinamik sistema, Molekulyar-kinetik nazariya, Diffuziya, Broun harakat, Ideal gaz, Molekularning o'rtacha kvadratik tezligi.*

Umumiylikga putir yetkazmagan holda masalani soddalashtiramiz, ya'ni elektromagnit maydon kattaliklari faqat  $x$  va  $t$  vaqtga bog'liq bo'lsin deb olamiz.

Bu holda to'liq tenglama quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 f}{\partial t^2} = 0 \quad 12.1$$

Bu tenglama "Matematik fizika tenglamalari" kursidan ma'lum bo'lib, xususan torda to'liq tarqalishini aniqlaydi. To'liq tenglamaning bunday xossaga ega yechimini umumiy ko'rinishini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$f(x, t) = f_1\left(t - \frac{x}{c}\right) + f_2\left(t + \frac{x}{c}\right) \quad 12.2$$

Birinchi had  $f_1$   $x$  o'qi bo'ylab, ikkinchi had  $f_2$  esa  $x$  o'qiga teskari yo'nalishda  $c$  tezlik bilan tarqaluvchi yassi to'liqinni ifodalaydi. Bu to'liqlardan qaysi biri mavjud bo'lishi boshlang'ich shart bilan aniqlanadi. Masalan,  $f_2=0$  bo'lsin, u vaqtda

$$f(x, t) = f_1\left(t - \frac{x}{c}\right) \quad 12.3$$

bo'ladi va faqat musbat yo'nalishda tarqaluvchi to'liqin qoladi. Shu holni batafsil ko'rib chiqamiz.

Shunday qilib, maydon kattaliklari sifatida qaralayotgan  $f(x, t)$  yassi to'liqin bo'lganligi uchun vakuumdagi elektromagnit maydon potentsiallari ham yassi to'liqindan iborat bo'ladi, ya'ni

$$\varphi(x, t) = \varphi\left(t - \frac{x}{c}\right) \quad 12.4$$

$$A(x, t) = A\left(t - \frac{x}{c}\right) \quad 12.5$$

Skalyar va vektor potentsiallar ma'lum deb maydon kuchlanganliklarini aniqlaymiz. Hisoblashlarni soddalashtirish maqsadida potentsiallarni tanlashdagi ixtiyoriylikdan yana bir marta foydalanamiz. Lorenz kalibrovkasida  $\varphi = 0$  deb olamiz. Bu holda kalibrovka sharti quyidagicha yoziladi:

$$\operatorname{div} A = 0 \quad 12.6$$

Bu shart  $\varphi = 0$  shart bilan birga Lorenz kalibrovkasining xususiy holi bo‘ladi. Potensial biz ko‘rayotgan holda faqat  $x$  koordinataga bog‘liq ekanligini inobatga olsak, kalibrovka sharti (12.6) quyidagi ko‘rinishda yoziladi:

$$\frac{\partial A_x}{\partial x} = 0, \quad A_x = \text{const} \quad 12.7$$

Bu shartga muvofiq (12.1) tenglamadan quyidagilar kelib chiqadi:

$$\frac{\partial^2 A_x}{\partial t^2} = 0, \quad \frac{\partial A_x}{\partial t} = \text{const}$$

Binobarin, vektor potensialdan vaqt bo‘yicha olingan hosila elektr maydonni aniqlashini inobatga olsak,  $A_x \neq 0$  bo‘lishi vakuumda o‘zgarmas elektr maydon mavjudligini ko‘rsatadi. Bu mavzuda o‘zgarmas maydonlar bizning qiziqish doiramizdan chetda bo‘lganligi uchun bimalol  $A_x = 0$  deb olish mumkin. Shunday qilib, maydon kuchlanganliklarini aniqlash uchun  $A_y(x, t)$  va  $A_z(x, t)$  bilish biz ko‘rayotgan holda yetarli bo‘ladi.

Yuqorida yuritilgan mulohazalarga asosan elektr va magnit maydon kuchlanganliklari

$$E(x, t) = -\frac{1}{c} \frac{\partial A(x, t)}{\partial t} \quad 12.8$$

$$H(x, t) = \text{rot} A(x, t) \quad 12.9$$

munosabatlar bilan aniqlanishi kelib chiqadi. Bu tenglamalarning birinchisidan,  $A_x=0$  bo‘lganligi uchun  $E_x=0$  bo‘ladi. Qolgan ikkita tashkil etuvchisi  $E_y \neq 0$  va  $E_z \neq 0$ . Demak, vakuumda elektr maydon kuchlanganligi to‘lqin tarqalish yo‘nalishiga perpendikulyar ekan. (12.8) tenglamani quyidagi shaklda yozamiz:

$$E = -\frac{1}{c} \dot{A}, \text{ bu yerda } \dot{A} \equiv \frac{\partial A}{\partial t} \quad (12.10)$$

(12.9) ga asosan magnit maydon kuchlanganligini hisoblaymiz:

$$H = \text{rot} A = [\nabla, A] = \left[ \nabla \left( t - \frac{x}{c} \right), \frac{\partial A}{\partial \left( t - \frac{x}{c} \right)} \right] = -\frac{1}{c} [n\dot{A}] \quad 12.11$$

Bu yerda  $n$   $x$  o‘qi yo‘nalishidagi, ya’ni to‘lqin tarqalish yo‘nalishidagi birlik vektor. (12.10) va (12.11) ifodalarni toqqoslab, elektr va magnit maydon kuchlanganliklari orasidagi bog‘lanishni topamiz:

$$H = [nE] \quad 12.12$$



Ifodalar (12.10)-(12.12) dan yassi to'ldiqda elektr va magnit maydon kuchlanganliklari to'ldiqin tarqalish yo'nalishiga perpendikulyar ekanligi ko'rinib turibdi. Shu sababli vakuumda elektromagnit to'ldiqin ko'ndalang deb ataladi. Bundan tashqari (12.12) dan  $E \perp H$  kelib chiqadi. Gauss birliklar sistemasida  $|E| = |H|$ , ya'ni elektr va magnit maydon kuchlanganliklarining son qiymatlari bir xil, demak, to'ldiqinning elektr maydon va magnit maydon energiyasi zichliklari bir-biriga teng bo'ladi:

$$u = \frac{E^2 + H^2}{8\pi} = \frac{E^2}{4\pi} = \frac{H^2}{4\pi} \quad 12.13$$

To'ldiqin energiyasi oqimining zichligi - Poynting vektori bu holda quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$S = \frac{c}{4\pi} [EH] = \frac{c}{4\pi} [E[nE]] = \frac{c}{4\pi} \{nE^2 - E(nE)\} = \frac{E^2}{4\pi} cn \quad 12.14$$

yoki (12.13) ga asosan

$$S = cun \quad 12.15$$

Demak, energiya oqimi to'ldiqin tarqalish yo'nalishi bo'yicha yo'nalgan. Elektromagnit to'ldiqin impulsining zichligi

$$g = \frac{S}{c^2} = \frac{u}{c} n \quad 12.16$$

E'tibor bering, (12.11) dan boshlab koordinata  $x$  tenglamalarda oshkora ravishda ishtirok etmayapti. Demak, olingan natijalar uchun to'ldiqin qaysi yo'nalishda tarqalishining ahamiyati yo'q. Shuning uchun to'ldiqin tarqalish yo'nalishidagi birlik vektor  $n$  endi  $x$  o'qidagi birlik vector emas, balki, to'ldiqinning tarqalishini ko'rsatuvchi ixtiyoriy yo'nalishdagi birlik vektor deb qarash mumkin. Bunga asosan yuqorida olingan formulalarda umimiy holga o'tish uchun quyidagi almashtirishni bajarish kifoya qiladi:

$$t - \frac{x}{c} \quad t - \frac{nr}{c} \quad 12.17$$

**Elektromagnit to'ldiqinlar**-vaqt bo'yicha davriy o'zgaradigan elektromagnit maydon (o'zaro bog'langan E elektr va H magnit maydonlar)ning fazoda chekli tezlik bilan tarqalish jarayoni. O'zgaruvchi induksiya oqimi uyurma elektr maydonni, u esa, o'z navbatida, uyurma magnit maydonni uyg'otadi. Tarqalayotgan

elektromagnit maydon Elektromagnit to‘lqinlar deyiladi. Elektromagnit to‘lqinlar Ko‘ndalang to‘lqinlar bo‘lib, vakuumda  $c=3 \cdot 10^8$  tezlik bilan tarqaladi.

Elektromagnit to‘lqinlar xossalariga u tarqalayotgan muhit sezilarli ta‘sir ko‘rsatadi. Elektromagnit to‘lqinlar boshqa ixtiyoriy to‘lqinlar kabi sinishi, to‘la ichki qaytishi, dispersiya, interferensiya, difraksiya hodisalariga uchrashi mumkin. Elektromagnit to‘lqinlarning barcha xususiyatlari, ularning uyg‘onish va tarqalish qonunlari Maksvell tenglamalari yordamida to‘la tavsiflanadi.

Elektr zaryadlari va ularning harakati natijasida hosil bo‘lgan elektromagnit maydonlar orasida o‘zgaruvchan elektromagnit maydonlarning o‘z manbalaridan-harakatlanuvchi zaryadlardan eng uzoq masofani bosib o‘tishga qodir bo‘lgan qismini nurlanish bilan bog‘lash odatiy holdir.

Elektromagnit spektr quyidagilarga bo‘linadi:

-radio to‘lqinlari (Ultra uzun to‘lqinlardan boshlab)

-mikroto‘lqinli nurlanish

-infraqizil nurlanish

-ko‘rinadigan nurlanish (yorug‘lik)

-ultrabinafsha nurlanish

-rentgen nurlari

-qattiq (gamma nurlanish)

Elektromagnit nurlanish deyarli barcha muhitda tarqalishi mumkin.

**Elektromagnit nurlanishning asosiy xususiyatlari** chastota, to‘lqin uzunligi va qutblanish deb hisoblanadi.

To‘lqin uzunligi (guruh) nurlanish tarqalish tezligi orqali chastota bilan bevosita bog‘liq. Vakuumda elektromagnit nurlanishning guruh tezligi yorug‘lik tezligiga teng, boshqa muhitda bu tezlik kamroq. Vakuumdagi elektromagnit nurlanishning fazaviy tezligi ham yorug‘lik tezligiga teng, turli muhitlarda u yorug‘lik tezligidan kichikroq yoki kattaroq.

Lorents almashtirishlari (nisbiylikning maxsus nazariyasida)-ikki inersial sanoq sistemasiga oid koordinatalar va vaqtlarining o‘zaro bog‘lanishini ifodalovchi formulalar. Bu formulalarni 1904-yilda X.A. Lorents o‘zining “Yorug‘lik tezligiga

qaraganda kichik tezlik bilan harakatlanuvchi sistemadagi elektromagnit hodisalar” nomli klassik asarida keltiradi. Nisbiylikning maxsus nazariyasiga asosan, har qanday ikki inersial sanoq sistemasida vaqt va fazo bir jinsli harakterga ega bo‘lib, ularning ikkala sistemadagi xususiyatlari bir-biridan farq qiladi. Masalan, vaqt ikkala sanoq sistemada ikki xil tarzda o‘tib boradi. Ikki inersial sanoq sistemadan biri ikkinchisiga nisbatan  $x$  o‘qining musbat yo‘nalishi bo‘yicha o‘zgarmas  $v$  tezlik bilan harakatlanayotgan bo‘lsin. Lorents almashtirishlaridan nisbiylik nazariyasining barcha kinematik effektlarini keltirib chikarish mumkin. Lorents almashtirishlaridan nisbiylik nazariyasining asl mohiyati, xususan, uzunlik va vaqt oralig‘ining nisbiyligi haqidagi muhim fizik xulosa kelib chiqadi.

Nazorat savollari:

1. Elektromagnit induksiya hodisalarining Faradey-Maksvell talqini
2. Siljish toki nima?
3. Uyurmaviy elektr maydon tushunchasi?
4. Maksvell tenglamalari tizimining integral va differentsial ko‘rinishini tushuntirib bering?
5. Elektromagnit to‘lqinlarning tarqalish tezligining aniqlanishi?
6. Elektromagnit to‘lqin tenglamasi
7. Energiya zichligi.
8. Energiya oqimining zichligi.
9. Maksvell tenglamalarining Lorents almashtirishlariga nisbatan invariantligi.

### **13-Mavzu. Optikaning asosiy qonunlari. Yorug‘lik interfrensitsiyasi.**

**Reja:**

1. Optikaning asosiy qonunlari. Optik asboblar.
2. Yorug‘likning interferensiyasi va uning qo‘llanilishi
3. Frenel zonalari. Fraungofer difraktsiyasi.
4. Difraktsion panjara. Rentgen nurlari difraktsiyasi
5. Yorug‘lik dispersiyasi. Normal va anomal dispersiya.
6. Tabiiy va qutblangan yorug‘lik. Malyus qonuni.

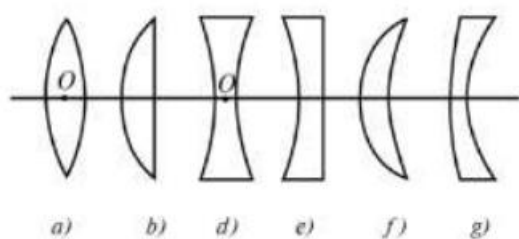
7. Yorug‘likning ikki dielektrik muhitlar chegarasidan qaytishi va sinishidagi qutblanishi.

8. Yorug‘lik nurining ikkiga ajralib sinishi. Sun‘iy optik anizotropiya. Kerr effekti.

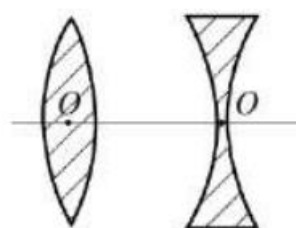
**Tayanch iboralar:** Normal va anomal dispersiya, Yorug‘lik dispersiyasi, Bryuster qonuni.

**Linzalar va ularning turlari.** Linza deb, ikkita sirt bilan chegaralangan shaffof jismga aytiladi. Linzalar odatda shisha, kvarts, plastmassa va shunga o‘xshash materiallardan yasalgan bo‘ladi. Tashqi ko‘rinishiga qarab linzalar: ikkiyoqlama qavariq (1 – a rasm); yassi qavariq (1 – b rasm); ikkiyoqlama botiq (1 – d rasm); yassi-botiq (1 – e rasm); qavariq-botiq (1 – f rasm); botiqqavariq (1 – g rasm); linzalarga bo‘linadi. Optik xususiyatlariga qarab ularni **yig‘uvchi va sochuvchi linzalarga** ajratiladi.

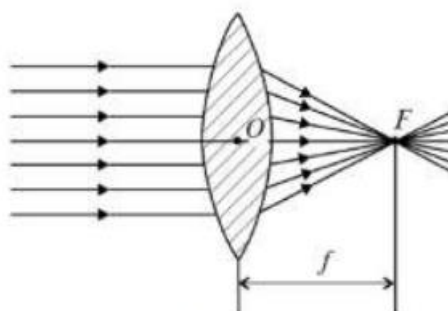
Yupqa linza va uning bosh optik o‘qi. Agar linzaning qalinligi, ya‘ni uni chegaralab turgan sirtlar orasidagi masofa shu sirtlarning radiusidan juda kichik bo‘lsa, bunday linza *yupqa linza* deyiladi. Linza sirtlarining egrilik markazidan o‘tuvchi to‘g‘ri chiziq linzaning *bosh optik o‘qi* deyiladi (2 – rasm) Har bir linza uchun linzaning optik markazi deb ataluvchi shunday O nuqta mavjudki, undan o‘tadigan nur sinmaydi. Ikkiyoqlama qavariq va ikkiyoqlama a) b) d) e) f) g)



1- rasm.



2- rasm.



3- rasm.

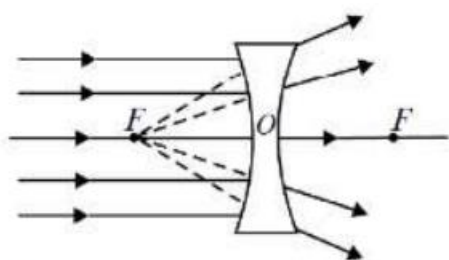
botiq linzalar uchun bu nuqta linzaning geometrik markazi bilan mos keladi.

**Fokus masofasi. Linzaning optik kuchi.** Endi ikkiyoqlama qavariq linzaga parallel nurlar dastasi tushayotgan holni ko'raylik (3 – rasm). Linzadan o'tib singan nurlarning barchasi nuqtada kesishishadi va bu nuqta *linzaning fokusi* deyiladi. Linzaning fokusi uning har ikkala tomonida, bir xil masofada joylashgan bo'ladi.

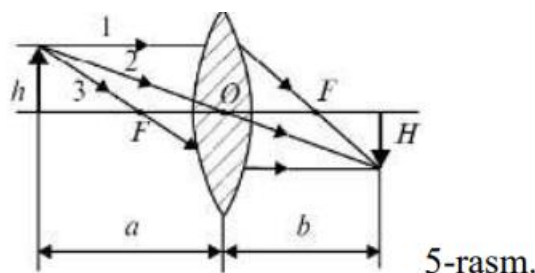
Linzaning optik markazidan fokusigacha bo'lgan masofa  $f = OF$  linzaning *fokus masofasi* deyiladi. Fokus masofasiga teskari kattalik linzaning *optik kuchi* deyiladi.

$$D = \frac{1}{f}$$

Uning birligi – *dioptriya (dptr)*. 1 dioptriya – fokus masofasi  $1dptr = \frac{1}{m}$  ga teng bo'lgan *linzaning optik kuchi*. Optik kuchi musbat bo'lgan linzalar (qavariq linzalar) – *yig'uvchi*, optik kuchi manfiy bo'lgan linzalar (botiq linzalar) – *sochuvchi* linzalar bo'ladi. Demak, yig'uvchi linzalardan farqli ravishda sochuvchi linzalarning fokuslari mavhum bo'ladi. Ularning fokusi linzaning bosh optik o'qiga parallel ravishda tushib, ularda singan nurlarni teskari tomonga davom ettirgan holda topilgan kesishish nuqtasi bilan mos keladi (4 – rasm)



4- rasm.



5-rasm.

*Yupqa linza formulasi.* Yupqa linza formulasi – buyumdan linzagacha ( $a$ ), linzadan tasvirgacha bo'lgan ( $b$ ), masofalar va linzaning fokus masofasi ( $f$ ), orasidagi munosabatni ifodalaydi (5- rasm).

Yig'uvchi linza uchun bu formula quyidagi ko'rinishga ega:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad (13.1)$$

Agar (15.1) ifodani e'tiborga olsak, yupqa linza formulasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = D \quad (13.2)$$

Sochuvchi linza uchun  $f$  va  $b$  masofa manfiy bo'ladi va yupqa linza formulasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = -\frac{1}{f} \quad (13.3)$$

Linzalar yordamida tasvirlar hosil qilish. Linzalar yordamida tasvir hosil qilish quyidagi uchta nur yordamida amalga oshiriladi

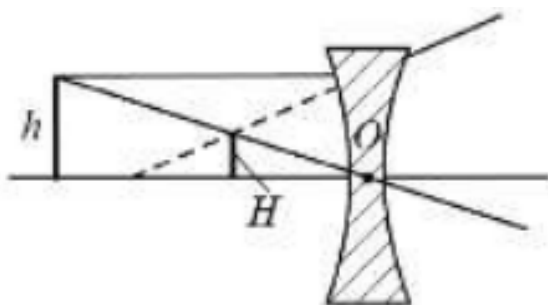
1. Linzaning bosh optik o'qiga parallel ravishda yo'nalgan va linzada singandan so'ng ikkinchi fokusidan o'tuvchi nur (5 – rasm 1 nur).

2. Linzaning optik markazidan o'tuvchi va o'z yo'nalishini o'zgartirmay saqlovchi nur (5 – rasm 2 nur).

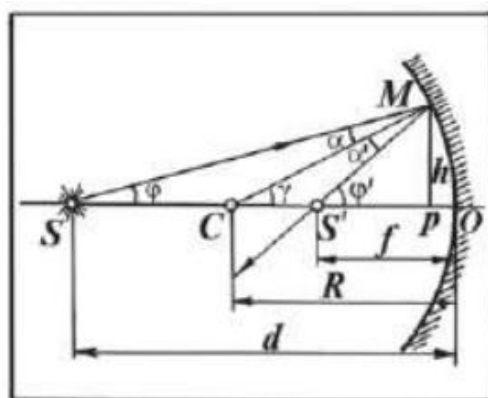
3. Linzaning birinchi fokusidan o'tuvchi va linzada singandan so'ng uning bosh optik o'qiga parallel ravishda yo'naluvchi nur (5 – rasm 3 nur).

(6 – rasmda)  $h$  o'lchamli jismning yig'uvchi linza yordamida hosil qilingan tasviri  $H$  ko'rsatilgan. Tasvirning chiziqli o'lchami  $H$  ning, jismning chiziqli o'lchami  $h$  ga nisbati linzaning chiziqli kattalashtirishi  $K$  deyiladi. Demak,

$$K = \frac{H}{h} \quad (13.4)$$



6-rasm



7-rasm

Sochuvchi linzalar yordamida tasvirlar hosil qilish yuqorida ta'kidlangan nurlarni davom ettirish bilan hosil qilinadi

Murakkab texnik muammolarni yechish maqsadida ba'zan bir vaqtning o'zida ham yig'uvchi, ham sochuvchi linzalar majmuasidan foydalaniladi. (6- rasm)

**Sferik ko'zgu. Sferik ko'zguning formulasi.** Sferik ko'zgu yaxshi ishlov berib silliqlangan shar sirtining bir qismidir. Yorug'lik nuri sferik sirtning ichki va tashqi sirtidan qaytishiga qarab sferik ko'zgular mos ravishda botiq va qavariq ko'zgular deyiladi. 7 – rasm botiq sferik ko'zgu tasvirlangan. Shar sirtining  $C$  markazi ko'zguning optik markazi, shar sigmentining  $O$  uchi esa ko'zguning qutbi deyiladi.  $C$  optik markazidan o'tadigan har qanday nur ko'zguning optik o'qi, sfera markazi  $C$  dan va ko'zgu qutbi  $O$  dan o'tadigan  $CO$  optik o'q ko'zguning bosh optik o'qi deyiladi. Faqat bosh optik o'q yaqinida va optik o'qqa kichik burchak ostida kelayotgan nurlar markaziy nurlar yoki paraksial nurlar deb ataladi.

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

$$2\gamma = \varphi' + \varphi \quad (13.5)$$

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

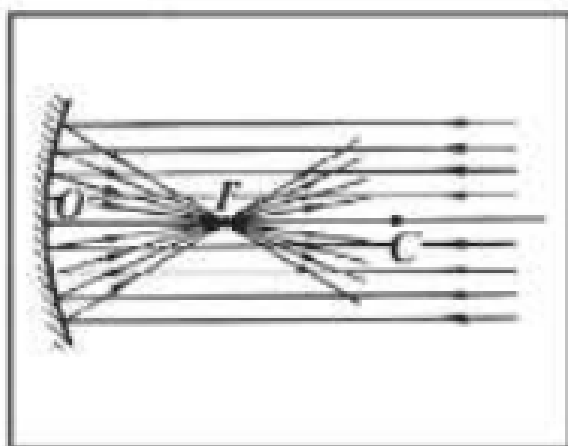
$$\varphi' \approx \tan \varphi' = \frac{h}{S'P} \approx \frac{h}{f}; \quad \varphi \approx \tan \varphi = \frac{h}{SP} \approx \frac{h}{d}; \quad \gamma \approx \tan \gamma = \frac{h}{CP} \approx \frac{h}{R}; \quad (13.6)$$

Burchaklarning bu qiymatlarini (13.5) ifodaga qo'yib,  $h$  ga qisqartirib, quyidagi formulani hosil qilamiz:

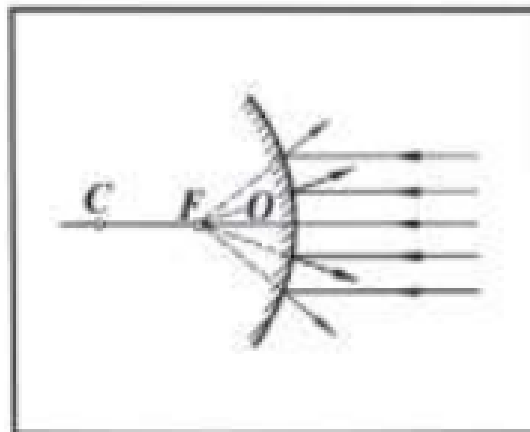
$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{2}{R} \quad (13.7)$$

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

bo'ladi. Agar bo'lsa,  $d \rightarrow \infty$  u holda  $f = \frac{R}{2}$  bo'ladi, biroq bo'lganda ko'zguga tushayotgan nurlar optik o'qqa parallel, binobarin, bu nurlar ko'zgdan qaytgandan keyin bu o'qni qutbdan  $\frac{R}{2}$  masofadagi nuqtada kesib o'tadi (8 – rasm). Bu nuqta ko'zguning  $F$  fokusi deyiladi. Ko'zguning qutbidan fokusgacha bo'lgan masofa fokus masofasi deyiladi. Ko'zguning fokusi orqali o'tgan va optik o'qqa perpendikulyar bo'lgan tekislik ko'zguning fokal tekisligi deyiladi.



8-rasm



9-rasm

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

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} \quad (13.8)$$

Qavariq ko'zgu bo'lgan holda, optik o'qqa parallel nurlar qaytgandan keyin sochiladi, bu nurlarning davomi ko'zguning orqa tomonida optik o'qni bir nuqtada kesib o'tadi. Bu nuqta ko'zguning mavhum fokusi deyiladi. (9 – rasm)

(13.8) formula sferik ko'zgu formulasi deb yuritiladi. Sferik ko'zgu formulasi tasvir va ko'zguning fokusi haqiqiy bo'lgan hol uchun keltirilib chiqarildi. Agar tasvir mavhum bo'lsa,  $f$  had, ko'zgu fokusi mavhum bo'lsa had oldilariga minus ishorasi qo'yiladi. Bunda  $F$  va  $f$  kattaliklarning o'zi musbat deb hisoblanadi. Sferik ko'zgu formulasidan sferik ko'zguning fokus masofasi:

$$F = \frac{f \cdot d}{f + d} \quad (13.9)$$



ekanligi kelib chiqadi.

$$D = \frac{1}{f} = \frac{2}{R} \quad (13.10)$$

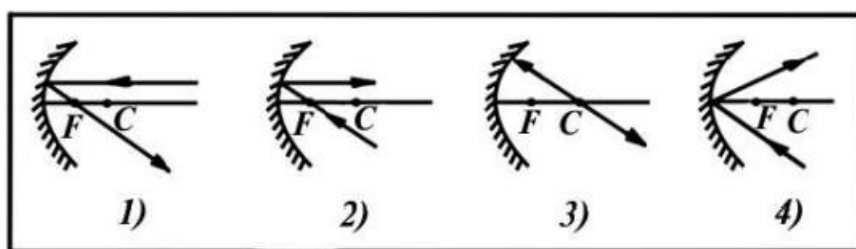
kattalik ko'zguning optik kuchi deb ataladi va fokus masofasi metr ( $m$ ) hisobida o'lchanganda optik kuch dioptriya ( $D$ ) degan maxsus birlik bilan ifodalanadi:

$$[D] = \frac{1}{F} = \frac{1}{1m} = 1D \quad (13.11)$$

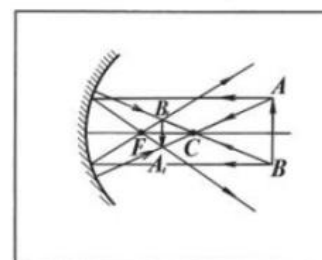
### Sferik ko'zguda tasvir yasash. Sferik ko'zguning kattalashtirishi

Sferik ko'zguda tasvir yasash uchun ko'zguna tushayotgan nurlar dastasi ichidan quyidagi nurlardan foydalanish qulay (10 – rasm): 1) ko'zguning bosh optik o'qiga parallel bo'lgan nur ko'zgudan qaytgandan keyin fokusdan o'tadi; 2) fokusdan o'tib ko'zguna tushgan nur undan qaytgandan keyin optik o'qqa parallel ravishda ketadi; 3) optik markazdan o'tib ko'zguna tushgan nur undan qaytishda dastlabki yo'nalishida orqaga ketadi; 4) ko'zguning qutbiga tushgan nur undan optik o'qqa nisbatan simmetrik yo'nalishda qaytadi. Odatda biror nuqtaning tasvirini yasash uchun shu nurlardan ixtiyoriy ikkitasini olish kifoyadir. Shu nurlardan foydalanib, sferik ko'zguda buyumning tasvirini yasashning ba'zi hollarini ko'rib chiqaylik:

1)  $AB$  buyum ko'zguning optik markazi orqasida turgan, ya'ni bo'lsin



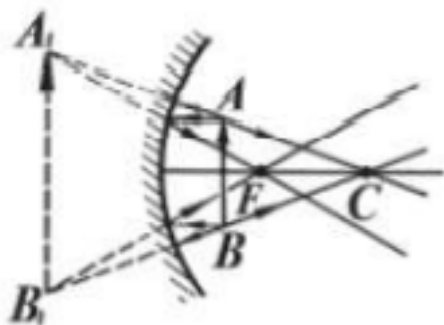
10-rasm



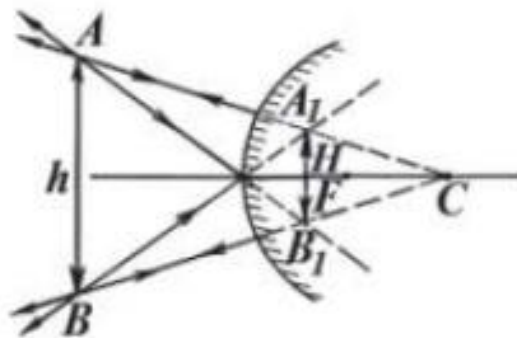
11-rasm

Buyumning  $A$  va  $B$  chekka nuqtalarining tasvirini yasab, hosil bo'lgan nuqtalarni to'g'ri chiziq bilan tutashtirsak, buyumning tasviri hosil bo'ladi.  $A$  va  $B$  nuqtalarning tasvirini yasash uchun optik o'qqa parallel va ko'zgu markazi orqali o'tayotgan nurlardan foydalanamiz. Qaytgan nurlar fokus orqali o'tib tushayotgan nur bilan kesishish nuqtalarida  $A$  va  $B$  nuqtalarning tasviri  $A_1$  va  $B_1$  nuqtalar hosil

bo‘ladi. Bu nuqtalarni birlashtirgan  $A_1B_1$  to‘g‘ri chiziq  $AB$  buyum tasviridir. Tasvir haqiqiy, teskari va kichiklashgan bo‘ladi;



13-rasm



14-rasm

2) buyum  $d < F$  masofada, ya‘ni fokus va ko‘zgu orasida turgan holni ko‘raylik (13-rasm). Bu holda nurlar qaytgandan keyin tarqaluvchi dasta tarzida ketadi. Tasvir ko‘zgu orqasida hosil bo‘ladi; u mavhum, to‘g‘ri va kattalashgan bo‘ladi;

3) qavariq ko‘zguda buyumning tasviri

(14- rasm) hamma vaqt mavhum , to‘g‘ri va kichiklashgan bo‘ladi.

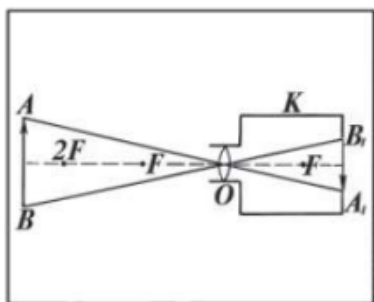
Tasvir o‘lchamining buyum o‘lchamiga nisbati ko‘zguning chiziqli kattalashtirishi deyiladi, ya‘ni,  $k = \frac{A_1B_1}{AB} = \frac{H}{h}$  bunda  $h = AB$  buyumning o‘lchami,  $H = A_1B_1$  tasvirning o‘lchami. 14-rasmdan chiziqli kattalashtirishni tasvirdan ko‘zbugacha bo‘lgan masofaning buyumdan ko‘zbugacha bo‘lgan masofaga nisbati orqali ifodalash mumkin ekanligi ko‘rinib turibdi, ya‘ni quyidagicha bo‘ladi:

$$k = \frac{H}{h} = \frac{f}{d} \quad (13.12)$$

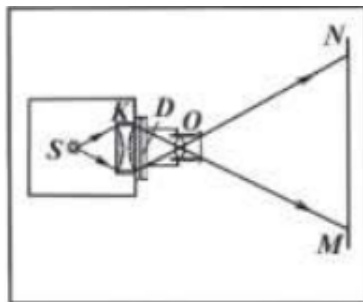
### Optik asboblari. Mikroskop va teleskop.

Maxsus mexanik moslamalar vositasida ma‘lum holatda o‘rnatilgan linzalar, prizmalar, ko‘zgular va shu kabilardan tashkil topgan optik tizimlar *optik asboblari* deb ataladi. turli maqsadlarga mo‘ljallangan xilma-xil optik asboblari bor. Optik asboblardan biz, asosan, tasvir hosil qilishga mo‘ljallanganlari bilan tanishib chiqamiz. Ularning hammasi umumiy bosh optik o‘qqa ega bo‘lgan optik tizim (linza) lardan iborat. Bunday optik asboblarni ikki guruhga ajratish mumkin. Ulardan biri ekranda yoki fotoplastinkada buyumning haqiqiy tasvirini hosil qilish uchun xizmat qiladi. Fotoapparat va proyeksion apparat shular jumlasiga kiradi.

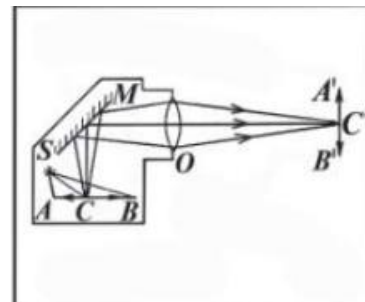
Ikkinchi guruhi esa ko‘zni quollantiruvchi (ko‘zga yordam berishga mo‘ljallangan) asboblardan bo‘lib, ular yordamida ko‘zda buyumning mavhum tasviri hosil qilinadi. Ikkinchi guruhga lupa, mikroskop, teleskoplar kiradi.



15-rasm



16-rasm



17-rasm

**Fotoapparat.** Fotoapparatning asosiy qismi obyektiv va yorug‘lik o‘tmaydigan K kameradan iborat bo‘lib (15- rasm), kameraning orqa devorida fotoplastinka yoki fotoplyonka joylashtirilgan bo‘ladi.

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

Suratga olinadigan buyum fotoapparatdan turlicha oraliqda turishi mumkin. Shunga yarasha obyektiv bilan plyonka oralig‘ini ham o‘zgartirish lozim bo‘ladi. Buning uchun kamera cho‘ziladi yoki qisqartiriladi (bu maqsadda kameraning devorlari garmon shaklida qilinadi) yoki obyektiv vintli rezba vositasida tegishli tomonga siljiriladi. Fotoapparatlarda yuqorida ko‘rsatilgan qismlardan tashqari suratga olish vaqtini belgilovchi zatvor, obyektivning ishlovchi qismini o‘zgartirib beruvchi diafragma, obyektivdan suratga olinayotgan buyumgacha bo‘lgan oraliq masofani aniqlovchi uzoqlik o‘lchagich (dalnomer)lar ham bor. Buyumning fotosurati aniq bo‘lishi uchun obyektiv linzalar tizimsidan tayyorlanadi.

Hozirgi vaqtda raqamli fotoapparatlar ko‘p ishlatiladi. Ular ishlatishga ancha qulay, gabariti ham ixcham. Raqamli fotoapparatlarning ishlashi elektronika asoslangan.

**Proyeksion apparat.** Proyeksion apparatning vazifasi ekranda buyumning kattalashgan haqiqiy tasvirini hosil qilishdir. Bunday buyum shaffof asosga olingan

rasm yoki fotosurat, diapozitiv yoki shaffof bo‘lmagan obyektlar, masalan, qog‘ozlardagi chizmalar, kitobdagi rasmlar bo‘lishi mumkin. Shaffof obyektlarni proyeksiyalash uchun mo‘ljallangan proyeksion asboblari diaskoplar (grekcha «dia»–shaffof), shaffof bo‘lmagan obyektlarni proyeksiyalash uchun mo‘ljallangan asboblari episkoplar (grekcha «epi»–shaffofmas) deb ataladi. 16-rasmda diapozitivlarni ekranga proyeksiyalash uchun mo‘ljallangan proyeksion apparat — diaskopning tuzilishi va unda nurning yo‘li ko‘rsatilgan. Proyeksion apparatning asosiy optik qismi  $O$  obyektiv bo‘lib, bu obyektiv bitta yig‘uvchi linza xizmatini o‘taydigan linzalar tizimsidan iborat. Obyektivning vazifasi  $MN$  ekranda  $D$  diapozitivning kattalashgan tasvirini hosil qilishdir. Obyektivni siljitish yo‘li bilan buyumnig ekrandagi tasvirining aniq bo‘lishiga erishish mumkin, bunga fokusga to‘g‘rilash deyiladi. Yorug‘lik  $S$  manba (lampa)dan  $D$  diapozitivga yo‘naltiriladi. O‘lchamlari, odatda, obyektiv o‘lchamlaridan katta bo‘ladigan diapozitivdan kelayotgan hamma yorug‘likni obyektivga yuborish uchun diapozitiv oldiga  $K$  kondensator qo‘yiladi. Kondensator katta o‘lchamga ega bo‘lgan qisqa fokusli linzalar tizimsidan iboratdir. Kondensator shunday o‘rnatiladiki, undan kelayotgan yorug‘lik obyektiv markazida yig‘iladi. Diapozitivning o‘zi obyektivning fokal tekisligi yaqiniga joylashtiriladi, shuning uchun proyeksion apparatning chiziqli kattalashtirishi

$$k = \frac{f}{F} \quad (13.13)$$

bo‘ladi, bunda:  $f$ -obyektivdan tasvirgacha bo‘lgan masofa;  $F$ -obyektivning fokus masofasi.

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

Episkopda nurlar yo‘lining sxemasi 17- rasmda keltirilgan. Bunday asboblarda ekranga tasviri tushiriluvchi buyum (rasm yoki chizma) yon tomonidan lampa va ko‘zgular yordami bilan kuchli yoritilib, obyektiv yordamida ekranga tushiriladi:  $S$  yorug‘lik manbadan  $AB$  buyumga yo‘naltiriladi, u buyumdan qaytib,

$M$  yassi ko‘zguga tushib, O obyektiv orqali ekranda buyumning  $A'B'$  tasvirini hosil qiladi. 17- rasmda  $AB$  buyumning  $C$  nuqtasi uchun nurlarning yo‘li ko‘rsatilgan.

Hozirgi vaqtda shaffof va shaffofmas obyekt (buyum)larning tasvirini tushirish uchun ishlatiladigan mukammallashtirilgan proyeksion apparatlar keng tarqalgan. Bunday asboblarni *epidioskop* deb ataladi.

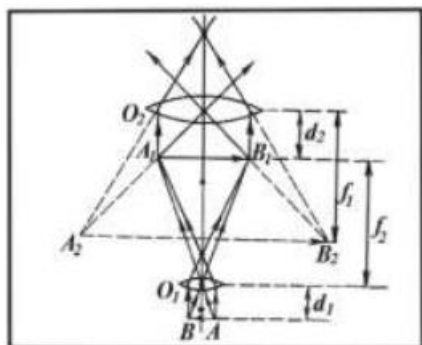
**Lupa.** Lupa — qisqa fokusli ikki yoqlama qavariq linzadir. Kichik buyumni sinchiklab ko‘rish uchun uni linza bilan uning fokusi orasiga shunday joylashtirish kerakki, buyumning tasviri ko‘zning eng yaxshi ko‘rish masofasida hosil bo‘lsin (normal ko‘z uchun bu masofa 25 sm ga teng). Lupaning vazifasi eng yaxshi ko‘rish masofasida buyumni katta ko‘rish burchagi ostida ko‘rsatib berishdir. Buyumning chekka nuqtalaridan keladigan nurlarning ko‘zga tushish burchagi ko‘rish burchagi deyiladi (18-rasm). Eng aniq ko‘rish masofasida ( $d_0 = 25\text{sm}$ ) turgan  $AB$  buyum  $\alpha$  burchak ostida ko‘rinadi. Agar bu burchak juda kichik bo‘lsa, buyum detallarini farq qilish qiyin bo‘ladi. Ko‘rish burchagini kattalashtirish uchun buyumni ko‘zga yaqin bo‘lgan  $A'B'$  holatga keltirish lozim. Bu holatda buyum  $\alpha$  burchakdan katta bo‘lgan  $\alpha_1$  ko‘rish burchagi ostida kuzatiladi. Lekin bu holatda ham buyum detallarini farq qila olmaslik mumkin, chunki buyum ko‘zga juda yaqin turibdi. Buyumning shu lupada hosil bo‘ladigan tasviri  $A_1B_1$  vaziyatda bo‘ladigan qilib lupani ko‘z bilan  $AB$  buyum orasiga qo‘ysak, buyum o‘sha kattalashgan  $\alpha_1$  ko‘rish burchagi ostida eng yaxshi ko‘rish masofasida ko‘rinadi.

Amalda fokus masofasi bo‘lgan lupalar ishlatiladi. Lupaning kattalashtirishi, 18- rasmdan ko‘rinishicha, taqriban  $k = \frac{d_0}{F}$  dir.  $d = 25\text{sm}$  bo‘lgani uchun, odatda, ishlatiladigan lupalarning kattalashtirishi 2,5 dan 25 gacha bo‘ladi.

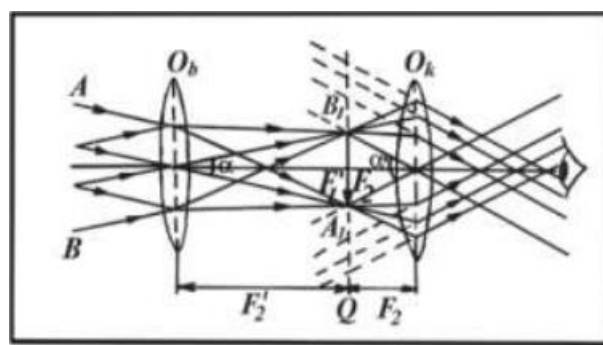
**Mikroskop.** Mikroskop yaqin joylashgan juda kichik obyektlarni ko‘rishga mo‘ljallangan. Uning optik tizimi  $O_1$  obyektiv va  $O_2$  okulyardan iborat bo‘lib, ularning optik o‘qlari bir to‘g‘ri chiziqda yotadi (19-rasm).  $AB$  buyum obyektivning old tomoniga, fokus masofasidan biroz kattaroq masofaga qo‘yiladi. Shunda obyektiv haqiqiy, kattalashgan va teskari  $A_1B_1$  tasvirini beradi. Hosil bo‘lgan bu

$O_2$  tasviriga okulyar orqali qaraladi. Okulyar ham xuddi lupa singari mavhum, kattalashgan va AB buyumga nisbatan teskari  $A_2B_2$  tasvirni hosil qiladi.

Mikroskopning chiziqli kattalashtirishi buyumning ikkinchi  $A_2B_2$  tasviri  $H_2$  o'lchamining shu AB buyumning haqiqiy  $h$  o'lchamiga bo'lgan nisbati bilan aniqlanadi, ya'ni:



19-rasm



20-rasm

$$k = \frac{H_2}{h} \quad (13.14)$$

Bu kattalikni quyidagicha yozish mumkin:

$$k = \frac{H_2}{h} = \frac{H_1}{h} \cdot \frac{H_2}{H_1} \quad (13.15)$$

$H_1$  buyumning  $A_1B_1$  tasvirining chiziqli o'lchami. Yuqoridagi munosabatdan ko'rinadiki, mikroskopning chiziqli kattalashtirishi obyektivning  $\frac{H_1}{h}$  kattalashtirishi bilan okulyarning  $\frac{H_2}{H_1}$  kattalashtirishi ko'paytmasiga teng ekan. Ammo:

$$\frac{H_1}{h} = \frac{f_1}{d_1}; \quad \text{va} \quad \frac{H_2}{H_1} = \frac{f_2}{d_2} \quad (13.16)$$

$f_1$  masofa taxminan mikroskop tubusining  $\delta$  uzunligiga teng (okulyarning old fokusi bilan obyektiv orasidagi  $\delta$  masofani mikroskop tubusining uzunligi deyiladi),  $d_1$  esa taxminan obyektivning  $F_1$  fokus masofasiga teng deb olish mumkin. Shuning uchun obyektivning kattalashtirishi quyidagicha aniqlanadi:

$$\frac{H_1}{h} = \frac{f_1}{d_1} = \frac{\delta}{F_1} \quad (13.17)$$

Okulyarning kattalashtirishi esa oddiy lupaniki singari,  $\frac{d_0}{F_2}$  ga teng. Bunda:  $d_0$  - eng yaxshi ko'rish masofasi. Shunday qilib, mikroskopning kattalashtirishi quyidagicha bo'ladi:

$$k = \frac{\delta}{F_1} \cdot \frac{d_0}{F_2} \quad (13.18)$$

Amalda yorug'lik difraksiyasi sababli mikroskopning kattalashtirishi 2500-3000 dan ortmaydi.

Olisdagi narsalarni ko'rish uchun ko'rish trubalari ishlatiladi. Ularning turli tipdagi durbinlardan tortib astronomik teleskoplar-gacha bo'lgan xilma-xil variantlari mavjud. Osmon jismlarini kuzatish uchun ishlatiladigan ko'rish trubalarini teleskoplar deb, ikki ko'z bilan ko'rishga imkon beradigan ko'rish trubalarini durbinlar deb ataladi.

Ko'rish trubalari-refraktorlar va ko'rish trubalari-reflektorlar bir-biridan farqlanadi. Ko'rish trubalari-refraktorlarda linzalar tizimida nurlarning sinishi natijasida ko'rish burchagining kattalashishiga erishiladi. Ularda obyektiv ham, okulyar ham linzalar tizimsidan iborat bo'ladi. Ko'rish trubalari-reflektorlarda obyektiv linza bo'lmay, balki katta diametrli parabolik botiq ko'zgudan iborat bo'ladi. Kepler va Galileyning ko'rish trubalari refraktorlarga kiradi. Shu ko'rish trubalarining tuzilishi va unda tasvir hosil bo'lishi bilan tanishib chiqaylik.

**1. Kepler trubasi.** Kepler trubasi umumiy bosh optik o'qqa ega uzun fokusli  $O_b$  obyektivdan va lupa kabi ishlaydigan qisqa  $O_k$  fokusli okulyardan tuzilgan. Obyektivning orqa fokusi  $F'_1$  okulyarning oldingi fokusi  $F_2$  bilan ustma-ust tushadi. Buyum juda uzoqda bo'lgani uchun uning yuqori A chekkasidan kelayotgan parallel nurlar optik o'qqa nisbatan  $\frac{\alpha}{2}$  burchak ostida obyektivga tush-adi. Bu nurlar ularga parallel qo'shimcha optik o'q obyektivning orqa  $Q$  fokal tekisligi bilan kesishgan  $A_1$  nuqtada to'planadi. Buyumning  $B$  chekkasidan kelayotgan parallel nurlar ham obyektivga optik o'qqa nisbatan  $\frac{\alpha}{2}$  burchak ostida tushib, obyektivdan o'tgandan so'ng  $Q$  fokal tekislikda  $B_1$  nuqtada to'planadi.

Shunday qilib, okulyarning oldingi fokal tekisligida cheksiz uzoqlikdagi buyumning  $A_1B_1$  haqiqiy va teskari tasviri hosil bo'ladi. Okulyar uchun  $A_1B_1$  tasvir buyum vazifasini bajaradi va u cheksiz uzoqlikda kattalashgan mavhum tasvirni hosil qiladi.

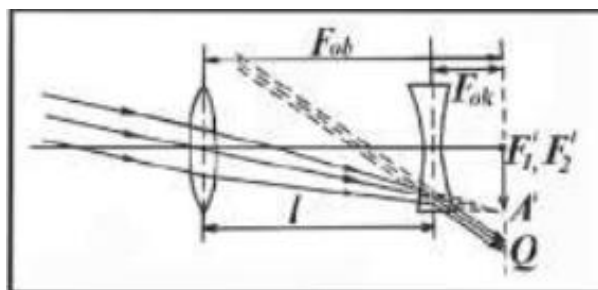
Kuzatuvchi buyum tasvirini  $\alpha'$  burchak ostida ko'radi va  $\alpha' > \alpha$  Kepler trubasining burchak kattalashtirishi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$k = \frac{F'_1}{F_2} = \frac{F_{ob}}{F_{ok}} \quad (13.19)$$

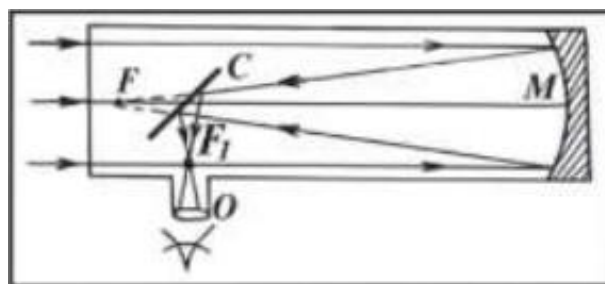
bunda:  $F_{ob}$ — obyektivning fokus masofasi;  $F_{ok}$ — okulyarning fokus masofasi. Demak, Kepler ko'rish trubasining kerakli burchak kattalashtirishiga erishish uchun imkoni boricha uzun fokusli obyektivdan va qisqa fokusli okulyardan foydalanish lozim bo'ladi.

**2. Galiley trubasi.** Galiley ko'rish trubasida okulyar o'rnida sochuvchi linza ishlatiladi. Bunda obyektiv va okulyarning orqa fokuslari  $F'_1$  va  $F'_2$  deyarli ustma-ust tushadi (21- rasm).

Olisda joylashgan buyumning yuqori  $A$  chekkasi va o'rta qismi-dan kelayotgan parallel nurlar ularning yo'lida sochuvchi linza bo'lmaganda obyektivning orqa  $Q$  fokal tekislikda  $F'_1 A_1$  tasvirni bergan bo'lar edi. Lekin ular sochuvchi linzada sinib, yana parallel nurlarga aylanadi. Trubaning okulyaridan qaralganda ko'z olisda buyumning kattalashgan mavhum tasvirini ko'radi (21-rasmda ko'z tasvirlanmagan).



21-rasm



22-rasm

22-rasmda ko'zguli teleskopning tuzilish sxemasi ko'rsatilgan. Olisdagi buyum-yoritkichdan kelayotgan parallel nurlar dastasi  $M$  botiq ko'zguga tushib, undan qaytadi va ko'zguning fokal tekisligida yoritkichning haqiqiy, teskari va kichiklashgan tasviri hosil bo'ladi. Bu tasvirga qarash qulay bo'lsin uchun  $M$  ko'zguning fokal tekisligiga yaqinroq qilib nurni  $90^\circ$  ga burib beruvchi  $C$  yassi ko'zgu o'rnatiladi. Yoritkichning botiq ko'zgodagi tasvirini xuddi lupa kabi ishlaydigan  $O$  okulyar orqali kuzatiladi. Teleskopning trubasi ko'zguna chetki



yorug‘likning tushishidan himoya qiladi. Teleskoplar astronomik kuzatishlarda juda muhim rol o‘ynaydi.

### **Optik asboblarning nuqsonlari**

Shu vaqtgacha jismlarning tasvirini hosil qilishda paraksial (bosh optik o‘qqa kichik burchak ostida tushadigan) nurlar va ularning ingichka dastasidan foydalanamiz, deb taxmin qilib keldik. Lekin optik asboblarda bu ikkala taxmin ham amalda bajarilmaydi. Katta yoritilganlikni olish uchun yorug‘lik nurining keng dastasidan, ya’ni katta diametrli linzalardan foydalanish lozim. Shu bilan birga ko‘pincha optik o‘qdan yetarlicha uzoqda (masalan, fotoapparatlarda) bo‘lgan buyumlarning tasviri bilan ish ko‘rishga to‘g‘ri keladi.

Yuqoridagi cheklanishlardan voz kechsak, optik tasvir yaxshi chiqmaydi: tasvir ravshan bo‘lmay, noaniq bo‘ladi, undagi mayda detallar xiraroq chiqadi, ularni bir-biridan ajratish qiyin bo‘ladi. Ba’zan tasvir buyumga o‘xshamay qoladi.

Tasvirning sifatiga optik shishalar sindirish ko‘rsatkichining yorug‘likning rangi (to‘lqin uzunligi)ga bog‘liqligi ham ta’sir etadi. Bunday bog‘lanish oq nurdan foydalanilganda tasvirning chetlarini rangdor bo‘lishiga olib keladi.

Optik asboblarning bunday nuqsonlari *aberratsiya* deb ataladi. Amalda aberratsiyani to‘la yo‘qotib bo‘lmaydi, lekin uni tasvirning sifatiga sezilarli ta’sir ko‘rsatmaydigan darajada kamaytirish mumkin.

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

Yig‘uvchi linzaning bosh optik o‘qiga  $L$  yorug‘lik manbayi — «yorituvchi nuqta» joylashtiramiz. Buning uchun kata  $E$  ekran olib, uning o‘rtasida taxminan  $1\text{mm}$  diametrli  $S$  teshik ochamiz va oldiga  $M$  xira shishani mahkamlab qo‘yamiz, so‘ng uncha katta bo‘lmagan, lekin yorqin cho‘g‘lanma lampani xira shisha yaqiniga joylashtirsak, yoritilgan teshik «yorituvchi nuqta» vazifasini o‘taydi.

Yorug‘lik nurining keng dastasidan foydalanilganda linzaning chetlari nurlarni o‘rta qismidagiga nisbatan kuchliroq sindiradi. Natijada katta diametrli linza  $E'$  ekranda yorituvchi nuqtaning nuqta ko‘rinishidagi tasvirini emas, balki nuq-

sonli — yoyilib ketgan dog‘ ko‘rinishidagi tasvirini beradi. Agar linza markaziy qismining qarshisiga o‘rtasida kichikroq teshik o‘yilgan  $D$  karton qog‘ozni joylashtirsak, yorug‘lik dastasi cheklanadi, uning torroq qismi linzaga tushadi va  $E'$  ekranda yorituvchi nuqtaning o‘ziga o‘xshash, ancha ravshan tasviri hosil bo‘ladi.

Optik asboblarda yorug‘likning keng dastasidan foydalanganda yuzaga keladigan nuqson sferik aberratsiya deb ataladi. Sindirish ko‘rsatkichlari har xil bo‘lgan yig‘uvchi va sochuvchi linzalardan turli kombinatsiyalar tuzib, sferik aberratsiyaning qariyb butunlay yo‘qolishiga erishish mumkin.

**Xromatik aberratsiya.** Muhitning sindirish ko‘rsatkichi yorug‘likning to‘lqin uzunligiga bog‘liq. Bu hodisani dispersiya deb ataladi. Dispersiya tufayli paraksial nurlardan foydalanilganda ham linza har xil rangli nurlarni har xil nuqtalarda yig‘adi va tasvir bo‘yalgan bo‘lib chiqadi. Bunga quyidagi tajribada ishonch hosil qilish mumkin.

$L$  linzadan o‘tayotgan yorug‘lik nurlari yo‘liga  $F$  qizil va ko‘k rangli shishalarni (qizil rangli shisha faqat qizil rangli yorug‘likni, ko‘k rangli shisha esa faqat ko‘k rangli yorug‘likni o‘tkazadi) navbatma-navbat qo‘yamiz.  $E$  ekranni gorizontaal yo‘nalishda u yoqdan bu yoqqa siljitib,  $S$  manbaning tasvirini turli rangli nurlar turli nuqtalarda berganini ko‘ramiz:  $S_q$  qizil tasvir linzadan  $S_k$  ko‘k tasvirga nisbatan uzoqroqda joylashgan. Agar ekranni ravshan tasvir, masalan, ko‘k tasvir hosil bo‘lgan joyda qoldirsak, qizil nur ekranda noaniq dog‘ beradi yoki ak-sincha. Shu sababli oq yorug‘likdan foydalanilganda nuqtaning linzadagi tasviri rangli va bir-biri bilan chaplashgan, linzaga yaqin uchi  $S_b$  binafsha, uzoq uchi  $S_q$  qizil doirachalar tizimidan iborat bo‘ladi. Dispersiya tufayli yuzaga keladigan bunday nuqson xromatik aberratsiya deyiladi.

Turli shishalarning sindirish ko‘rsatkichi turlicha. Fokus masofalari bir xil bo‘lgan holda sindirish ko‘rsatkichi katta bo‘lgan linza uchun sindirish ko‘rsatkichi kichik bo‘lgan linzaga nisbatan  $S_q$  va  $S_b$  nuqtalar orasidagi masofa katta bo‘ladi. Bu holdan xromatik aberratsiyani bartaraf etishda foydalaniladi. Buning uchun sindirish

ko'rsatkichi kichik ikki tomonlama qavariq (yig'uvchi) linzaga sindirish ko'rsatkichi katta botiq-yassi (sochuvchi) linza yopishtirilgan tizim ishlatiladi. Sochuvchi linza yig'uvchi linzaning fokus masofasini uzaytiradi, shu bilan birga kuchliroq sinadigan ko'k nurdan foydalangandagi  $F'_k$  fokus masofa kamroq sinadigan qizil nurdan foydalangandagi  $F'_q$  fokus masofadan ko'proq uzayadi. Oddiy holda hisoblashlar shunday qilinadiki, natijada qizil nurlarning  $F'_q$  fokusi va ko'k nurlarning  $F'_k$  fokusi bilan bitta nuqtada ustma-ust tushsin. Turli rangdagi tasvirlar bitta nuqtada qo'shib amalda oq nuqtani hosil qiladi, ya'ni xromatik aberratsiya bartaraf etiladi.

### Yorug'likning tabiati.

XVII asrning oxirida yorug'likning tabiati haqida ikkita o'zaro qarama-qarshi nazariya maydonga keldi: bulardan birinchisi, Nyuton yaratgan **korpuskulyar nazariya** va ikkinchisi, Gyuygensning **to'lqin nazariyasidir**. Yorug'likning korpuskulyar nazariyasiga binoan, yorug'lik juda katta tezlik bilan tarqaluvchi juda kichik moddiy zarrachalar (korpuskulalar) oqimidan iboratdir. Yorug'likning rang ta'siri korpuskulalarning o'lchami bilan tushuntirilgan: eng yirik korpuskulalar qizil rangli nurni, eng maydalari esa binafsha rangli nurni hosil qiladi.

Yorug'likning to'lqin nazariyasiga muvofiq yorug'lik elastik muhitdan iborat bo'lgan fazoda katta tezlik bilan tarqaluvchi to'lqindan iborat. Bu nazariyaga muvofiq yorug'likning qaytish va sinish qonunlari barcha to'lqinlar uchun o'rinli bo'lgan qonunlar asosida tushuntiriladi. Yorug'likning rangi uning to'lqin uzunligiga bog'liq. Qizil rangli nurning to'lqin uzunligi  $\lambda_q = 76 \cdot 10^{-7}m$  eng katta bo'lib, binafsha nurniki esa  $\lambda_b = 38 \cdot 10^{-7}m$  eng kichik. Xar ikkala nazariyaga ham ba'zi yorug'lik hodisalariga oid qonuniyatlarni masalan, yorug'likning qaytish va sinish qonunlarini qoniqarli tushuntirib berdi. Biroq, yorug'likning interferensiyasi, difraksiyasi va qutblanishi singari hodisalarni bu nazariyalar tushuntira olmadi.

XVIII asrning oxirigacha ko'pchilik fiziklar Nyutonning korpuskulyar nazariyasini afzal ko'rib keldilar. XIX asrning boshlarida ingliz fizigi Yung va Frenelning tadqiqotlari tufayli to'lqin nazariya ancha rivojlandi. Gyuygens – Yung

- Frenel to‘lqin nazariyasi ‘sha vaqtda no‘malum bo‘lgan barcha yorug‘lik hodisalari, shu jumladan, yorug‘likning interferensiyasi, difraksiyasi va qutblanishini ham muvaffaqiyatli tushuntirib berdi. 1873 yilda ingliz olimi Maksvell yorug‘lik bo‘shliqda  $v = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$  tezlik bilan tarqaluvchi elektromagnit to‘lqindan iborat ekanligini nazariy asoslab berdi. Shunday qilib, yorug‘likning elektromagnit to‘lqin nazariyasi yaratildi. Bu nazariya G.Gerts tajribalarida tasdiqlandi. Yorug‘likning tabiati haqidagi to‘lqin nazariya rivojlanib, yorug‘likning elektromagnit nazariyasiga aylandi.

Biroq XIX asrning oxiriga kelib, to‘lqin nazariya bilan tushuntirib bo‘lmaydigan tadqiqotlar – fotoeffekt, Kompton effekti, absolyut qora - jismlarning issiqlik nurlanishi va boshqa hodisalar paydo bo‘ldi. Ularni 1905-yilda Eynshteyn tomonidan yaratilgan **yorug‘likning kvant nazariyasi** tushutirib berdi. Shunday qilib, yorug‘likning tabiati haqida yangi nazariya-**kvant nazariyasi** maydonga keldi. Kvant nazariyasi ma‘lum ma‘noda Nyuton korpuskulyar nazariyasini qayta tikladi. Biroq, fotonlar korpuskulalardan farq qiladi: barcha fotonlar yorug‘lik tezligiga teng tezlik bilan harakatlanadi va foton tinch holatda massaga ega emas. Keyinchalik kvant nazariyasi ham Bor, Shredinger, Dirak va boshqa olimlar tomonidan yanada rivojlantirildi.

Shunday qilib, (elektromagnit) to‘lqin va korpuskulyar (kvant) nazariya bir-birini rad etmaydi, balki bir-birini to‘ldiradi, bu bilan yorug‘lik hodisalarining **ikki yoqlama xarakterini** aks ettiradi

**Yorug‘lik interferensiyasi.** Ikki yoki undan ortiq to‘lqinlarning tebranish chastotasi bir xil va faza farqlari doimiy bo‘lsa, bunday to‘lqinlar **kogerent to‘lqinlar** deb ataladi. Ikki yoki bir nechta kogerent yorug‘lik to‘lqinlari ustma-ust tushganda, fazoda yorug‘lik oqimlarining qayta taqsimlanishi ro‘y beradi va natijada intensivlikning bir joyda maksimumi, boshqa joyda minimumi kuzatiladi. **Yorug‘likning interferensiyasi deb, o‘zaro kogerent to‘lqinlarning qo‘shilishi natijasida yorug‘lik to‘lqinlarining fazoni turli nuqtalarida kuchayishi yoki susayishi hodisasiga aytiladi.**

Kogerent yorug‘lik to‘lqinlari olish uchun bitta manba nurlantirayotgan to‘lqinni ikkiga bo‘lish usuli ishlatiladi. Bunda to‘lqinlar turli optik yo‘lni o‘tganlaridan so‘ng qo‘shiladilar va interferension manzara kuzatiladi. Aytaylik,  $O_1$  va  $O_2$  nuqtalarda to‘lqin ikkita kogerent to‘lqinga ajralyapti (27–rasm). Interferension manzara kuzatilayotgan  $M$  nuqtaga borguncha  $n_1$  sindirish ko‘rsatkichli muhitda birinchi to‘lqin  $l_1$  yo‘l o‘tadi, ikkinchi to‘lqin  $n_2$  sindirish ko‘rsatkichli muhitda  $l_2$  yo‘l o‘tadi. Agar  $O_1$  va  $O_2$  nuqtalarda tebranish fazasi  $\omega t$  bo‘lsa,  $M$  nuqtada birinchi to‘lqin  $A_1 \cos \omega \left( t - \frac{l_1}{v_1} \right)$ ; ikkinchi to‘lqin  $A_2 \cos \omega \left( t - \frac{l_2}{v_2} \right)$  ni vujudga keltiradi bu yerda  $v_1 = \frac{s}{n_1}$ ,  $v_2 = \frac{s}{n_2}$  birinchi va ikkinchi to‘lqinlarning fazaviy tezliklari, ikki kogerent to‘lqinlar uchun faza farqi:

$$\delta = \omega \left( \frac{l_2}{v_2} - \frac{l_1}{v_1} \right) = \frac{2\pi}{\lambda_0} (l_2 n_2 - l_1 n_1) = \frac{2\pi}{\lambda_0} (L_2 - L_1) = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta$$

bu yerda  $\lambda_0$ - vakuumdagi to‘lqin uzunligi.

**Yo‘lning geometrik uzunligi  $l$  ning muhitning sindirish ko‘rsatkichi  $n$  ga ko‘paytmasi yo‘lning optik uzunligi  $L$  deb ataladi.  $\Delta = L_2 - L_1$  esa yo‘lning optik uzunliklar farqi deyiladi.**

Agar yo‘lning optik farqi vakuumdagi to‘lqinning butun soniga:

$$\Delta = \pm m \lambda_0 \quad (m = 0, 1, 2 \dots \dots) \quad (13.20)$$

**va  $\delta = \pm 2m\pi$  bo‘lsa  $M$  nuqtada qo‘zg‘alayotgan tebranishlar bir xil fazoda bo‘ladi. (1.1) ifoda interferensiya maksimum sharti deb ataladi.**

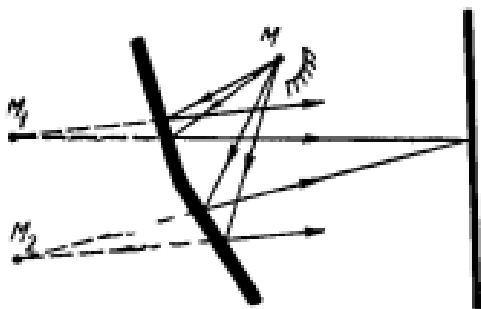
Agar

$$\Delta = \pm (2m + 1) \frac{\lambda_0}{2} \quad (m = 0, 1, 2 \dots \dots) \quad (13.21)$$

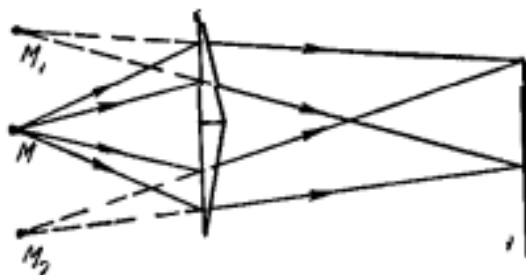
**Bo‘lsa,  $\delta = \pm (2m + 1)\pi$  bo‘ladi va  $M$  nuqtadagi to‘lqin fazolari qarama-qarshi bo‘ladi: (13.21) ifoda interferensiya *minimum sharti* deyiladi.**

**Yorug‘lik interferensiyasini kuzatish usullari.** Yorug‘lik interferensiyasini kuzatish uchun kogerent yorug‘lik dastasi bo‘lishi kerak. Lazerlar ( $10^{-3}$  davomida kogerent bo‘la oladi) ixtiro qilinishidan oldin yorug‘lik dastasi ikkiga bo‘linar va so‘ngra ular qo‘shilib interferension manzara hosil qilinardi. Bunday ba‘zi usullarni ko‘rib chiqaylik.

**Yung usuli.** Bunda ikkita kichik tirqishi bo‘lgan ekran yordamida yorug‘likni «ikkiga ajratish» mumkin (27–rasm).  $S$  yorug‘lik manbai ekranning tirqishlarida yorug‘likning  $S_1$  va  $S_2$  ikkilamchi manbalarini hosil qiladi. Asosiy  $S$  manba nuralanayotgan to‘lqinlarning fazalari ham shunga mos holda xuddi shunday o‘zgaradi, ya’ni  $S_1$  va  $S_2$  manbalar nurlanayotgan to‘lqinlarda fazalar ayirmasi hamma vaqt o‘zgarishsiz qoladi – bu manbalar kogerent bo‘ladi.



27-rasm



28-rasm

**Frenel ko‘zgulari.** Kogerent manbalar hosil qilishning ikkinchi usuli bir-biriga  $180^\circ$  ga yaqin  $\alpha$  burchak ostida o‘rnatilgan ikkita yassi ko‘zgudan yorug‘likning qaytishiga asoslangan (27–rasm). Bu hodisada yorug‘likning  $S$  asosiy manbaning  $S_1$  va  $S_2$  tasvirlari kogerent manbalari bo‘ladi.

**Frenel prizmasi.** U ikkita bir xil sindirish burchaklari kichkina bo‘lgan va asoslari birlashtirilgan prizmalardan iborat (28 – rasm).  $S$  manbadan tarqalgan nur prizmalarda sinib,  $S_1$  va  $S_2$  manbalardan chiqayotgan kogerent nurlardek tarqaladi. Ekkranda bu kogerent nurlar qo‘shilib interferensiya hosil bo‘ladi.

**Ikki manba beradigan interferension manzarani hisoblash.**  $S_1$  va  $S_2$  kogerent manbalar hosil qilayotgan va  $R$  nuqtada qo‘shilayotgan yorug‘lik to‘lqinlarining interferensiyasini ko‘raylik. Agar nurlar yo‘lining ayirmasi  $\Delta l = S_1P - S_2P$  ga to‘lqinlarning butun soni joylashtirilsa, ya’ni

$$\Delta l = n\lambda = 2n\frac{\lambda}{2} \quad (n = 1, 2, 3 \dots) \quad (13.22)$$

bo‘lsa,  $R$  nuqtada yorug‘likning maksimumi kuzatiladi, Agar  $\Delta l = (2n + 1)\frac{\lambda}{2}$  (13.23) bo‘lsa,  $R$  nuqtada yorug‘likning minimumi hosil bo‘ladi. Endi monoxromatik yorug‘likning  $S_1$  va  $S_2$  kogerent manbalarining ekkranda hosil qilgan interferensiya manzarasi qanday bo‘lishini aniqlaylik. Bu manbalar orasidagi

masofa  $d$ , manbalardan ekrangacha bo‘lgan masofa  $L$  bo‘lsin, shu bilan birga  $d \ll L$  bo‘lsin.

$S_1$  va  $S_2$  lardan barobar uzoqlikdagi  $O$  nuqtadan interferensiya maksimumlari kuzatiladigan nuqtalargacha bo‘lgan  $X$  masofani aniqlaylik.  $RSS_1$  va  $RBS_2$  to‘g‘ri burchakli uchburchaklardan:

$$PS_1^2 = L^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2$$

$$PS_2^2 = L^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2$$

Bundan

$$PS_1^2 - PS_2^2 = 2xd \text{ yoki } (PS_1 + PS_2) \cdot (PS_1 - PS_2) = 2xd.$$

Biroq

$$PS_1 - PS_2 = \Delta l; PS_1 + PS_2 = 2L$$

Demak,  $\Delta l \cdot 2L = 2xd$ , bundan

$$x = \frac{L \cdot \Delta l}{d} \quad (13.24)$$

Bu maksimum va minimumlar mos ravishda bir-biriga parallel yorug‘ va qorong‘i yo‘llar ko‘rinishida bo‘ladi.  $n=0$  ga tegishli bo‘lgan markaziy maksimum  $O$  nuqtadan o‘tadi. Qo‘shni maksimumlar (yoki minimumlar) orasidagi masofa

$$\Delta x = \frac{L\lambda}{d} \quad (13.25)$$

ga teng bo‘ladi.

Shunday qilib, yorug‘lik ikki kogerent manbalari ekranda hosil qilgan interferensiya manzarasi yorug‘ va qorong‘u yo‘llarning navbatlashib joylanishidan iborat bo‘ladi.

(13.25) formulaga asosan yorug‘lik to‘lqinining uzunligi  $\lambda$  ni  $d$ ,  $L$  va  $\Delta x$  kattalikning o‘lchangan qiymatlariga ko‘ra tajribada aniqlash mumkin. Agar monoxromatik bo‘lmagan, masalan, oq yorug‘likdan foydalanganda interferensiya maksimumlari (13.25) formulaga muvofiq, har bir to‘lqin uzunligi uchun bir-biriga nisbatan siljigan bo‘ladi, hamma yorug‘lik yo‘llari kamalak rangiga ega bo‘lib qoladi.

Yupqa shaffof plastinkaga 1,2 nurlar tushayotgan bo'lsin. E nuqtaga tushgan 1 nur qisman qaytadi va u 1' deb belgilanadi, qisman sinib  $ED$  yo'nalishda davom etadi. Singan nur plastinkaning ostki tekisligiga yetib borgach, qisman sinib plastinkadan havoga chiqadi. Boshqa qismi esa  $DS$  yo'nalishda plastinka ichiga qaytadi. Qaytgan bu nur plastinkaning ustki tekisligidan qisman qaytadi, qisman sinib havoga chiqadi (nurning bu qismi 1'' deb belgilangan). Lekin  $S$  nuqtaga yassi yorug'lik to'lqinining ikkinchi nuri ham tushadi. 2 nurning plastinka ustki tekisligidan qaytgan qismi va 1'' nur interferensiyalashadi, chunki plastinkaning ustki va ostki tekisliklaridan qaytgan bu nur o'zaro kogerentdir. Plastinkaning ustki va ostki tekisliklaridan qaytgan nurlarning interferensiyalashishi natijasida yorug'lik intensivligining maksimumi,

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda_0}{2} = 2k \frac{\lambda_0}{2} \quad (k = 0,1,2,3 \dots) \quad (13.26)$$

shart bajarilganda, minimum esa

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda_0}{2} = (2k + 1) \frac{\lambda_0}{2} \quad (13.27)$$

shart bajarilganda kuzatiladi. Maksimum shart bajarilganda plastinka yuzining barcha qismi  $\lambda_0$  to'lqin uzunlikli nurning rangiga bo'yalgandek bo'ladi.

**Nyuton halqalari.** Monoxromatik yorug'lik dastasi linzaning tekis sirtiga normal tushayotgan bo'lsin. Shu nurlardan biri birinchi nur  $S$  nuqtaga yetib borgach, qisman qaytadi, qisman havo qatlami ichiga kirib boradi. Nurning bu ikkinchi qismi  $D$  nuqtadan qaytadi. 1' va 2' nurlar o'zaro kogerent, ular ustma-ust tushib, interferensiyalashadi. Natijada kontsetrik halqalar kuzatiladi. Bu halqalar Nyuton halqalari deb ataladi. Yorug' halqalarning radiuslari

$$(r_k)_{max} = \sqrt{k\lambda_0 R} \quad (13.28)$$

ifoda bilan, qorong'i halqalarning radiusi esa

$$(r_k)_{min} = \sqrt{\left(k - \frac{1}{2}\right) \lambda_0 R} \quad (13.29)$$

ifoda bilan aniqlanadi.



## Yorug'lik interferensiyasining qo'llanishi

Yorug'lik interferensiyasi optik asboblarning sifatini yaxshilash va qaytaruvchi qatlamlar olish uchun ham qo'llaniladi. Xozirgi zamon optik asboblarning ob'ektivlarida ko'plab linzalar bo'ladi, shuning uchun ularda yorug'likning qaytishi va yorug'lik oqimining isrofi ko'p bo'ldi. Bularni yo'qotish uchun linza sirtiga sindirish ko'rsatkichi linza moddasining sindirish ko'rsatkichidan kichik bo'lgan yupqa qatlam qoplanadi. Havo qatlam va shisha qatlam chegaralarida yorug'likning qaytishi tufayli 1' va 2' kogerent nurlarning interferensiyasi ro'y beradi. Qatlam qalinligi  $d$ , sindirish ko'rsatkichi  $n$  va shishaning sindirish ko'rsatkichi  $n_{sh}$  ni shunday tanlab olish mumkinki, interferensiyalanuvchi nurlar bir-birini so'ndiradi. Bunda ularning amplitudalari teng optik yo'l farqi  $(2mQ_1) \frac{\lambda_0}{2}$  ga teng bo'lishi kerak. Hisoblarning ko'rsatishicha  $n = \sqrt{n_{sh}}$  bo'lganda amplitudalar teng bo'lar ekan,  $n_{sh} > n > n_0$  bo'lganligi uchun ikkala sirtida yarim to'lqin uzunligi yo'qotiladi va yorug'lik tik tushganda,

$$2nd = (2m + 1) \frac{\lambda_0}{2} \quad (13.30)$$

bo'ladi. Bu yerda  $nd$  – qatlamning optik qalinligi. Odatda,  $n = 0$  uchun

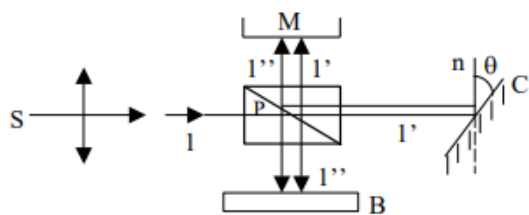
$$nd = \frac{\lambda_0}{4} \quad (13.31)$$

bo'ladi. Shunday qilib,  $n = \sqrt{n_{sh}}$  bo'lganda va qatlamning optik qalinligi  $\frac{\lambda_0}{4}$  ga teng bo'lganda, interferensiya natijasida qaytgan nurlarning so'nishi va o'tgan nurlar intensivligining ortishi kuzatiladi. Optik sistemaning ravshanlashuvi ana shundan iborat.

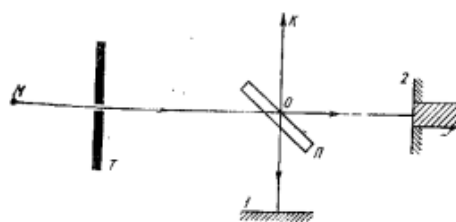
Interferensiya manzarasi interferensiyalanuvchi to'lqinlarning yo'llari ayirmasiga juda sezgir bo'ladi: yo'llar ayirmasining kichik o'zgarishlarida uzunliklar va burchaklarini aniq o'lchash uchun, shuningdek, shaffof muhitlarning sindirish ko'rsatkichlarini aniqlash uchun ishlatiladigan asboblarning tuzilishi shunga asoslangan. Sanoatda interferometrlar metall va boshqa silliqlangan dag'al sirtlarning silliqqligini tekshirishda keng qo'llaniladi.

Sirtlarning mikroskopik notekisliklarini payqash va oʻlchash uchun ishlatiladigan Linnik mikrointerferometrning ishi misolida interferometrlar bilan tanishaylik.

Monoxromatik yorugʻlik nurlarining (toʻlqin uzunligi  $\lambda$  boʻlgan) S dastasi yarim shaffof R qatlamga ( shisha kub diagonal kesimiga surtilgan yupqa kumush qatlamga) tushadi (33 – rasm). Bu nurlar-dan birining yoʻlini koʻraylik. Yarim shaffof qatlamda 1 nur «ikkiga ajaraladi»: qisman qatlam orqali oʻtadi va S koʻzguga tushadi (1' nur), qisman undan qaytadi va tekshirilayotgan V sirtiga tushadi (1'' nur). Soʻngra 1' nur koʻzgu va yarim shaffof qatlamdan qaytgandan soʻng va 1'' nur tekshirilayotgan sirdan qaytib, yarim shaffof qatlamdan oʻtgandan soʻng M mikroskopga tushadi. Bu nurlar kogerent nurlardir, shuning uchun ular interferensiyalanadi, ularning interferensiya manzarasi mikroskopning koʻrish maydonida koʻrinib turadi.



33-rasm



34-rasm

Endi Maykelpson interferometrining ishlash prinsipi bilan tanishaylik (34 - rasm). M manbadan chiqayotgan monoxromatik yorugʻlik nurlari yarim shaffof P plastinkaga tushadi. Bu plastinkadan nur qisman qaytadi, qisman oʻtadi. Qaytgan va oʻtgan nurlar oʻzaro perpendikulyar ravishda joylashgan 1 va 2 koʻzgulardan orqaga qaytadi. 1 koʻzgudan qaytgan nur P plastinkadan qisman oʻtib, OK yoʻnalishda kuzatuvchi tomon yoʻnalgan. 2 koʻzgudan qaytgan nur P dan qaytib, u ham OK boʻylab yoʻnalgan. Bu nur birinchi nur bilan interferensiyalashishi tufayli ekranda qorongʻi va yorugʻ yoʻllardan iborat boʻlgan interferension manzara namoyon boʻladi.

Agar koʻzgulardan biriga, masalan 2 koʻzguga deformatsiyasi oʻrganilayotgan jism yopishtirilgan boʻlsa, deformatsiya tufayli jism koʻzgu bilan

birga  $\frac{\lambda_0}{2}$  masofaga P plastinka tomon siljisin. Keyin 1 ko'zguga tushib qaytgan nur  $\frac{\lambda_0}{2}$  teng kamroq yo'l yuradi. Yo'llar farqi tufayli ekranda interferension manzara hosil bo'ladi va u to'liq bir yo'lga siljigan bo'ladi. Bu esa o'z navbatida jism deformatsiyasining kattaligi haqida ma'lumot beradi.

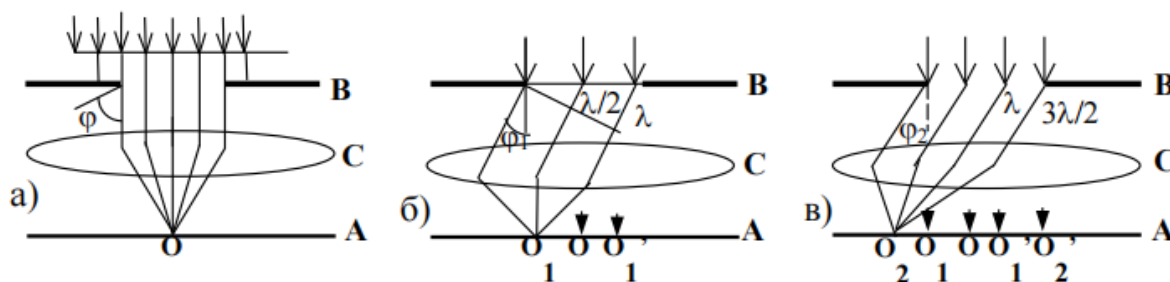
Yorug'lik nurlarining shaffof bo'lmagan to'siqlaridan egilib o'tib geometrik soya sohasiga o'tish hodisasiga, difraktsiya deb ataladi. Difraktsiya so'zi lotincha «difrakcio», «egilib o'tish» maonosini beradi.

Difraktsiya hodisasini kuzatish uchun quyidagi tajribani qilaylik. M dan tarqalayotgan monoxromatik yorug'lik nurining yo'lga disk shaklidagi T to'siq joylashtiraylik. Nur to'g'ri chiziq bilan tarqalgani uchun T to'siqning E ekrandagi soyasi-doira shaklidagi qorong'i I soha kuzatilishi kerak. Lekin to'siqdan ekrangacha masofa to'siq o'lchamidan ko'p marta katta bo'lgan holda ekranda ketma-ket joylashgan yorug' va qorong'i konsentrik halqalar kuzatiladi. Gyuygens printsipiga asosan, bu hodisa quyidagicha tushuntiriladi: to'lqin frontining har bir nuqtasini ikkilamchi to'lqinlarning manbalari deb hisoblash mumkin. Frenel esa Gyuygens printsipini takomillashtirib, bu ikkilamchi to'lqinlarning manbalarini kogerent manbalar deb va fazoning ixtiyoriy nuqtasidagi tebranishi bu nuqtaga yetib kelgan ikkilamchi kogerent to'lqinlar interferentsiyalashishining natijasi deb qarash lozim, degan fikrni berdi. Bu printsipni Gyuygens – Frenel printsipi deb yuritila boshlandi. Difraktsiya hodisalari ikki sinfga bo'linadi. To'siqqa tushayotgan nurlar parallel dastasini hosil qilgan va difraktsion manzara manbadan cheskizlikda mujassamlashgan holdagi difraktsiyalarni Fraungofer tekshirgan. Shuning uchun bu hodisalar Fraungofer difraktsiyasi deyiladi. To'siqqa tushayotgan sferik to'lqin frontiga ega bo'lgan yorug'lik difraktsiyasini Frenel o'rgangan. Shuning uchun bu sinfga oid difraktsiyalarni Frenel difraktsiyasi deyiladi.

Difraktsiya manzarasi odatda shugullanuvchi tor tirqishlar yordamida hosil qilinadi. Shuning uchun yorug'likning bir tirqishdan, ikki tirqishdan va ko'p parallel tirqishlardan difraktsiyasini ko'rib chiqaylik. Tirqishlarga perpendikulyar bo'lgan parallel nurlar dastasidan, Fraungofer difraktsiyasi hosil bo'ladi:

**a) Bir tirqishdan bo`ladigan difraktsiya.**

To`g`ri to`rt burchakli tor tirqishli V ekranga parallel monoxromatik nurlar dastasi normal holda tushayotgan bo`lsin.



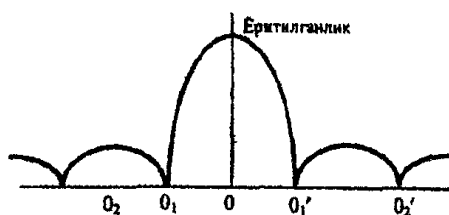
35-rasm

Tirqishdan dastlabki yo`nalishida o`tayotgan barcha nurlar S linza yordamida linzaning fokal tekisligida joylashgan A ekranning O nuqtasiga to`planadi. Bu hodisada barcha nurlar yo`l ayirmasi 0 ga teng bo`ladi. O nuqta orqali tirqishga parallel yorug` yo`l o`tadi. Endi difraktsiya tufayli tirqishdan o`tgan nurlarning faqat dastlabki yonalishida emas, balki bu yo`nalishdan turli  $\varphi$  burchaklarga burilishini nazarga olamiz.  $\varphi$  burchak **difraktsiya burchagi** deb ataladi.

Tirqishdan shunday  $\varphi = \varphi_1$  burchak ostida difraktsiyalanuvchi nurlari dastasini ko`raylikki, dastaning chekka nurlari orasidagi yo`l ayirmasi  $\Delta l$  yorug`lik to`lqining uzunligiga teng bo`lsin,  $\Delta l = 2 \frac{\lambda}{2}$  (35 – rasm). Bunda butun dastani **Frenel zonasi deb ataladi**. Frenel zonalarini shunday I va II zonalarga ajartish mumkinki, bu zonalar uchun I zonaning har bir nuri bilan II zona mos nurining yo`l ayirmasiga  $\frac{\lambda}{2}$  ga teng bo`ladi. Linza yordamida  $O_1$  nuqtadan o`tgan to`g`ri chiziqda to`plangan, bu nurlar interferentsiyalanadi va o`zaro so`nadi. Natijada  $O_1$  orqali yo`l – **difraktsiya minimumi o`tadi** (bu hol  $O_1$  ga simmetrik bo`lgan  $O'_1$  da ham ro`y beradi).

$\varphi = \varphi_2$  burchak ostida difraktsiyalanuvchi boshqa nurlar dastasining chekka nurlar orasidagi yo`l ayirmasi  $\frac{3\lambda}{2}$  ga teng bo`lsin (35 v - rasm). Bu holda butun dastani uchta I, II, III Frenel zonalariga ajartish mumkin. Ikki qo`shni zonaning (I, II) bir-birini so`ndirishi tushunarli (chunki bu zonalarning nurlari orasidagi yo`l ayirmasi  $\frac{\lambda}{2}$  ga teng) III zona esa so`nmaydi va  $O_2$  nuqtadan o`tuvchi chiziqda difraktsiya

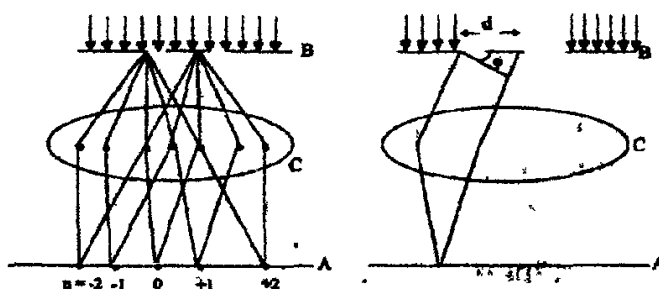
maksimumini beradi.  $O_2$  nuqtaga simmetrik bo'lgan  $O_2'$  nuqtadan o'tuvchi to'g'ri chiziqda shunday maksimum paydo bo'ladi.  $O_2$  va  $O_2'$  maksimumlarning yoritilganligi  $O$  maksimumning yoritilganligidan ancha kam bo'ladi bo'ladi.



36-rasm

Shunday qilib, Frenel zonalarining tok soniga mos burchaklar bilandifraksiyalanuvchi nurlar dastasi ekranda difraksiya maksimumlarini hosil qiladi. Frenel zonalarining juft soniga mos burchaklar bilan difraksiyalanuvchi nurlar dastasi difraksiya minimumlar hosil qiladi. Bu maksimumlarni hosil qiluvchi nurlarning difraksiya burchaklari ortishi bilan maksimumlarni yoritilganligi kamayadi. Natijada bir tirqishdan hosil qilinadigan difraksiya manzarasi markazi yorug' yo'ldan har ikki tomonda simmetrik joylashgan qorong'iva yorug' yo'llarning navbatlashishidan iborat.

b) Ikki va ko'p parallel tirqishlardan hosil bo'lgan difraktsiya. Parallel monoxromatik nurlar dastasi bir-biridan  $d$  masofada joylashgan ikkita parallel tirqishi bo'lgan V ekranga perpendikulyar tushayotgan bo'lsin (37-rasm).



37-rasm

Bunda bu tirqishlar yorug'likning kogerent manbalari bo'lib qoladi. Agar V ekran orasida S yig'uvchi linza qo'yilgan bo'lsa, u holda linzaning fokal tekisligida joylashgan. A ekranda difraksiya manzarasi vujudga keladi, bu difraksiya manzarasi ikki jarayonning, yaoni yorug'likning har bir ayrim tirqishdan interferensiyasi

natijasidir. Biroq bu manzaraning asosiy xususiyatlari ko'proq ikkinchi jarayon bilan aniqlanadi.

Yorug'likning bir-biriga yaqin joylashgan ko'plab parallel tirqishlar to'plamidan difraksiyalanganida ham difraktsiya manzarasining ko'rinishi ikki tirqishdan difraksiyalanishdagi ko'rinishda bo'ladi. Faqat maksimumlar ravshanroq va torroq, ularni ajratib turgan minimumlar esa keng va amalda butunlay qorong'i ko'rinadi. Bunday qurilma difraksion panjara deyiladi.  $d$  masofa panjaraning davri (doimiysi) deyiladi. Difraksion panjaralar shisha plastinka yoki metall ko'zgu sirtiga shtrixlar (tirnashlar) chizish yo'li bilan tayyorlanadi. Difraksion panjara bilan yorug'lik to'lqin uzunligini aniqlash mumkin.

Difraksion manzarani kuzatilishi uchun panjara doimiysi, tushayotgan yorug'likning to'lqin uzunligi bilan bir xil tartibda yoki kichik bo'lishi kerak. Tabiiy fazoviy panjara, ya'ni kristallaranning panjara doimiysi  $\sim 10^{-10}$  m tartibida bo'ladi. Ko'rinadigan yorug'likning to'lqin uzunliklari esa atigi  $(4 \div 7,5) \cdot 10^{-10}$  m ni tashkil qiladi xolos. Demak, kristall panjarada vujudga kelishi mumkin bo'lgan difraksion manzarani oq yorug'likdan foydalanib hosil qilib bo'lmaydi.

### **Sinov savollari**

1. Normal va anomal dispersiyalar nimasi bilan bir-biridan farq qiladi?
2. Prizma va difraksion panjara yordamida olingan spektrlarni qaysi xususiyatlariga binoan ajratish mumkin?
3. Yorug'lik dispersiyasi elektron nazariyasining asosiy tamoyillari va xulosalari nimadan iborat?
4. Nima sababdan metallar yorug'likni to'liq yutadi?
5. Vavilov-Cherenkov nurlanishi qachon hosil bo'ladi?
6. Tabiiy, yassi qutblangan va qisman qutblangan yorug'liklarga ta'rif bering?
7. Yassi qutblangan va tabiiy yorug'liklarni amalda qanday farqlash mumkin?
8. Agar ikki polyarizator orqali o'tgan tabiiy yorug'likning intensivligi ikki marta kamaygan bo'lsa, unda polyarizatorlar o'zaro qanday joylashgan bo'ladi?
9. Bryuster burchagining ahamiyati nimada?

10. Bryuster qonuni bajarilganda qaytgan va singan nurlar o'zaro perpendikulyar bo'lishini isbotlang?
11. Kristalning optik o'qi deb nimaga aytiladi? Ikki o'qli va bir o'qli kristallarning farqini tushuntirib bering.
12. Bir o'qli optik anizotrop kristallarda nur ikkiga ajralib sinishining sababi nimada?
13. Kerr effekti nimani bildiradi?

#### **14-Mavzu. Nurlanishning kvant tabiati. Fotoeffekt hodisasi**

##### **Reja:**

1. Issiqlik nurlanishi va uning xarakteristikalarini.
2. Kirxgof qonuni.
3. Stefan - Bolsman qonuni. Vinning siljish qonuni.
4. Reley formulasi. Plank formulasi.
5. Optik pirometriya
6. Fotoelektrik effekt va uning turlari. Tashqi fotoeffekt qonunlari.
7. Tashqi fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasi.
8. Fotoeffektning qo'llanilishi.
9. Fotonning energiyasi, massasi va impulsi.
10. Kompton effekti va uning elementar nazariyasi.

**Tayanch iboralar:** *Tashqi fotoeffekt, to'yinish fototok, Stoletov qonuni, qizil chegara, tashqi fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasi. Issiqlik nurlanish, spektral zichligi, kirxgof qonuni, Vin doimiysi, Stefan-Bolsman qonuni.*

Isitilgan jismning o'zidan yorug'lik chiqarish hodisasini issiq nurlanishi deyiladi. U moddadagi atom va molekularning issiqlik harakat (demakki ichki) energiyasi hisobiga sodir bo'ladi va  $OK$  dan yuqori temperaturali barcha jismlar uchun o'rinlidir. Issiqlik nurlanishi - uzluksiz spektr bilan xarakterlanadi, undagi maksimumning holati temperaturaga bog'liq bo'ladi. Yuqori temperaturalarda qisqa (yorug'lik va ultrabinafsha) nurlanishi hamda past temperaturalarda esa uzun (infraqizil) nurlanishlar kuzatiladi.

Issqlik nurlanishi - amalda uchraydigan birdan-bir muvozanatli nurlanishdir.

Jism energetik yorqinligining spektral zichligi - issiqlik nurlanishning miqdoriy xarakteristikasi hisoblanadi. U jismning birlik yuzasidan, chastotaning bir birlik kenglik intervalida chiqariladigan nurlanishning quvvatiga mos keladi.

$$R_{\nu T} = \frac{dW_{\nu, \nu+d\nu}}{d\nu}$$

bunda  $dW_{\nu, \nu+d\nu}$  vaqt birligi ichida jismning birlik yuzasidan,  $\nu$  va  $\nu + d\nu$  chastota intervalida chiqariladigan elektromagnit nurlanish energiyasidir.

$$[R_{\nu, T}] = \frac{j}{m^2 \cdot s}$$

$R_{\nu, T}$  va  $R_{\nu T}$  orasida quyidagi bogʻlanish mavjud:

$$R_{\nu, T} = R_{\nu T} \cdot \frac{\lambda^2}{c}$$

Integral energetik yorqinlikni hisoblaymiz:

$$R_T = \int_0^{\infty} R_{\nu, T} d\nu$$

Jismlarning oʻziga tushayotgan nurlanishni yutish imkoniyati - spektral yutish qobiliyati deb ataluvchi kattalik bilan xarakterlanadi:

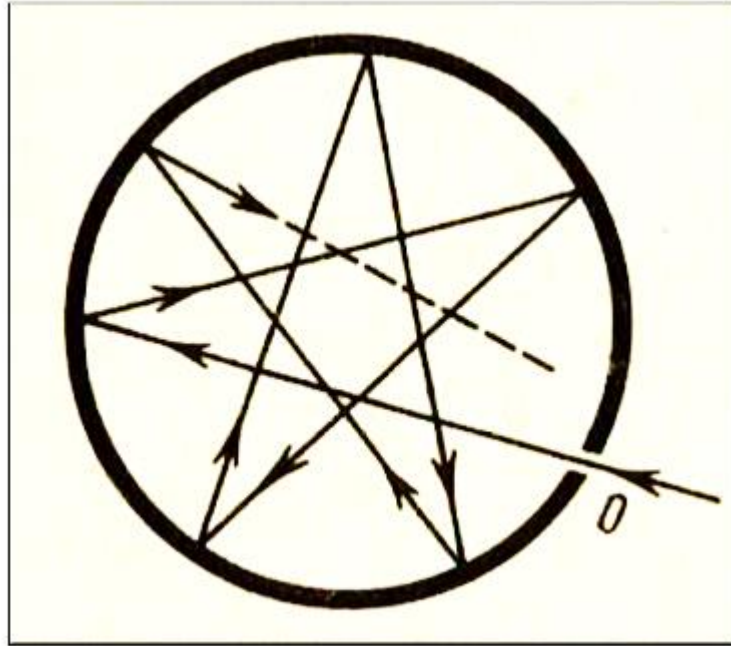
$$A_{\nu, T} = \frac{dW_{\nu, \nu+d\nu}^{yutil}}{dW_{\nu, \nu+d\nu}}$$

$R_{\nu, T}$  va  $A_{\nu, T}$  - jismning tabiatiga uning termodinamik temperaturasiga bogʻliq boʻladi. Bunda turli chastotali nurlanishlar uchun turlicha boʻladi. Shuning uchun bu kattaliklar juda kichik  $\nu$  va  $\nu + d\nu$  chastotalar intervali uchun aniqlanadi.

Istalgan turli chastotali barcha nurlanishni toʻla yutadigan jismni absolyut qora jism deb yuritiladi.

Absolyut qora jism uchun taʼrifiga koʻra  $A_{\nu, T}^k \equiv 1$ . Uning ideal modeli (29- rasm) koʻrsatilgan:





14.1-rasm

Absolyut qora jism bilan bir qator kulrang jism tushunchasidan ham foydalaniladi:

$$A_{\nu,T}^k = A_T \text{const} < 1$$

Kirxgof, termodinamikaning ikkinchi qonuniga tayanib hamda berk tizimdagi jismlarning muvozanatli nurlanish shartlarini tahlil qilib, quyidagi bog‘lanishni aniqladi:

Energetik yorqinlik spektral zichligining, spektral yutish qobiliyatiga nisbati jismning tabiatiga bog‘liq emas. U barcha jismlar uchun chastota (to‘lqin uzunligi) va temperaturaning universal funksiyasi hisoblanadi:

$$\frac{R_{\nu,T}}{A_{\nu,T}} = r_{\nu,T}$$

Ma’lumki absolyut qora jism uchun  $A_{\nu,T}^k \equiv 1$  shuning uchun  $R_{\nu,T} = r_{\nu,T}$  ya’ni Kirxgofning universal funksiyasi  $r_{\nu,T}$  - absolyut qora jism energetik yorqinligining spektral zichligi bo‘ladi: Kirxgof qonuni faqat issiqlik nurlanishini tavsiflaydi. Kirxgof qonuniga bo‘ysunmaydigan nurlanishlar - issiqlik nurlanishi bo‘la olmaydi. Absolyut qora jismning energetik yorqinligi - uning absolyut temperaturasining to‘rtinchi darajasiga to‘g‘ri proporsionaldir (Stefan-Bolsman qonuni):

$$R_e = \sigma T^4$$

bunda  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Bt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$  Stefan - Bolsman doimiysi.

Stefan - Bolsman qonuni  $R_e$  ning temperaturaga bog'liqligini ko'rsatadi, lekin qora jism nurlanishning spektral tarkibi haqida ma'lumot bermaydi. Turli temperaturalar uchun,  $r_{\lambda T}$  funksiya bilan  $\lambda$  to'lqin uzunlik orasidagi bog'lanish egri chizig'ini tahlil qilib ko'raylik.

Unda, qora jism spektridagi energiya taqsimoti notekis ekanligini ko'rish mumkin. Barcha egri chiziqalarda alohida ajralib turadigan maksimumlar mavjud bo'lib, u temperatura ortishi bilan qisqa to'lqinlar sohasi tomonga siljiydi.

Uni nemis olimi V. Vin termodinamika va elektrodinamika qonunlariga tayanib, quyidagi bog'lanish orqali ifodalanishini aniqladi. Vinning siljish qonuni:

$$\lambda_{max} = b/T$$

ya'ni absolyut qora jism maksimal energetik yorqinligining spektral zichligiga mos keluvchi  $\lambda_{max}$  to'lqin uzunligi - uning absolyut temperaturasiga teskari proporsionaldir.

$b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$  - Vin doimiysi. Bu qonun, funksiya maksimum holatining temperaturaga bog'liq holda siljishini aniqlab beradi. Shuningdek, u-qizdirilgan jismlarning temperaturasi pasayganda, nima sababdan spektrda uzun to'lqinli nurlanishlar ko'payishini ham izohlaydi.

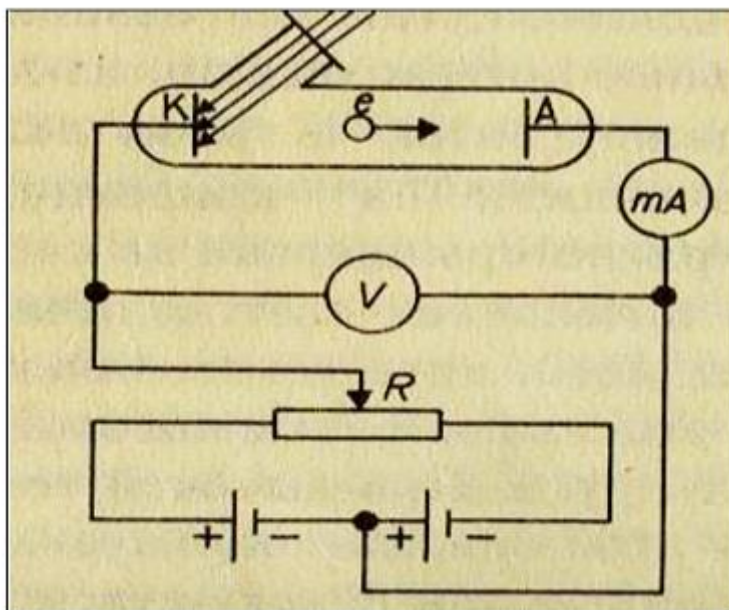
Stefan-Bolsman va Vin qonunlari issiqlik nurlanish nazariyasida muhim rol o'ynashiga qaramasdan, xususiy qonun hisoblanadi. Chunki ular turli temperatura - chastotalar bo'yicha energiya taqsimotining umumiy manzarasini oydinlashtira olmaydi.

Fotoeffektning uch turi mavjud.

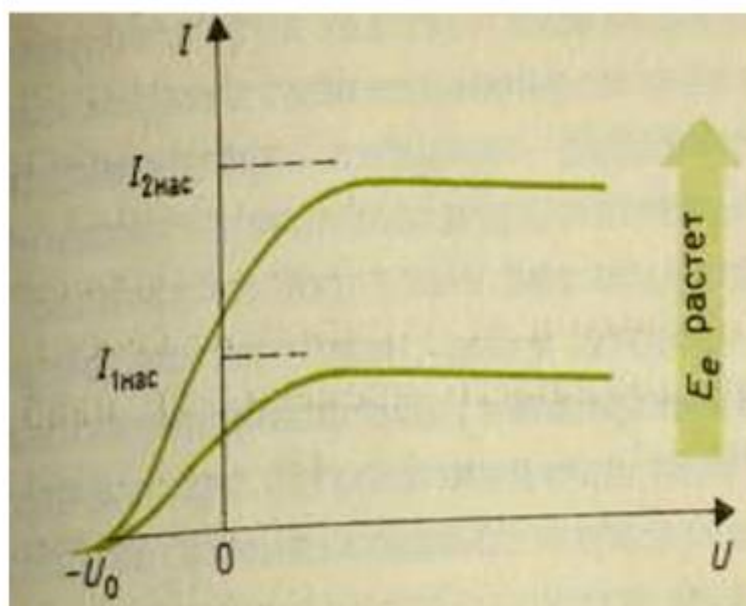
1) Elektromagnit nurlanish ta'siri ostida moddadan elektronlarning ajralib chiqish hodisasiga tashqi fotoelektrik effekt (fotoeffekt) deyiladi. Tashqi fotoeffekt qattiq jism (metall, yarimo'tkazgich, dielektrik) larda va shuningdek alohida atomli va yoki molekulali gazlarda (fotoionizatsiya) uchraydi.

Rus olimi A.G. Stoletov birinchilardan bo'lib, fotoeffekt hodisasi ustida fundamental tadqiqotlar o'tkazdi.

Tajribalar o‘tkazilgan qurilmaning prinsipial sxemasi (2-rasm) da ko‘rsatilgan.



14.2-rasm



14.3-rasm

Vakuimli trubkada joylashgan ikki elektrod (o‘rganilayotgan metall dan tayyorlangan katod -  $K$  va to‘r metalli anod –  $A$ ) batareyaga shunday ulanganki,  $R$  potensiometr yordamida ularga beriladigan kuchlanishning nafaqat miqdorini va balki ishorasini ham o‘zgartirib turishi mumkin. Stoletov katodni turli to‘lqin uzunlikdagi yorug‘liklar bilan nurlantirib, quyidagilarni aniqladi:

- ultrabinafsha nurlanish eng effektiv ta'sir ko'rsatadi;
- yorug'lik ta'sirida modda faqat manfiy zaryadlarini yo'qotadi;
- yorug'lik ta'sirida hosil bo'luvchi tok kuchi – yorug'likning intensivligiga proporsional bo'ladi.

2) Elektromagnit nurlanish ta'sirida yarim o'tkazgich yoki dielektrik ichidagi bog'langan holdagi elektronlarning tashqariga chiqmasdan - erkin holatga o'tish hodisasi - ichki fotoeffekt deb aytiladi. Natijada jism ichidagi tok tashuvchilar konsentratsiya ortadi. Bu o'z navbatida foto o'tkazuvchanlik xususiyatini paydo qiladi yoki elektr yurituvchi kuch (*EYuK*) hosil bo'lishiga sababchi bo'ladi.

3) Ikki turdagi yarimo'tkazgich yoki yarimo'tkazgich va metallarning kavsharlangan qismini (tashqi elektr maydonidan holi bo'lgan holda) yorug'lik nuri bilan yoritilganda *EYuK* (foto *EYuK*) hosil bo'lish hodisasiga ventilli fotoeffekt deyiladi. Ventilli fotoeffekt yordamida quyosh energiyasini to'g'ridan to'g'ri elektr energiyasiga aylantirish imkoniyati yaratiladi.

3 - rasmda fotoeffektning volt–amper xarakteristikasi (fototok  $I$  bilan elektrodlar orasidagi kuchlanish  $U$  orasidagi diagramma) keltirilgan. Bunda,  $U$  oshirilsa fototok ham oshib boradi, ya'ni yana ham ko'p sondagi elektronlar anodga yetib boradi. Ma'lum bo'lishicha, elektronlar katoddan har xil tezliklarda uchib chiqishar ekan. Agar katoddan chiqqan barcha elektronlar anodga yetib borsa maksimal tok  $I_{to'y} = en$  - to'yinish fototoki - hosil bo'ladi.

$$I_{to'y} = en$$

bunda  $n$  - katoddan 1 s mobaynida uchib chiqqan elektronlar soni.

Volt - amper xarakteristikasidan ko'rinadiki  $U = 0$  qiymatda fototok yo'qolib, nolga aylanmaydi. Bundan esa, yorug'lik ta'sirida katoddan urib chiqarilgan elektronlar ma'lum bir boshlang'ich tezlik (va demakki noldan farqli kinetik energiya) ga ega bo'lib, ular tashqi maydon ta'sirisiz ham anodga yetib borishi ma'lum bo'ladi. Fototok nolga aylanishi uchun elektrodlanga ushlab qoluvchi potensial  $U_0$  berilishi lozim bo'ladi.  $U = U_0$  bo'lganda birorta ham

elektron (hatto katoddan  $\vartheta_{max}$  bilan uchib chiqqanlari ham) anodga yetib borolmaydi:

$$m\vartheta_{max}^2/2 = eU_0$$

ya'ni, ushlab qoluvchi potensialni o'lchab, fotoelektronning maksimal tezligi va kinetik energiyasini bilish mumkin bo'ladi.

Fotoeffekt quyidagi uchta qonunga bo'ysunadi:

1) Belgilangan chastotali yorug'lik ta'sirida vaqt birligi ichida katoddan ajralib chiqadigan elektronlarning soni yorug'lik intensivligiga proporsional (to'yinish fototokining kuchi katodning energetik yoritilganligiga proporsional) bo'ladi. Bu Stoletov qonuni deb ham yuritiladi.

2) Fotoelektronlarning maksimal tezligi (maksimal kinetik energiyasi) tushayotgan yorug'likning intensivligiga bog'liq bo'lmaydi, balki faqat uning chastotasi bilan aniqlanadi, to'g'rirog'i chastotaga chiziqli bog'liq holda o'zgaradi.

3) Har qanday modda uchun fotoeffektning «qizil chegarasi» mavjud, ya'ni yorug'likning shunday minimal  $\nu_0$  chastotasi mavjudki (u moddaning ximiyaviy tabiatiga va shu modda sirtining tozalik darajasiga bog'liq), undan kichik chastotali yorug'likning har qanday intensivligida ham fotoeffekt vujudga kelmaydi. Yorug'likning to'lqin nazariyasi asosida fotoeffekt hodisasini tushuntirib bo'lmaydi. Ma'lumki, Plank nazariyasiga ko'ra yorug'lik atomlardan alohida portsiya (kvantlar) holida nurlanadi va uning energiyasi  $E_0 = h\nu$  ga teng. Eynshteyn esa yorug'likning tarqalish va yutilish jarayoni ham xuddi nurlanish kabi kvantlar holida sodir bo'ladi degan fikrni bildirdi. Shunga binoan yorug'likning tarqalishini uzluksiz to'lqin jarayoni deb emas, balki uni fazoda chekli tarzda jamlanib joylashuvchi - diskret yorug'lik kvantlarining oqimi sifatida qarash lozim bo'ladi. Elektromagnit nurlanishning bunday kvantlari foton nomini oldi. Ular vakuumda  $c = 3 \cdot 10^8$  m/cm tezlik bilan tarqaladi. Eynshteyn talqiniga ko'ra, har bir kvant faqat bitta elektron tomonidan yutilishi mumkin. Shu sababli atomdan uzib chiqarilgan fotoelektronlar soni yorug'lik intensivligiga proporsional bo'ladi. (fotoeffektning I - qonuni).

Tushayotgan fotonning energiyasi avvalo elektronning metalldan ajralib chiqish ishi ( $A$ ) ni bajarishiga va soʻngra esa oʻsha elektronga kinetik energiya  $m\vartheta^2/2$  berishga sarflanadi. Energiyaning saqlanish qonuniga binoan:

$$h\nu = A + m\vartheta_{max}^2/2$$

Bu ifodani tashqi fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasi deb aytiladi. Uning yordamida fotoeffektning barcha qonunlarini izohlash mumkin:

- Fotoelektronning maksimal kinetik energiyasi tushayotgan nurlanishning chastotasiga chiziqli bogʻliq holda oʻsadi, lekin uning intensivligi (fotonlar soni) ga bogʻliq boʻlmaydi. Chunki  $A$  va  $\nu$  yorugʻlikning intensivligiga bogʻliq emas (fotoeffektning II qonuni).

- Yorugʻlikning chastotasi kamayishi bilan fotoelektronlarning kinetik energiyasi ham mos holda kamayib boradi. (ayni bir metall uchun  $A = const$ ). Chastotaning qandaydir  $\nu = \nu_0$  minimal qiymatida fotoelektronlarning kinetik energiyasi nolga aylanadi va fotoeffekt jarayoni toʻxtaydi (fotoeffektning III qonuni).

Aytilganlardan quyidagi kelib chiqadi.

$$\nu_0 = A/h$$

bu ifoda mazkur metall uchun fotoeffektning «qizil cheragasi» ni belgilaydi. U faqatgina elektronning chiqish ishiga bogʻliq boʻladi, yaʼni moddaning kimyoviy tabiatiga va sirtining tozalik holatiga bogʻliq tarzda aniqlanadi. Agar ushlab qoluvchi potentsiallar farqi  $U_0$  eʼtiborga olinsa quyidagi tenglik oʻrinli boʻladi:

$$eU_0 = h(\nu - \nu_0)$$

Agar yorugʻlikning intensivligi oʻta yuqori boʻlsa, masalan (lazer nur dastasi uchun) koʻp fotonli (chiziqlimas) fotoeffekt kuzatiladi. Unda metalldan uchib chiquvchi elektron  $N$  fotondan energiya olishi mumkin. Koʻp fotonli fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasi:

$$Nh\nu = A + m\vartheta_{max}^2/2$$

Fokuslanuvchi lazer nur dastasi bilan oʻtkaziladigan tajribalarda fotonlarning zichligi ayniqsa katta boʻladi. Bu jarayonda elektron bir necha fotonni bir vaqtda yutib, «qizil chegara» si katta toʻlqin uzunlik (past chastota) lar tomonga siljiydi

## Sinov savollari

1. Kulrang jism absolyut qora jismdan nimasi bilan farq qiladi?
2. Kirxgofning universal funksiyasi qanday fizikaviy mazmuniga ega?
3. Agar absolyut qora jism termodinamik temperaturasini ikki marta kamaytirsak, uning energetik yorqinligi qancha martaga va qanday o'zgaradi?
4.  $r_{\nu,T}$  va  $r_{\lambda,T}$  egri chiziqlarini chizib, ularni solishtiring.
5. Temperatura oshishi bilan absolyut qora jism energetik yorqinligining spektral zichlik maksimumi qanday siljiydi?
6. Plank formulasidan foydalanib, Stefan-Bolsman doimiysini toping?
7. Qanday shartlar asosida Plank formulasidan Vin qonunini yoki Reley-Jins formulasini keltirib chiqarish mumkin?
8. Yorug'likning berilgan chastotasida katodning yoritilganligi kamaysa, fototokning to'yinish qiymati qanday o'zgaradi?
9. Fotoeffekt bo'yicha tajribalardan foydalanib Plank doimiysini aniqlash mumkinmi?
10. Eynshteyn tenglamasi yordamida fotoeffektning I va II qonunlarini tushuntiring.
11. Katodning berilgan chastotadagi ikki xil yoritilganligiga va katodning berilgan yoritilganligida ikki xil chastotaga mos keluvchi volt - amper xarakteristikasini chizing va tushuntiring?
12. Foton va elektron orasidagi o'zaro ta'sir xarakterlari fotoeffekt va Kompton effektlarida qanday farqlanadi?

## 15-Mavzu. Atom va yadro fizikasi.

### Reja:

1. Atomning Tomson va Rezerford modellari
2. Vodorod atomining chiziqli spektri
3. Bor postulatlari. Frank va Gers tajribasi
4. Vodorod atomining spektri uchun Bor nazariyasi

5. Modda xossalariining korpuskulyar – to‘lqin dualizmi. De- Broyl to‘lqin funksiyasi. Shredingerning umumiy hamda statsionar holatlar uchun tenglamalari.
7. Vodorod atomining kvant mexanikasidagi talqini. Kvant sonlari.
8. Elektronning spini. Spin kvant soni. Shtern – Gerl tajribasi. Pauli prinsipi.
9. Rentgen spektrlari. Mozli qonuni.
10. Optik kvant generatorlari (Lazerlar).
11. Atom yadrosining o‘lchami, tarkibi va zaryadi. Massa va zaryad soni.
12. Massa defekti va yadroning bog‘lanish energiyasi.
13. Yadro spini va uning magnit momenti. Yadro kuchlari.
14. Radioaktiv nurlanish va uning turlari. Radioaktiv yemirilish qonuni. Siljish qoidasi.

**Tayanch iboralar:** *Tomson va Rezerford modeli, Frank va Gers tajribasi, De- Broyl to‘lqin, Shtern – Gerl tajribasi. Pauli prinsipi. Rentgen spektrlari. Mozli qonuni.*

*Atom yadrosining tarkibi, zaryadi, o‘lchami va massasi. Massa deffekti va bog‘lanish energiyasi. Yadro kuchlari. Yadro bo‘linishi. Radioaktivlik.  $\alpha$ ,  $\beta$  va  $\gamma$  nurlar.*

1919 yilda Rezerford azot yadrosini alfa zarralar bilan bombardimon qilganda ulardan vodorod yadrolari ajralib chiqishini kuzatgan. Rezerford bu zarralarni proton (grekcha «birinchi» degan so‘zdan olingan) deb atadi. 1932-yilda Rezerfordning shogirdi Chedvik yadro tarkibiga kiruvchi yana bir zarra – neytronni aniqladi. 1932 yilda Chedvik kashfiyotidan keyin sovet fizigi D.D. Ivanenko va nemis fizigi V. Geyzenberglar bir-biridan mustaqil ravishda atom yadrosi protonlar va neytronlardan tashkil topgan degan fikrni ilgari surdilar. Shu tariqa atom yadrosining proton va neytronli modeli yaratildi. Proton va neytronni yagona nom bilan **nuklon** deb ataladi.

Proton musbat zaryadga ega bo‘lib, elektron zaryadiga teng, ya’ni  $q_1 = q_2 = 1.60219 \cdot 10^{-19} C.$ , uning tinchlikdagi massasi  $m_p = 1.67265 \cdot 10^{-27} kg$ . Atom va yadro fizikasida massaning atom birligi (*m. a. b*) kattaligidan keng foydalaniladi.



1 *m. a. b* uglerod 12 atomi massasining  $\frac{1}{12}$  ulushiga, ya'ni  $1.66057 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$  ga teng. Natijada  $m_r = 1.00727 \text{ m. a. b}$  ga teng bo'ladi. Neytron esa elektroneytral zarra bo'lib, uning tinchlikdagi massasi  $m_n = 1.67495 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1.008665 \text{ m. a. b}$  ga teng. Massa va energiyaning ekvivalentli qonuni  $W = mc^2$  ga asoslanib, massa *J* larda yoxud *eV* larda ( $1\text{J} = 6.2419 \cdot 10^{18} \text{ eV}$ ) ham ifodalanadi. Demak,

$$\begin{aligned} m_p &= 1.5033 \cdot 10^{-10} \text{ J} = 938.28 \text{ MeV} \\ m_n &= 1.5054 \cdot 10^{-10} \text{ J} = 939.57 \text{ MeV} \end{aligned} \quad (15.1)$$

Neytron va protonlar xususiy magnit momentlarga ham ega:

$$\begin{aligned} \mu_n &= -1.91\mu_y \\ \mu_p &= 2.79\mu_y \end{aligned} \quad (15.2)$$

Bu ifodadagi  $\mu_y$  - **yadroviy magneton** deb ataladi;  $\mu_y$  – **yadroviy zarralarning magnit momentlarini** o'lchash uchun qo'llaniladigan kattalikdir. Agar Bor magnetonidagi elektron massasi  $m_e$  o'rniga proton massasi  $m_r$  ni qo'ysak,

$$\mu_y = \frac{eh}{2m_p \cdot 2} = 5.0508 \cdot 10^{-27} \text{ A} \cdot \text{m}^2 \quad (15.3)$$

yadroviy magneton ifodasini hosil qilamiz.

D.I. Mendeleev davriy sistemasidagi elementlarning tartib nomeri *Z* shu element atomi yadrosining zaryadini aniqlaydi, ya'ni  $q_{ya} = qZ_e$ . Yadro tarkibidagi barcha protonlar soni *Z* va barcha neytronlar soni *N* ning yig'indisi, yadrodagi nuklonlar sonini ifodalaydi.

$$Z + N = A \quad (15.4)$$

**yadroning massa soni** deb ataladi.

Kimyoviy elementlarning atom yadrolarini  ${}^A_ZX$  simvol bilan belgilash qabul qilingan, bunda *X* element simvoli, *A* – massa soni, *Z* – atom tartib nomeri. Masalan,  ${}^4_2\text{He}$  geliy atom yadrosini,  ${}^{16}_8\text{O}$  kislorod atom yadrosini bildiradi va shu kabilar.

Yadroda protonlar soni bir xil, ammo neytronlar soni har xil atomlar **izotoplar** deyiladi. Masalan, vodorodning uchta izotopi mavjud.  ${}^1_1\text{H}$  (protiy),  ${}^2_1\text{H}$  (deyteriy) va  ${}^3_1\text{H}$  (tritiy).

Ya.I. Frenkelp nazariyasiga ko'ra atom yadrosini **suyuqlik tomchisiga** o'xshatish mumkin. Suyuqlik tomchisidagi molekulalar o'zaro molekulyar tutinish kuchlari bilan bog'langani singari yadroni tashkil qiluvchi nuklonlar ham o'zaro alohida tortilish kuchlari – **yadro kuchlari** bilan bog'langan. Ko'pgina elementlar atom yadrolarining barqarorligi yadro kuchlarining nihoyatda ulkan ekanligini ko'rsatadi.

Yadro kuchlari faqat juda kichik masofalardagina ( $10^{-13} \text{cm}$  tartibida) namoyon bo'ladi. Nuklonlar orasidagi masofa biroz ortganda yadro kuchlari nolgacha kamayadi va kulon kuchlari protonlarni ajratib yuboradi (yadroni parchalaydi). Yadro kuchlari gravitatsion va elektr kuchlari bo'lmay, alohida turdagi kuchlardir. Ularning tabiati va xossalari hali to'liq o'rganilmagan. Hozirgi vaqtda haqiqatga eng yaqin deb yadro kuchlarining **mezon nazariyasini** hisoblashadi, bu nazariyaga muvofiq nuklonlar bir-biri bilan alohida elementar zarralar – **mezonlarni** almashish yo'li bilan o'zaro ta'sirlashadi.

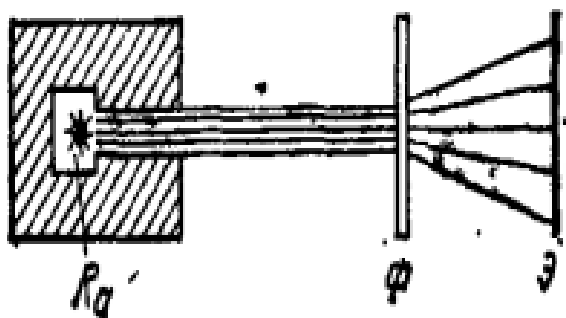
Bir xil sondagi protonlar va neytronlardan tashkil topgan yengil kimyoviy elementlarning yadrolari, ayniqsa, barqaror bo'ladi. Yadrolari ko'p sonli nuklonlardan tashkil topgan eng og'ir kimyoviy elementlarda (davriy sistemada qo'rg'oshindan keyin joylashgan) yadro kuchlari yadroning barqarorligini ta'minlay olmaydi. Bunday yadrolar o'z-o'zidan parchalanib ancha yengil elementlarning yadrolariga aylanadi. Bu hodisa tabiiy **radioaktivlik** deb ataladi.

Uzoq tarixdan ma'lumki, bizning ongimizdan tashqarida yashayotgan ob'ektiv borliq, ya'ni materiya atomlardan tashkil topgan. O'sha davrdan atomga materiyaning bo'linmas eng kichik zarrasi deb qaralgan edi. Shuning uchun ham atom grekcha «atomos» so'zidan olingan bo'lib, «bo'linmas» degan ma'noni anglatadi. XIX asr oxiriga kelib atomning murakkab tuzilganligi tajribalardan ayon bo'lib qoldi. Ayniqsa, bu 1896-yilda fransuz olimi A.Bekkerlp uran tuzlari qandaydir noma'lum nurlanish manbai ekanligini aniqlagandan so'ng yaqqol bo'lib qoldi. Bu nurlanish keyinchalik radioaktiv nurlanish nomini oldi. Radioaktiv nurlanish atom tarkibiga musbat va manfiy zaryadlangan zarralar kirishi mumkinligini ko'rsatdi. Atomning tuzilishi haqidagi birinchi atom modelini 1904-

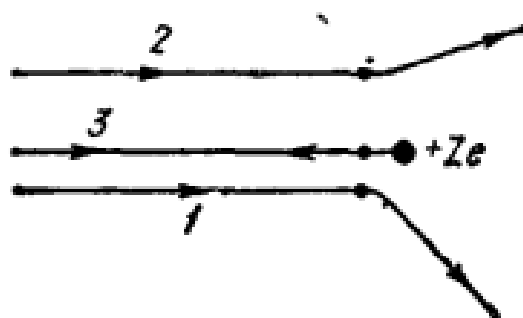
yilda ingliz olimi J.J.Tompson (1856-1940) yaratdi. Bu modelga binoan atom shar shaklida bo‘lib, uning butun hajmida zaryadlar bir tekis taqsimlangan. Shu musbat zaryadlar orasida elektronlar ham joylashgan bo‘lib, ularning soni musbat zaryadlar soniga teng bo‘lgani uchun atom neytral hisoblanadi. Elektron muvozanat vaziyatidan siljiganda uni muvozzant vaziyatiga qaytaruvchi elastik kuchga o‘xshash kuch hosil bo‘ladi. Shu kuch ta’sirida elektron garmonik tebranma harakat qiladi. Maksvell elektromagnit to‘lqin nazariyasiga asosan elektron atomda tebranma harakat qilgani uchun atom monoxromatik elektromagnit to‘lqin sochadi. Bu elektromagnit to‘lqin chastotasi elektronning tebranish chastotasiga to‘g‘ri keladi. Tomson shu atom modeli bilan atomning nurlanish spektri chiziqli bo‘lishini tushuntirib berdi. G.N.Lorens, Tompsonning bu atom modeli asosida yorug‘lik dispersiyasining elektron nazariyasini yaratdi. Bu nazariya normal va anomal dispersiyalarini tushuntirib berdi. O‘z vaqtida Tompson modeli fizikada muhim rol o‘ynaydi. Ammo bu model uzoq yashamadi. Ingliz olimi Rezerfordning radioaktiv moddalardan chiquvchi  $\alpha$ - zarrachalarini yupqa metal qatlamidan o‘tganda sochilishini o‘rganib, 1910-yilda atom tuzilishining yangi modelini yaratdi.  $\alpha$  - zarrachalar bilan ta’sirlashayotgan moddaning atom tuzilishini bilish uchun oldin  $\alpha$  - zarrachaning o‘zini tabiatini bilish kerak. Shuning uchun Rezerford  $\alpha$  - zarrachani zaryadini massasini va tezligini aniqladi. Rezerford va Geyger radioaktiv moddadan chiqayotgan  $\alpha$  - zarrachalarini Faradey silindriga to‘plab, elektrometr yordamida uning zaryadi musbat bo‘lib, ikki elektron zaryadiga teng ekanligini aniqladi.

$\alpha$  - zarrachalarni magnit maydonida og‘ishiga qarab, 4 ta vodorod atomi massasiga, ya’ni geliy atomini massasiga tengligini aniqladi. Radioaktiv moddadan uchib chiqayotgan  $\alpha$  - zarrachalarining tezligi  $10\text{ m/s}$  atrofida bo‘lib, ular ancha katta kinetik energiyaga ega. Rezerford  $\alpha$  - zarrachalar yo‘liga kichkina yumaloq tirqishli to‘siq qo‘yib, tirqishdan  $\alpha$  - zarrachalar dastasini qalinligi  $1\mu\text{m}$  ga yaqin bo‘lgan oltin yaprog‘i (folga) tomon yo‘naltirdi. Rezerford tajribasining sxemasi 4.1-rasmda tasvirlangan. Qo‘rg‘oshin bo‘lagini ichidagi kichik bo‘shliqda radioaktiv manba – radiy joylashtirilgan, manbadan barcha yo‘nalishlarda alfa zarrachalar chiqadi. Lekin qo‘rg‘oshindagi tirqish yo‘nalishidan boshqa barcha yo‘nalishlarda

alfa zarrachalar yutiladi. Tirqishdan chiqqan  $\alpha$  -zarrachalar dastasi F oltin folgaga perpendikulyar ravishda tushadi. Folgadan o'tgan zarrachalar fluoressensiyalanuvchi qatlam bilan qoplangan(E) ekranga tushgan nuqtalarda chaqmoqchalar vujudga keladi. Bu chaqmoqchalarni kuzatish asosida  $\alpha$  -zarrachalarning folgadan o'tish jarayonidagi sochilish to'g'risida axborot olindi. Kuzatuvchilarning ko'rsatishicha  $\alpha$  -zarrachaning aksariyati o'z yo'nalishlarini o'zgartirmaydi yoki juda kichik burchaklarga og'adi. Lekin zarralarning bir qismi yetarlicha katta burchaklarga og'adi. Xatto orqasiga qaytgan  $\alpha$  -zarrachalar ham kuzatilgan (2-rasm). Tajriba natijalarini tushuntirish uchun Rezerford atom tuzulishini quyidagicha faraz qildi: **atomning nihoyat kichik sohasida musbat zaryad joylashgan, uning atrofidagi atomning barcha sohasi esa manfiy zaryadli elektronlar bulutidan iborat bo'lib, bu elektronlarning to'liq zaryadi musbat zaryadga miqdoran teng.**



15.1-rasm



15.2-rasm

Yadroga yaqinroq masofadan o'tayotgan  $\alpha$  -zarracha (2-rasmda 1 deb belgilangan) yadrodan uzoqroq masofadan o'tayotgan  $\alpha$  -zarracha (rasmda 2 deb belgilangan)ga nisbatan kattaroq burchakka og'adi, chunki  $\alpha$  -zarracha bilan yadro orasidagi Kulon itarish kuchi masofaga teskari proportsionaldir. To'ppa to'g'ri yadro tomon kelayotgan alfa-zarracha (rasmda 3 deb belgilangan) esa kulon kuchi ta'sirida sekinlashib to'xtaydi, so'ng orqasiga qaytadi.

Rezerford yuqoridagi tajriba natijalari asosida atomning yadro modelini yaratdi. Bu modelga binoan atom markazida musbat zaryadlangan yadro («mag'iz» degan ma'noni anglatadi) joylashgan. Yadro bilan elektronlar o'zaro ta'sirlashishi

natijasida elektronlar yadro atrofida aylana shaklidagi orbitalar bo‘ylab aylanma harakat qiladilar. Yadro kuchlari maydoni markazga intilma kuch vazifasini bajaradi. Yadro atrofida aylanayotgan elektron uchun Nyutonning III qonuni quyidagi ko‘rinishda yoziladi:

$$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{m_e v^2}{r} \quad (15.5)$$

bu yerda  $v$  -elektronning orbitadagi tezligi,  $e$  – elektron zaryadi,  $r$  - orbita radiusi. Elektronlarning umumiy zaryadi, yadrodagi musbat zaryadlarning umumiy zaryadiga teng bo‘lgani uchun atom elektr zaryadiga ega emas.

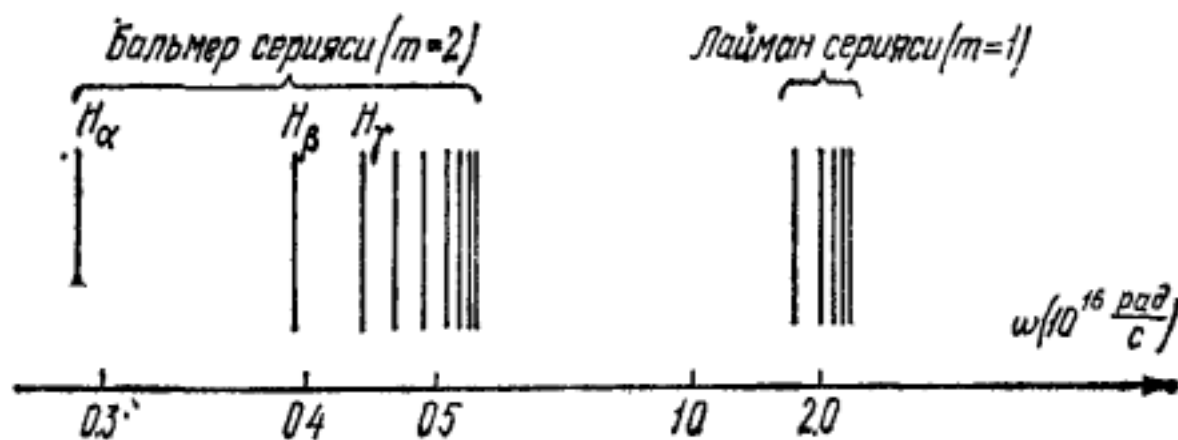
Rezerford tajribaga va atom yadro modeliga asoslanib atom zaryadini va o‘lchamini aniqlashga muvaffaq bo‘ldi. Yadroning zaryadi elektron zaryadiga karrali bo‘lib,  $q = +Ze$  ekanligi aniqlandi. Bu yerda  $Z$  – elementning Mendeleev davriy sistemasidagi tartib raqami. Rezerford ana shu narsaga aniqlik kiritadiki, elementning davriy sistemadagi o‘rni Mendeleev ko‘rsatganidek, uning atom massasi bilan emas, balki yadro zaryadi bilan aniqlanadi. Rezerford ayrim elementlarning davriy sistemadagi o‘rniga tuzatishlar kiritdi, ya’ni ularning tartib raqamlarini o‘zgartiradi. Rezerford tadqiqotlari yadro o‘lchami ( $2 \cdot 10^{-15} m$ ) ni aniqlashga imkon berdi.

Ammo atom tuzilishi to‘g‘risidagi Rezerford modeli klassik fizika qonunlari doirasida joylashmaydi. Bu model yadro atrofida aylanayotgan elektronning orbitasi nima sababdan turg‘un ekanligiga ham javob bera olmaydi. Elektron yadro atrofida aylanar ekan ma’lum tezlanishga ega bo‘ladi, shuning uchun atomdan elektromagnit nurlanish chiqib turishi kerak. Bunday nurlanish energiyaning uzluksiz kamayib borishi bilan birgalikda sodir bo‘lganidan, elektron spiral bo‘ylab harakatlanib, asta – sekin yadroga yaqinlashib borishi va oxiri yadroga tushishi lozim. Elektron yadroga yaqinlashagan sari, elektronning aylanish chastotasi shu bilan birga elektromagnit nurlanish chastotasi ham uzluksiz o‘zgara borishi kerak. Bu klassik fizika nuqtai nazaridan atom tutash nurlanish spektrini beradigan **turg‘unmas** (uzoq yashamaydigan) sistemadan iborat degan fikrni tug‘diradi. Ma’lumki, bunday hol kuzatilmaydi, atom turg‘unligicha qoladi. Atom sochilayotgan yorug‘lik spektri ham

uzluksiz bo‘lmay, balki chiziqlidir. Bunday chizikli spektrga misol qilib vodorod atomi spektrini olish mumkin. Atomlar spektri nima sababdan chizikli bo‘lishini ham Rezerford atom yadro modeli tushuntirib bera olmaydi. Demak, klassik mexanika va elektrodinamikaga asoslanib yaratilgan Rezerford atom nazariyasi atom ichida sodir bo‘ladigan jarayonlarni tushuntirishga ojiz ekan. Shundan keyin daniyalik fizik Nils Bor M.Plankning kvant energiyasi haqidagi ta’limotini va tajribada kuzatilgan vodorod atomi spektral seriyalarini o‘rganib, atom tuzilishining yangi nazariyasini yaratdi.

Atom tuzilishini o‘rganishda 1860 yilda nemis olimlari G.Kirxgof (1824-1887) va R.Bunzen (1840-1898)lar tomonidan yaratilgan spektral analiz usuli muhim rol o‘ynaydi.

1885 yilda Shveytsariyalik maktab fizika o‘qituvchisi Balmer ko‘zga ko‘rinadigan sohada vodorod atomining spektral chiziqlarining joylashish vaziyatida ma’lum qonuniyat borligini sezdi. Balmerning aniqlashicha, to‘lqin uzunlikni kamayishi bilan ular orasidagi masofa ham kamayib borar ekan.



15.3-rasm

Vodorod atomi nurlanishning spektrini o‘rganish natijasida spektrdagi chiziqlar tartibsiz emas, balki guruhlar tarzida (bu guruhlarni chiziqlar seriyalari deb atash odat bo‘lgan) ma’lum qonuniyat bilan joylashganligi aniqlanadi. 3-rasmda vodorod atomi spektrining ko‘rinuvchan va ultrabinafsha qismlari tasvirlangan. Vodorod atomi spektridagi barcha chiziqlar chastotalarini quyidagi umumiy lashgan Balmer formulasi bilan ifodalasa bo‘ladi:

$$\omega = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (15.6)$$

(15.6) formuladagi R–Ridberg doimiysi deb ataladi, uning qiymati  $2.07 \cdot 10^2 \text{ rad/s}$  ga teng.  $m$  ning qiymati esa Layman seriyasi uchun 1, Balmer seriyasi uchun 2, Pashen seriyasi uchun 3, Breket seriyasi uchun 4, Pfunda seriyasi uchun 5 ga teng. Ayrim seriyalardagi chiziqlarning chastotalari  $n = mQ_1$   $n = mQ_2$   $n = mQ_3$  .....qiymatlarni qo‘yish natijasida vujudga keltiriladi. Masalan, Balmer seriyasi uchun  $m=2$ . Shuning uchun  $n=3;4;5;.....$  Qiymatlarda mos ravishda 3-rasmda tasvirlangan  $N_\alpha$   $N_\beta$   $N_\gamma$  chiziqlarning chastotalari hosil bo‘ladi.  $N_\alpha$  chiziq qizilga rangga ega,  $N_\beta$  chiziq havo rang,  $N_\gamma$  chiziq ko‘k rangga mos keladi. Bu seriyaning qolgan qismlari spektrning ultrabinafsha qismida yotadi.

Atomlarning nurlanish (va nur yutish) spektrlarining chiziqli xarakteri atomning energiyani istalgan miqdorda emas, balki aniq portsiyalar-kvantlardagina chiqarishini yoki yutishini bildiradi. Bundan shu kelib chiqadiki, atom aniq (diskret) energetik holatlardagina bo‘la oladi; atom bir energetik holatdan boshqa energetik holatga o‘tishda boshlang‘ich va oxirgi holatlardagi energiyalarning ayirmasiga teng kvant energiyani nurlantirishi yoki yutishi mumkin.

Atomning energetik holatlarining diskretligi to‘g‘risidagi tasavvurga tayanib, N.Bor 1913-yilda Rezerfordning atom modeliga o‘sha vaqtda tajribada kuzatilgan vodorod atomi spektri va nurlanish kvanti tushunchalarini mohirlik bilan umumlashtirib, atomning yangi nazariyasini yaratdi. Bor bu nazariyani yaratishda absolyut qora jismning nurlanishini tushuntirib bergan Plankning energiya kvanti haqidagi gipotezasini atomdagi elektronlarga tadbiiq etib, elektronlar ixtiyoriy orbitalarda aylanmasdan faqat ruxsat etilgan orbitalar bo‘yicha aylanadilar degan xulosaga keldi. Bunday xulosaga natijasida u atom spektrining chiziqli bo‘lishi sababini osongina tushuntirib berdi. Bundan tashqari, Bor elektronning ruxsat etilgan orbitalar radiuslarining ham qanday aniqlanishni topdi. Bor o‘zining atom nazariyasiga isbotsiz qabul qilinuvchi uch postulotni asos qilib oldi. Bu postulotlar quyidagicha ta’riflanadi.

**I postulat.** Atom yetarlicha uzoq vaqt turg'un holatlarda bo'lishi mumkin, bu holatlardagi atom energiyasining qiymatlari  $W_1, W_2, W_3, W_4, \dots, W_n$  diskret qatorni tashkil etadi. Atom ana shu turg'un holatlarini birida bo'lishi mumkin xolos. Atomning turg'un holatiga elektronning turg'un orbitalarda aylanishi mos keladi. Elektronlar turg'un orbitalarday aylanganda atom yorug'lik sochmaydi va yutmaydi.

**II postulat.** Atomdagi elektron ixtiyoriy orbitalar bo'ylab aylanmasdan impuls momenti Plank doimiysiga karrali bo'lgan orbitalar bo'ylab aylanadilar:

$$L_r = m_e v r_n = \frac{nh}{2\pi} \quad (18.7) \text{ bu yerda } n=1,2,3,\dots, \text{ qiymatlarni oladi. U}$$

elektronning orbita tartib raqamini ko'rsatadi,  $m_e$  - elektronning massasi,  $v$  - elektronning orbita bo'ylab harakatidagi chiziqli tezligi.

**III postulat.** Atom energiyasi  $W_n$  bo'lgan bir turg'un holatdan energiyasi  $W_m$  bo'lgan ikkinchi turg'un holatga o'tganda energiyaning bitta kvanti chiqariladi yoki yutiladi. Bu kvantning chastotasi quyidagi

$$\omega = \frac{2\pi(W_n - W_m)}{h} \quad (15.8)$$

munosabat bilan aniqlanadi.  $W_m < W_n$  shart bajarilsa, kvant nurlantiriladi  $W_n < W_m$  bo'lganda esa kvant yutiladi.

Elektron yuqori orbitadan quyi orbitaga tushsa, atom yorug'lik kvanti sochadi. Elektron quyi orbitadan yuqori orbitaga chiqishi uchun esa tashqaridan yorug'lik kvanti yutadi. Masalan, elektron energiyasi katta bo'lgan 2 - orbitadan, energiyasi kichik bo'lgan 1 - orbitaga tushganda atomdan sochilgan yorug'lik kvanti energiyasi elektronni orbitadagi energiyalarining ayirmasiga teng:

$$h\nu = W_2 - W_1 \text{ sochilgan yorug'lik chastotasi } \nu = \frac{W_2 - W_1}{h} \text{ bo'ladi.}$$

### **Bor nazariyasiga ko'ra vodorod atomi spektri**

Vodorod atomida zaryadi  $e$  ga ega bo'lgan yadro, ya'ni proton atrofida bitta elektron harakatlanadi. Vodorod elektroni radiusi  $r_n$  bo'lgan orbitada tutib turuvchi markazga intilma kuch va elektron bilan yadroning o'zaro tortishidagi Kulon kuchidan iboratdir, ya'ni :

$$\frac{m_e v^2}{e_n} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n^2} \quad (15.9)$$



bunda  $m_e$ - elektron massasi,  $v$  - uning tezligi. Bu elektronning impuls momenti esa, orbitaning kvantlash qoidasiga asosan, (15.9) shartni qanoatlantirishi kerak. (15.3) va (15.5) ifodalarni birgalikda yechsak, vodorod atomidagi elektron uchun turg'un orbitalarning radiuslari

$$r_n = \frac{4\pi\epsilon_0 h^2}{4\pi^2 m_e e^2} n^2 \quad (15.10)$$

ifoda bilan aniqlanadi. Bundagi  $n$  - asosiy kvant son deb ataladi va u 1,2,3... musbat sonlarga teng bo'ladi. Bu orbitalarga mos keluvchi turg'un holatlarda vodorod atomining to'liq energiyasi elektronning kinetik energiyasi va elektronning yadro bilan o'zaro ta'sir energiyalarining yig'indisidan iborat:

$$W_n = \frac{m_e v^2}{2} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n} \quad (15.11)$$

Ikkinchi tomondan (15.5) ifodaning ikkala tomonini  $r_n^2$  ga ko'paytirsak, u  $\frac{m_e v^2}{2} = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r_n}$  ko'rinishga keladi. Bundan foydalanib (15.11)ni quyidagicha

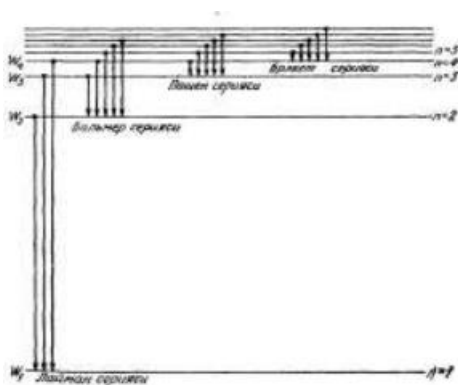
$$W_n = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r_n} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n} \quad (15.12)$$

(15.12) ifodadagi  $r_n$  o'rniga uning (15.6) bilan aniqlanuvchi qiymatini qo'ysak, vodorod atomining turg'un holatlarini xarakterlovchi energetik sathlarning qiymatlarini hisoblash imkonini beradigan quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$W_n = -\frac{4\pi^2 m_e e^4}{32\pi^2 \epsilon_0 h^2 n^2} \quad (15.13)$$

bu ifodani Gauss birliklar sistemasi bo'yicha hisoblasak  $W_n = \frac{2\pi m_e e^4}{2h n^2}$  (15.14)

ixcham ko'rinishga keladi. Bu formula yordamida hisoblangan energetik sathlari 15.4- rasmda gorizontaal chiziqlar shaklida tasvirlangan. Vodorod atomining normal turg'un holatida elektron eng quyi energetik sathda ya'ni asosiy kvant son  $n = 1$  qiymatiga mos keladigan sathda joylashgan bo'ladi. Agar atomga tashqaridan biror energiya berilsa, elektron  $n = 2; 3; 4; \dots$  qiymatlariga mos bo'lgan energetik sathlarning birortasiga ko'tariladi. Atomning bu holatlarini uyg'ongan holatlar deb



ataladi. Uygʻongan holatdan normal holatga qaytayotgan atom elektromagnit nurlanish kvantini chiqaradi. Agar elektron  $n = 4$  bilan xarakterlanuvchi holatda boʻlsa, u normal ( $n = 1$ ) holatga birdaniga yoki  $n = 3; 2$  holatlar orqali ham qaytishi mumkin. Lekin har oʻtishda nurlanadigan fotonning energiyasi boshlangʻich va oxirgi sathlar energiyalarining farqiga teng boʻladi. Shu tariqa Bor nazariyasi vodorod spektridagi seriyalarning fizik maʼnosini oydinlashtirdi. Bundan tashqari Bor nazariyasi Ridberg doimiysini ham hisoblash imkonini berdi; vodorod atomi  $n$  holatdan  $m$  holatga oʻtishida nurlanadigan elektromagnit toʻlqin chastotasi

$$\omega = \frac{2\pi(W_n + W_m)}{h} = \frac{8\pi^2 m_e e^4}{32\pi^2 h^3 \epsilon_0^2} \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (15.15)$$

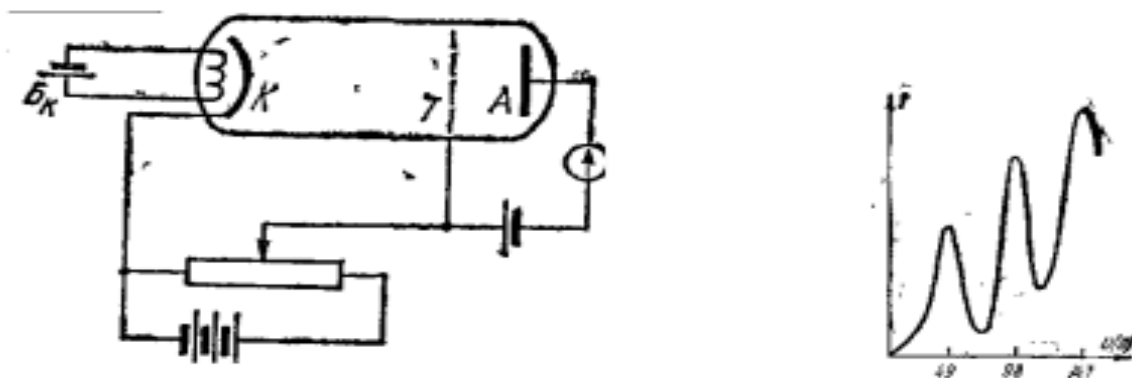
boʻladi. Bu ifodani umumlashgan Balmer formulasi bilan solishtirsak, Ridberg

$$\text{doimiysi } R = \frac{8\pi^2 m_e e^4}{32\pi^2 h^3 \epsilon_0^2} \quad (15.16)$$

### D.Frank va G.Gerts tajribasi

Nemis fiziklari D.Frank va G.Gerts tomonidan 1914-yilda amalga oshirilgan tajriba atomdagi turgʻun holatlarni, yaʼni diskret energetik sathlarning mavjudligini tasdiqladi. Bu tajribaning sxemasi 15.5-rasmda tasvirlangan. Bunda havosi surib olingan shisha idish ichiga 13Pa bosim ostida simobning bugʻlari qamalib, idishning ikki chetiga katod (K) va anod (A) joylashtirilgan. Katod bilan Anod orasiga metall toʻr (T) elektrod oʻrnatilgan. Qizdirilgan katoddan uchib chiqqan termoelektronlar katod bilan toʻr oraligʻidagi elektr maydon taʼsirida tezlatiladi. Katod va toʻr orasidagi potentsiallar farqi  $U$  boʻlsa, toʻrdan oʻtayotgan elektronning energiyasi  $eU$  boʻladi. Toʻr bilan anod orasiga elektronlarni toʻxtatuvchi uncha katta boʻlmagan ( $-0,5V$ )  $U_g$  manfiy kuchlanish beriladi. Agar elektron katod va toʻr oraligʻida simob atomi bilan noelastik toʻqnashmasa, u bemaol bu kuchsiz maydonni yengib anodga yetib keladi. Aksincha, simob atomi bilan noelastik toʻqnashsa energiyasini yoʻqotgan elektron toʻxtatuvchi maydonni yenga olmaydi va toʻrga tushadi. Elektronlar simob atomlari bilan noelastik toʻqnashgan vaqtda atomlar qoʻzgʻalgan holatga oʻtadi. Bor atom nazariyasiga koʻra har bir atom maʼlum bir qoʻzgʻalgan holatga oʻtishi uchun u aniq bir qiymatga ega boʻlgan energiya olishi kerak. Buning natijasida atom bilan noelastik toʻqnashgan elektronlarning energiyasi bir tekisda

kamaymasdan, diskret holda yoki boshqacha aytganda me'yorlangan holda aniq bir energiya bo'lagi miqdorigacha o'zgarishi kerak. To'rga tushayotgan elektronlar qanchalik ko'p bo'lsa, anod zanjiriga ulangan galvonometr qayd qilayotgan tok shunchalik kamayib ketadi. Tezlatuvchi potentsial  $U$  ning qiymati reostat yordamida o'zgartilishi mumkin.  $U$  ning qiymatiga bog'liq ravishda anod tokining o'zgarishini ifodalovchi egri chiziq 6-rasmda tasvirlangan. Grafikdan ko'rinib turibdiki, anod toki potentsial  $4.9\text{ V}$  ga yetgancha bir tekis ortib boradi va keyin birdaniga kamayib ketadi. So'ngra  $9.8\text{ V}$  va  $14.7\text{ V}$  potentsiallarda ham anod tokining maksimumlari kuzatiladi. Anod tokini  $4.9\text{ V}$ ,  $9.8\text{ V}$  va  $14.7\text{ V}$  potentsiallarda keskin kamayib ketishiga energiyasi  $4.9\text{ eV}$ ,  $9.8\text{ eV}$  va  $14.7\text{ eV}$  bo'lgan elektronlarni simob atomlari bilan noelastik to'qnashishi sabab bo'ladi.



15.5-rasm

### Vodorod atomining spektri uchun Bor nazariyasi

Vodorodsifat atomdagi elektronlarning aylanaviy statsionar orbitalardagi xarakatini ko'rib chiqamiz.

$$\frac{m_e v^2}{r} = \frac{Z e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad \frac{m_e v^2}{r} = \frac{nh}{2\pi}$$

tenglamalarni birgalikda yechib,  $n$  – statsionar orbitaning radiusi uchun quyilagi ifodani hosil qilamiz:  $r_n = n^2 \frac{h^2 4\pi\epsilon_0}{m_e Z e^2 4\pi^2}$  bunda  $n = 1, 2, 3 \dots$  Bu tenglamadan orbita radiuslarining butun son kvadratiga proporsional tarzda oshishi ma'lum bo'ladi. Vodorod atomi ( $Z=1$ ) uchun  $n=1$  bo'lganda elektronning birinchi orbita radiusi - u Borning birinchi radiusi deb yuritiladi va quyidagiga teng

$$r_1 = a = \frac{h^2 4\pi\epsilon_0}{4\pi^2 e^2 m_e} = 0.528 \cdot 10^{-10} m = 52.8 nm$$

Vodorodsifat atomlardagi elektronning to'liq energiyasi uning kinetik energiyasi  $\frac{m_e v^2}{2}$  va potensial energiyasi  $-\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}$  ning yig'indisidan iborat bo'ladi:

$$a = \frac{m_e v^2}{2} - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

bunda  $\frac{m_e v^2}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}$  ekanligi e'tiborga olingan. Kvantlangan  $n$  – statsionar orbita uchun elektron faqat ruxsat etilgan quyidagi diskret energiya qiymatlarini qabul qila oladi:

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \cdot \frac{Z^2 m_e e^4 4\pi^2}{8h^2 \epsilon_0^2} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

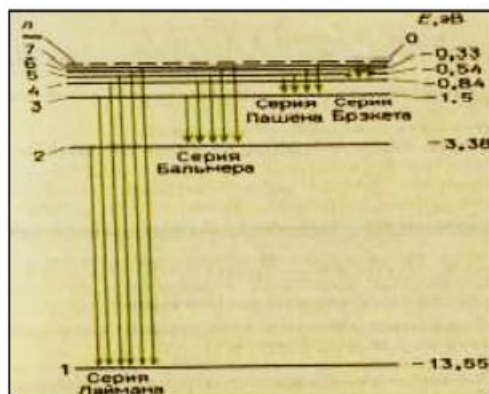
bundagi minus ishora elektronning bog'liq holatda ekanligini bildiradi.

Atomning energetik holati  $n$  ga bog'liq holda o'zgaruvchan energetik sathlar ketma – ketligini hosil qiladi. Atomning energetik sathini aniqlab beruvchi butun son –  $n$  bosh kvant soni deb aytiladi.  $n = 1$  holdagi energetik holat asosiy (normal) holat,  $n > 1$  dagisi esa uyg'otilgan holat hisoblanadi. Atomning asosiy holatiga mos keluvchi energetik sathni asosiy (normal), barcha qolganlarini esa uyg'otilgan sath deb yuritiladi.

Vodorod atomidagi mumkin bo'lgan enegetik sathlar 8 – rasmda keltirilgan. Vodorod atomi,  $n = 1$  bo'lganda minimal ( $E_1 = -13.55 eV$ ) energiyaga,  $n = \infty$  bo'lganda esa maksimal ( $E_\infty = 0$ ) energiyaga ega bo'ladi. Shuning uchun  $E_\infty = 0$  qiymat atomning ionlanish (ya'ni, undan elektronning ajralib chiqishi) holiga mos keladi. Borning ikkinchi postulatiga ko'ra:

$$h\nu = E_n - E_m = -\frac{m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

bundan, nurlanish chastotasi  $\nu = \frac{m_e e^4}{8h^3 \epsilon_0^2} \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ ;  $\nu = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ ;  $R = \frac{m_e e^4}{8h^3 \epsilon_0^2}$ ;



15.6-rasm

Bor nazariyasi atom fizikasining rivojida ulkan qadam bo'ldi, u kvant mexanikasining bunyod bo'lishida muhim bosqich sanaladi. Lekin bu nazariya ichki ziddiyatlarga ega, chunki u bir tomondan klassik fizika qonunlarini qo'llaydi, lekin ayni paytda o'zi kvant postulatlariga asoslanadi. U vodorod va vodorodsifat atomlarini asoslab berdi, spektral chiziqlarga mos tushuvchi chastotalarni hisoblab ko'rsatdi. Ammo ulardagi intensivlik qanday bo'lishini va yoki turli o'tishlar nima sababdan sodir bo'lishini tushuntira olmadi. Ayniqsa geliy atomining spektrini izohlay olmagani uning yirik kamchiligi bo'lib qoldi. Tabiiy radioaktivlikni 1896-yilda fransuz fizigi Bekkeral kashf qildi. Uni fikricha, uran tuzining o'z-o'zidan chiqargan nurlari noshaffof moddalar qatlamidan o'ta oladigan, gazlarni ionlashtira oladigan, fotoplastinkani qoraytiradigan xususiyatlari bordir. P.Kyuri va M.Kyuri Skladovskaya va boshqalar tomonidan keyinchalik o'tkazilgan tadqiqotlar ko'rsatadiki, tabiiy radioaktivlik faqat uran tuzlarigagina xos bo'lib qolmay, balki og'ir kimyoviy elementlarning ko'pchiligiga, jumladan aktiniy, toriy, poloniy va radiyga ham xosdir. Poloniy va radiyni 1898-yilda Pper va Mariya Kyurilar kashf etgan. Bu elementlarning hammasini **radioaktiv elementlar**, ularning chiqarayotgan nurlarini – **radioaktiv nurlar** deb ataladi. Radioaktiv nurlanishga **alfa-nurlar**, **beta nurlar** va **gamma-nurlar** deb atalgan uch xil nur kiradi. Alfa-nurlar elektr va magnit maydonlarida og'adi; bu nurlar geliy  ${}^4_2\text{Ne}$  atomi yadrolari oqimidan iborat. Xar bir  $\alpha$ - zarracha ikkita elementar musbat zaryad  $2e$  ga ega va massa soni 4 ga teng.  $\alpha$  - zarrachalar  $14000 \div 20000 \text{ km/s}$  tezlikka ega bo'lib,  $4 \div 9 \text{ MeV}$  kinetik energiyaga ega bo'ladilar.  $\alpha$  - zarracha o'z energiyasini

atomlarni ionlashga sarflab to'xtaydi; bunda u moddada mavjud bo'lgan erkin elektronlardan ikkitasini o'ziga qo'shib oladi va geliy atomiga aylanadi.  $\alpha$  - zarrachani havoda o'tgan yo'li 3-9 sm ni tashkil qiladi, ularning ionlashtirish qobiliyati esa 100000-250000 juft ionga teng. Shunday qilib,  $\alpha$  - zarrachaning ionlashtirish qobiliyati yuqori, lekin o'tuvchanlik qobiliyati uncha katta emas.  $\alpha$  - zarracha qalinligi 0.06 mm bo'lgan alyuminiy qatlamida yoki qalinligi 0.12 mm bo'lgan biologik to'qima qalinligidagi qatlamda butunlay yutiladi. Beta-nurlar elektr va magnit maydonlarida og'adi; ular tez elektronlar oqimidan iborat bo'lib,  $\beta$  - zarrachalar deb ataladi.  $\beta$  -zarrachaning o'rtacha tezligi 20000 km/c ga teng.  $\beta$ -nurlanish  $\alpha$ -nurlanishdan farq qilib, tutash energetik spektrga ega.  $\beta$  -zarracha havoda 40 m gacha, alyuminiyda – 2 cm gacha, biologik to'qimada – 6 cm gacha yuguradi. Gamma-nurlar – chastotasi juda katta – 1020Hz, to'lqin uzunligi esa juda qisqa  $10^{-12}$  m bo'lgan fotonlar oqimidan iborat.  $\gamma$ -fotonlar energiyasi 1 MeV chamasida bo'ladi.  $\gamma$  -nurlar eng qattiq elektromagnit nurlar bo'lib, ko'p jihatdan retgent nurlariga o'xshaydi ular elektr va magnit maydonida og'maydi, yorug'lik tezligi bilan tarqaladi, kristalldan o'tishida difraktsiya ro'y beradi.  $\gamma$  -nurlarning ionlashtirish qobiliyati katta emas, u havoda 100 juft ionga ega yo'lni bosadi.  $\gamma$  -nurlar eng o'tuvchi nurlardir. Eng qattiq  $\gamma$  -nurlar qalinligi 5 cm bo'lgan qo'rg'oshin qatlamidan yoki qalinligi bir necha yuz metr bo'lgan havo qatlamidan o'tadi; kishi tanasidan bemalol o'tib ketadi.

$\beta$  -emirilishida radioaktiv element davriy sistemada massa sonini o'zgartirmasdan o'ngga bir nomerga siljiydi:



$\alpha$  -emirilishida radioaktiv element davriy sistemasida massa sonini 4 ga kamaytirib, chapga ikki raqamga siljiydi:



Radioaktiv yemirilish radioaktiv element atomlarining asta-sekin kamayishiga olib keladi.  $dt$  vaqt ichida yemiriladigan atomlar soni  $dN$ , vaqtga va radioaktiv element atomlarining umumiy soni  $N$  ga proporsionaldir:

$$dN = -\lambda N dt \quad (15.19)$$

bunda  $\lambda$  - berilgan elementning **yemirilish doimiysi** deb ataladigan proporsionallik koeffitsienti. Minus ishorasi vaqt o'tishi bilan radioaktiv element atomlar sonining kamayishini ko'rsatadi.

$$\lambda = -\frac{dN}{N dt} \quad (15.20)$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (15.21)$$

(15.20) munosabatni radioaktiv yemirilish qonuni deb ataladi. (15.21) ifodadagi  $N_0$  bolang'ich (ya'ni  $t=0$ ) vaqtdagi radioaktiv moddada mavjud bo'lgan yadrolar soni,  $N$  – biror  $t$  –vaqtdan so'ng yemirilmay qolgan yadrolar soni,  $\lambda$  esa yemirilish doimiysi deb ataluvchi kattalik, ko'pincha  $\lambda$  o'rniga yarim yemirilish davri  $T_{\frac{1}{2}}$  deb ataladigan kattalikdan foydalaniladi:  $\lambda$  va  $T_{\frac{1}{2}}$  lar orasida quyidagicha bog'lanish bor:

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (15.22)$$

radioaktiv izotoplarning yarim yemilish davri  $T_{\frac{1}{2}}$  shunday vaqt oralig'iki, bu vaqt ichida mavjud radioaktiv yadrolarning yarmi yemiriladi.  $T_{\frac{1}{2}}$  ning qiymatlari turli radioaktiv yadrolar uchun turlicha, masalan, sekundning ulushidan million yillargacha bo'lishi mumkin.  $T_{\frac{1}{2}}$  ning qiymati tashqi sharoitlarga (temperatura, bosim, magnit yoki elektr maydonlarining ta'siriga) va radioaktiv yadrolarni qanday kimyoviy birikmalar tarkibida ekanligiga bog'liq emas.

*Radioaktiv manbalar aktivligi birlik vaqtda sodir bo'ladigan yemirilishlar sonini ifodalaydi. Uning SI dagi birligi bekkerel (Bk) 1 sekunda 1 yemirilish sodir bo'ladigan radioaktiv manbaning aktivligi 1 Bekkerel bo'ladi.*

Sinov savollari.

1. Fotonning fazoviy va gruppali tezligi nimaga teng?
2. To'liqin funksiyasi modulining kvadrati nimani aniqlaydi?
3. Nima sababdan kvant mexanikasi statistik nazariya hisoblanadi?
4. Zarracha potensial o'raning tubida bo'lishi mumkinmi?
5. Kvant sonlari nimani xarakterlaydi? Ular qanday qiymatlarni qabul qiladilar?

6. Bosh kvant soni  $n = 5$  bo'lganida  $l$  va  $m_l$  qanday qiymatlar qabul qilishi mumkin?
7.  $n = 4$  ga teng bo'lsa, unga qancha turli holatlar mos kelishi mumkin?
8. Bor nazariyasi va kvant mexanikasi bo'yicha vodorod atomidagi elektronning asosiy holatda uchratish ehtimolligining zichligini taqqoslang?
9. Nima sababdan vodorod atomi turli holatlarda ayni bir xil energiya qabul qilishi mumkin?
10. Elektron impulsining orbital va mexanik va xususiylar mexanik momentlarining kvantlanish shartlari nimadan iborat?
11. Qanday zarrachalarni bozonlar va fermionlar deb ataymiz?
12. Moddada majburiy tebranish hosil bo'lishining shartini ko'rsating?
13. Nima sababdan lazerning majburiy komponentlaridan biri optik rezonator hisoblanadi?
14. Atomning yadroviy modelida qanday kamchiliklar namoyon bo'ladi?
15. Balmerning umumlashgan formulasida  $m$  va  $n$  sonlari nimani bildiradi?
16. Bor postulatining mazmunini tushuntiring. Qanday qilib ularning yordamida atomning chiziqli spektrlari tushuntiriladi.
17. Frank va Gers tajribalari asosida qanday asosiy xulosalarga kelish mumkin?
18. Rux atomi yadrosi qaysi zarrachalardan tashkil topadi? Ularning soni qancha?
19. Atom yadrosi, aytaylik  $N$  dona erkin nuklonlardan tashkil topdi (har bir nuklonning massasi  $m$ ). Bu yadroning massasi va solishtirma bog'lanish energiyasi nimaga teng?
20. Izobar va izotoplar bir – biridan nimasi bilan farq qiladi?
21. Nima sababdan og'ir elementlarda yadrolarning mustahkamligi pasayadi?
22. Uchta yarim yemirilish davriga teng vaqt mobaynida radioaktiv moddadagi atomlar soni qanday va qanchaga o'zgaradi? Nuklidning faolligi vaqt o'tishi bilan qanday (qaysi qonun bilan) o'zgaradi?



## GLOSSARIY

**Anod** – (yun. anodos – ko'tarmoq, ana – yuqoriga va hodos – yo'l, harakat) 1) elektr toki manbaining musbat elektrodi, mas, galvanik element yoki el. akkumulyatorning musbat qutbi. 2) Elektr tokining musbat qutbiga tutashtirilgan elektron asbob (ion asbobi) elektrodi.

**Atom** – (yun. atomos - bo'linmas) – kimyoviy elementning barcha xossalarini o'zida mujassamlashtirilgan eng kichik zarrasi.

**Amper** – magnit maydoniga kiritilgan o'tkazgichdan tok o'tganda unga ta'sir etuvchi mexanik kuch yo'nalishini anilaydigan qoida.

**Atmosfera** – yer sharini o'rab olgan va u bilan birga aylanadigan havo qobig'i.

**Atmosfera (o'lchov biriligi)** – bosim birligi; fizika, kimyo va texnikaning turli sohalarida keng qo'llaniladi.

**Atmosfera akustikasi** – akustikaning atmosfera tovush to'lqinlarining tarqalish qonuniyatlarini akustik usullari bilan o'rganadigan bo'limi.

**Atmosfera bosimi** – atmosferaning yer sirtidagi barcha narsalarga va Yer sirtiga ko'rsatadigan gidrostatik bosimi; atmosfera holatini bildiruvchi asosiy belgi.

**Atmosfera dispersiyasi** – yoritgich (yulduzlar) tasvirining spektrlarga ajralishi.

**Atmosfera yog'inlari** – bulutlardan yog'adigan yoki havoda suv bug'larining kondensatlanishi natijasida Yer yuzasiga va o'simliklar sirtiga tushadigan tomchi yoki muz holatidagi suv.

**Atmosfera ozoni** – atmosferada kislorodga Quyoshning ultrabinafsha nurlari ta'siridan hosil bo'ladigan gaz.

**Inertsiya** – (lot. inertia - harakatsizlik) inertlik - moddiy jismning xossalaridan biri.

**Impuls** – (lot. impulses – zarba, turtki) mexanik harakat o'lchovi.

**Ish** – 1) Umumiy ma'noda – muayyan narsani yasash, tayyorlash yoki biror yumushni bajarish uchun sarf qilinadigan mehnat faoliyati. 2) Fizikada – energiyaning bir turdan jihatdan ifodalovchi fizik kattalik.

**Ilgarilanma harakat** – qattiq jismning eng soda harakati, bunda jism sirtidan o'tkazilgan istalgan to'g'ri chiziq shu jismning harakati vaqtida o'ziga o'zi parallel harakatlanadi.

**Induktsiya** – zaryadlangan jismning elektrostatik maydoni ta'sirida zaryadsiz jismning elektrlanishi.

**Induktivlik** – (lot. induction – ta'sirlash, uyg'otish) o'tkazgichdan yasalgan konturdan bir amper tok kuchi o'tayotganda shu konturni kesib o'tuvchi magnit maydon induktsiyasi oqimini vujudga keltirish xususiyati.

**Interferentsiya** – (lot. inter – o'zaro va ferens – ko'tarish, urilish) – to'lqinlarning fazoda ustma-ust tushib qo'shilgan holda bir-birini kuchaytirishi yoki susaytirishi.

**Infratovush** – (lot. infra – quyi, past, ostida) – inson qulog'iga eshitilmaydigan past chatotali (16 Gts dan past bo'lgan) elastik to'lqinlar.

**Ideal gaz** – molekularni o'zaro mutlaqo ta'sirlashmaydigan gaz; bunda gazni tashkil etuvchi molekulalarning xususiy hajmlari e'tiborga olinmaydi.

**Ichki energiya** – jismning faqat ichki holatiga bog'liq bo'lgan energiya.

**Issiqlik** – materiya harakati shakli; jismlar o'rtasidagi issiqlik almashinish jarayonining energetik ifodasi.

**Issiqlik sig'imi** – modda temperaturasini cheksiz ga orttirish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdorining temperaturaga orttirmasiga nisbati

**Issiqlik o'tkazuvchanlik** – biror muhitda uning turli qismlaridagi temperaturaning muvozanat qiymatidan chetlashishi natijasida issiqlik oqimining vujudga kelishi hodisasi.

**Karno sikli** – navbatma-navbat o'zaro almashinib turuvchi ikki izotermik jarayon va ikki adiabatik jarayondan iborat qaytar aylanma issiqlik jarayoni.

**Kristallar** – (yun. krystallos – muz, tog' billuri) – atomlari, ionlari va molekulalari ma'lum tartibda joylashib, fazoviy kristall panjarani tashkil etgan qattiq jismlar.

**Kuch** – berilgan jismga boshqa jism tomonidan ko'rsatilayotgan mexanik ta'sirning miqdori va yo'nalishini ifodalovchi kattalik.

**Korpuskulyar** – to'lqin dualizmi – materiyaning har qanday mikroob'yektlari (foton, elektronlar, protondan, atomdan va boshqalar) ham korpuskulyar ham to'lqin xususiyatlariga ega ekanligi haqidagi qoida.

**Traektoriya** – (lot. traektorius – harakatga oid) – fazoda harakatlanayotgan moddiy nuqta hosil qiluvchi chiziq.

**Tebranishlar** – muayyan vaqt oraliqlarida takrorlanib turadigan harakatlar.

**Tovush** – keng ma'noda – gazsimon, suyuq yoki qattiq muhitda to'liq shaklida tarqaladigan elastik zarralarining tebranma harakati.

**Termodinamika** – (yun. termo – issiq, dynamis - kuch) termodinamik muvozanat holatida turgan makroskopik tizimlarning umumiy xossalari va bu holatlar orasidagi o'tish jarayonlari to'g'risidagi fan.

**Materiya** – (lot. material - modda) borliqning moddiy shaklini ifodalovchi umumiy tushuncha. Materiya – dunyodagi cheksiz barcha ob'ekt va sistemalar bo'lib, har qanday xususiyat, aloqa, munosabat va harakat shakllarining substrakti (asosi)dir.

**Mexanik harakat** – tashqi kuch ta'sirida jismning fazoda o'z o'rnini uzluksiz o'zgartirishi.

**Mexanika** – (yun. mechanika (teche) – qurol, inshoot) – tashqi kuch ta'sirida jismning fazoda harakatlanishi va muvozanatini o'rganish bilan shug'ullanadigan fan.

**Massa** – (lot. massa – katta tosh, bo'lak) fizikada jismning inertlik va gravitatsion xususiyatlarini ifodalovchi fizik kattalik.

**Maydon** – (fizikada) – fizikaning asosiy tushunchalaridan biri. fizik hodisalar ma'lum kattaliklar bilan tavsiflanadi.

**Magnit maydon** – harakatlanayotgan elektr zaryadlarga va magnit momentli jismlarga ta'sir qiladigan kuch maydoni.

**Magnit momenti** – tok oqayotgan berk konturning, jismlar va modda zarralarining magnit xossalari ifodalaydigan vektor kattalik.

**Magnitosfera** – Yerning eng tashqi va eng qalin po'sti Yerga eng yaqin fazo.

**Foton** – (yun. photos - yorug'lik) elementar zarra, elektromagnit nurlanish (tor ma'noda yorug'lik) kvanti.

**Fototelegraf aloqa** – 1) faksimil aloqaning umumiy qabul qilingan nomi; 2) tor ma'noda – qabul qilinayotgan fototasvirlarni elektrografik, fotografik va boshqa usullarda qayd qilish.

**Fototelegraf apparati, faksimal apparat** – yassi originallar (bosma yoki qo'lyozma matnlar, rasmlar, fotosurat va boshqalar)ning qo'zg'almas tasvirlarini elektr aloqa simlari orqali uzatuvchi yoki qabul qiluvchi apparat.

**Fototranzistor** – yorug'likni sezuvchi va bunda sodir bo'ladigan elektr tok kuchini kuchaytiruvchi yarim o'tkazgichli asbob.

**Fotoeffekt** – moddalarning elektromagnit nurlanish ta'sirida elektron chiqarishi.

**Fotoelement** – (foto... va element) o'ziga tushayotgan yorug'likni yutib, elektr toki (fototok) yoki foto elektr yurituvchi kuch hosil qiluvchi elektr asbob.

**Fluktuatsiyalar** – (lot. fluctuation - tebranish) – fizik kattaliklarning o'z o'rtacha qiymatlaridan tasodifiy og'ishi.

**Foydali ish ko'effitsienti** – biron-bir tizim (qurilma, mashina, dvigatel va boshqalar) sarflangan energiyaning samardorligini ifodalovchi tushuncha; qancha energiya foydali ishga aylanishini, qancha energiya yo'qolishini ko'rsatadigan son.

**Fizika** – (yun. physis - tabiat) – tabiat haqidagi umumiy fan, materiyaning tuzilishi, shakli, xossalari va uning harakatlari hamda o'zaro ta'sirlarining umumiy xususiyatlarini o'rganadi.

**Fazotron** – (faza... va ...tron) vaqt bo'yicha doimiy magnit maydonga ega bo'lgan va tezlatuvchi elektr maydonining chastotasi kamayib boradigan siklik rezonans tezlatkich.

**Sublimatsiya** – (lot. sublimo – yuqori ko'taraman) moddaning kristall (yoki qattiq) holatdan suyuq holatga o'tmay turib, bevosita gaz holatiga o'tish jarayoni, issiqlikni yutilishi bilan sodir bo'ladi.

**Suyuqlik** – moddaning qattiq va gazsimon holatlari o'rtasidagi agregat holat.

**Suyuq kristallar** – suyuq kristall holat. mezomorf holat-moddalarning suyuqlik (oquvchanlik) xossalari hamda qattiq kristallarning ba'zi xossalari (anizotropiya)ga ega bo'lgan oraliq holati.

**Spektr** – (lot. spectrum – tasavvur, tasvir) tizimni yoki jarayonni tavsiflovchi biror-bir fizik kattalikning barcha qiymatlari majmui.

**Statsiya** – (lot. station – joy, holat) muayyan turdagi hayvon yashashi uchun zarur sharoit mavjud bo'lgan joy.

**Elektromagnit tebranishlar** – elektromagnit maydonni hosil qiluvchi elektr va magnit maydonlarning o'zaro bog'langan takrorlanuvchan o'zgarishlari.

**Endotermik reaksiya** – issiqlik yutilishi bilan boradigan kimyoviy reaksiya.

**Ekzotermik reaksiya** – issiqlik chiqarishi bilan boradigan kimyoviy reaksiya.

**Energetika** – energiyaning har xil turlarini hosil qilish, ularni bir turdan ikkinchi turga o'zgartirish, muayyan masofaga uzatish va yetkazib berish, ulardan barcha sohalarda foydalanishni hamda shular bilan bog'liq nazariy va amaliy muammolarni hal qilishni o'z ichiga olgan xalq xo'jaligi, fan va texnika sohasi.

**Elementar zarralar** – materiyaning eng kichik zarralari.

**Elektrostatika** – fizikaning harakatsiz elektr zaryadlar maydoni va ularning o'zaro ta'sirni o'rganadigan bo'limi.

**Elektr maydoni deb** – harakatsiz elektr zaryadlar hosil qilgan maydonga aytiladi.

**Elektro...** - (yun. electron qahrabo, qatron) – o'zlashma qo'shma so'zlarning birinchi qismi; o'zi qo'shilgan so'zning elektrga, elektr tokiga aloqadorligini bildiradi.

**Energiya** – (yun. energia – harakat, faoliyat) – har qanday ko'rinishdagi materiya, xususan, jism yoki jismlar tizimini tashkil etuvchi zarralar harakatining hamda bu zarralarning o'zaro va boshqa zarralar bilan ta'sirlarining miqdoriy o'lchovi.

**Elektron** – (elektro...) – fizika fanida birinchi kashf qilingan, eng kichik elektr zaryadga ega bo'lgan elementar zarra.

**Entropiya** – (yun. entropia – aylanish, o'zgarish) – har qanday termodinamik tizimning holat funksiyalaridan biri.

**Erish** – moddalarning issiqlik ta'sirida qattiq (kristall) holatdan suyuq holatga o'tish jarayoni.

### **Foydalanilgan adabiyotlar**

1. Mirziyoev Sh.M. Erkin va farovon demokratik O'zbekiston davlatini birgalikda barpo etamiz. Toshkent .O'zbekiston-2016 y .56 bet.
2. Mirziyoev Sh.M. Buyuk kelajagimizni mard va olijanob xalqimiz bilan birga quramiz. Toshkent .O'zbekiston-2017 y .488 bet.

3. Mirziyoev Sh.M. Qonun ustuvorligi va inson manfaatlarini ta'minlash va yurt taraqqiyoti va xalq farovonligining garovi. Toshkent. "O'zbekiston"-2017 yil. 48 bet.
4. Mirziyoev Sh.M. Tanqidiy taxlil qat'iy tartib intizom va shaxsiy javobgarlik – xar bir raxbar faoliyatining kundalik qoidasi bo'lishi kerak. Toshkent. "O'zbekiston"-2017 yil. 104 bet.
5. Kikoin A.K., Kikoin I.K. Umumiy fizika kursi. O'qituvchi, Toshkent-2004
6. Рейф Ф. Статистическая физика. М., Наука 1977, 351 бет.
7. Axmadjonov O. Mexanika va molekulyar fizika. O'qituvchi. T-1985, 287 bet.
8. Киттель Ч. Элементарная статистическая физика. ИЛ 1980.
9. Physics for Scientists and Engineers.Sixth edition. Paul A.Tipler.Gene Mosca 2008.
10. Usmanov T. Fizika tarixidan metodik qo'llanma. T-2003.
11. Abdullayev R.M., Sattarov H.M., Tutsunmetov K.A. Umumiy fizika kursidan praktikum. Molekulyar fizika. T-2008.
12. Ismoilov M., Xabibullayev P., Xaliulin M. «Fizika kursi» Toshkent, O'zbekiston, 2000.
13. <http://physics.mipt.ru/SII> MetodTD)
14. <http://lib.mipt.ru/> Электронная библиотека Московского физико-технического университета.
15. <http://www.ph4s.ru/>
16. <http://www.lib.berkeley.edu/node>