

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIIY VA O'RTA  
MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI**

**BUXORO MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI**

**“FIZIKA” kafedrası**

**S.X.Astanov, M.Z.Sharipov, M.R.Turdiyev.**

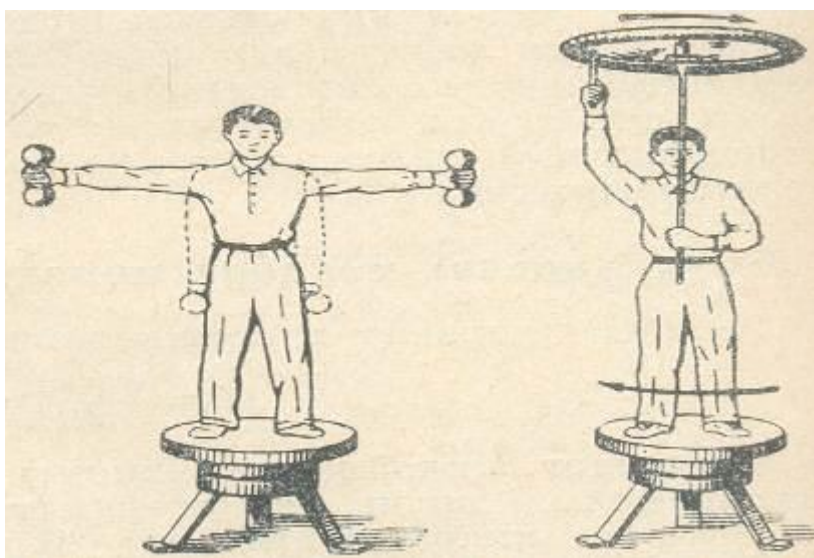
**“FIZIKA”**

**I-qism**

**(Mexanika, molekulyar fizika,)**

**(TJ yo'nalishi uchun)**

**MA'RUZALAR MATNI**



**BUXORO 2014**

Tuzuvchi: S.X.Astanov, M.Z.Sharipov, M.R.Turdiyev

Taqrizchi: dotsent Z.R.Ashurov

Ushbu ma'ruzalar matni O'zbekiston Respublikasi Oliy va O'rta maxsus ta'lim vazirligi tomonidan №107 raqamli 14 avgust 2012 yilda chiqarilgan namunaviy dastur va raqamli \_\_\_\_\_2013 yilda tasdiqlangan ishchi dastur asosida tayyorlangan.

Ushbu ma'ruzalar matni 5321500 – “Texnologiyalar va jihozlar texnologiyalar” ta'lim yo'nalishi bo'yicha o'qiydigan talabalar uchun mo'ljallangan va “Fizika” kafedrasining №\_\_\_\_\_ 2014 yilda kafedra yig'ilishida ko'rib chiqib tasdiqlangan.

Ma'ruzalar matni institut uslubiy kengashi tomonidan №\_\_\_\_\_ 2014 yilda chop etishga ruxsat berilgan.

Ma'ruza matni ikki qismdan iborat bo'lib, birinchi qismida mexanika, molekulyar fizika hodisalari to'g'risidagi mavzular keltirilgan.

## **1 - MA'RUZA. MEXANIKA HAQIDA UMUMIY MA'LUMOT.**

### **Reja:**

**1. Fizika fani, uni boshqa fanlar bilan bog'liqligi va mutaxassislikdagi o'рни. Mexanika va uning tarkibi. Klassik relyavistik va kvant mexanikasi haqida tushuncha.**

**2. Sanoq nuqtasi. Sanoq tizimi. Koordinatalar tizimi. Fizik kattaliklarni vektor va koordinatalar bilan ifodalash. Vektorlar proyeksiyasi.**

**3. Davriy jarayonlar. Soatlar sinxronligi. Fazo va vaqt tushunchasi.**

**4. Fizik masalalar yechishda hosila va integralning ma'nosi.**

**Tayanch iboralar:** fizikaviy qonunlar, sanoq tizimi, sanoq nuqtasi, moddiy nuqta, fizik kattaliklar, vektorlar, tezlik, tezlanish, ilgarilma harakat, teks harakat va o'zgaruvchan harakat.

**Ko'rgazlamli qurollar:** mavzuga oid salaydlar, plakatlar va kompyuter texnikasi, fizik kattaliklar va ularning o'lchov birliklari animasion dasturlar majmuasi, tekis harakatning animatsion dasturi, sanoq tizimida moddiy nuqta koordinatalarni aniqlashdagi animasion dastur.

### **Mavzuning borishi**

**1. Fizik fani, uni boshqa fanlar bilan bog'liqligi va mutaxassislikdagi o'рни. Mexanika va uning tarkibi. Klassik relyavistik va kvant mexanikasi haqida tushuncha.**

Fizika, tabiat qonunlarni o'rganuvchi fan. Fizika fanining so'ngi yutuqlari boshqa tabiiy va amaliy fanlarning yanada rivojlanishi uchun zarur bo'lgan yangi o'lchov asboblari texnik qurilmalar va ular asosida yangi ilmiy tadqiqot usullarini yaratishga imkon bermoqda. Juda yuqori bosim, yuqori vakuum, yuqori chastotali elektromagnit maydon, ultratovush, lazer nurlari ta'sirlari sharoitlarida hamda koinot vaznsizlik holati sharoitlarida, kimyo biologiya, geologiya sohalarida, meditsina va amaliy texnik fanlar sohasida, yangi ilmiy izlanishlar olib bormoqda. Fizikaning barcha tabiiy fanlar bilan chambarchas bog'lanishi oqibatida qo'shimcha fanlar—astofizika, biofizika, fizik-kimyo, geofizikalar hosil bo'lmoqda. Akademik S.I. Vavilov iborasi bilan aytilganda "Fizikaning tomirlari asronomiya, geologiya, kimyo, biologiya va boshqa fanlar ichiga juda chuqur kirib bormoqda".

Fizikada, hodisalarni tabiiy sharoitlarda o'rgatish - kuzatish deb, hodisalarni sun'iy ya'ni laboratoriya sharoitida amalga oshirishni esa eksperiment deb atash odat bo'lib qolgan. Eksperiment kuzatishga nisbatan bir qator afzalliklariga ega:

a) vaqtni tejash mumkin.

b) qulay sharoitlar yaratish mumkin.

Tajribalarda yig'ilgan axborotlar hodisani tushuntirish uchun gipotezalar (ilmiy faraz) yaratishga xizmat qiladi. Gipotezani yuzaga keltiruvchi natijalar tajribalarda tasdiqlanmasa, bunday gipoteza sinovdan o'tmagan, ya'ni xato gipoteza deb hisoblanadi.

Aksincha gipotezadan kelib chiquvchi natijalar tajribalarda tasdiqlansa gipoteza fizik nazariyaga aylanadi.

Fizika nazariya biror sohadagi bir qator hodisalarni, ularning mexanizmi va qonuniyatlarini tushuntira olishi kerak. Bundan tashqari fizik qonuniyat qayd qilinsa yangi hodisalarni oldindan aytib bera oladi.

Shuni qayd qilish lozimki, nazaiyalar ham vaqt o'tishi bilan rivojlantiriladi. Demak, fizik nazariyalarning yaratilishi va sinalishi tajribalar bilan boshlanadi, tajribalar bilan isbotlanadi va rivojtiliriladi. O'rta Osiyolik Farobiy, al-Xorazimiy, Beruniy kabi olimlar ijodida tabiatshunoslik fanlari muhim o'rin tutgan. Jumladan X-XI asrlarda yashab ijod qilingan Abu Rayxon Beruniy, Ibn Sino bilan bo'lgan yozishmalarda jismlarning harakati, yer geofizikasi, gidrostatika solishtirma og'irlik, issiqlik o'tkazuchanlik, jismlarning issiqlikdan kengayishi sovuqlikda torayishi, elektrlanish va magnitlanish xususiyatlari, atmosferadagi fizik hodisalar, yorug'lik nurining qaytish va sinish qonuniyatlari, linzada nurning yo'li va vakuumning mavjudligi hamda moddalarning atom tuzilishi kabi sohalarida qimmatli fikrlarni yozib qoldirib, ba'zilarini tajriba asosida izohlab bergan.

Fizikaning texnikaning rivojlanishi o'zaro chambarchas bog'liq. Fizik kashfyotlar texnikada fizik qonuniyatlar zaminida ko'riladi. Masalan 1) Elektromagnit to'lqinlarni tarqatish va qayd qilish radiotexnikada hayot bag'ishladi. 2) neytronlar va ular ta'sirida og'ir yadrolar bo'linishning ixtiro qilishishi yadroviy energetika asos soldi. Hozirgi vaqtdagi yadroviy tadqiqotlarni zamonaviy texnik taraqqiyotini o'zida mujassamlashtirgan qurilmalarsiz (yadroviy reaktor, sinxrofazotron yarim o'tkazgichli mikrosixemalar, kompyuterlar) tasavur qilib bo'lmaydi. Hozirgi zamon energetikasi, radiotexnika, elektrotexnika, avtomatika va boshqa har bir texnikaviy sohani zamonaviy kompyuterlashgan sohani fizikasiz tasavvur etish qiyin. Fizika va texnika yutuqlari atom energiyasidan tinchlik maqsadlarida foydalanish, xalq xo'jaligining ishlab chiqarish sohalarini avtomatlashtirish, qudratli qarbiy texnika bazasini yaratish imkoniyatlarini berdi. Demak, fan texnika taraqqiyoti bilan baravar qadam tashlaydigan har bir muxandis fizikasining asosiy qonuniyatlariga oid bilimlarni egalashi shart.

*Fizika faning informatika va axborot texnologiyasi bilan bog'liqligi.* Fizika qoidasi yoki jismning o'lchash hamda hisoblash mumkin bo'lgan xarakteristikasi fizik kattalik deyiladi. Fizik kattaliklarni o'lchash deganda, shu kattalik bilan bir xil bo'lgan va bir birlik qilib olingan fizik kattalik bilan taqqoslash tushuniladi. Fizik kattaliklarning ba'zilar to'g'rida - to'g'ri o'lchansa, ba'zilarini ularning o'zaro analitik bog'lanish ifodasini hisoblab topiladi. Fizik kattaliklarni o'lchash uchun birliklar sistemasi tuziladi. Birliklar sistemasini tuzish uchun esa bir – biriga bog'liq bo'lmagan bir necha fizik kattaliklarni va ularning birliklarini asosiy kattaliklar bilan qonuniy bog'lanish ifodasidan hosil qilinadi. Bunday kattaliklar hosilaviy birliklar deyiladi. Asosiy birliklarning to'plami birliklar sistemasi deyiladi. 1960 yilda boshlab Yer yuzasidagi barcha mamlakatlar o'rtasida o'zaro kelishib olingan xalqaro birliklar sistemasi "SI" qabul qilingan.

XX- asr aloqa tarmoqlarning keskin rivojlanish asri bo'lib hisoblanadi. Bu davrda axborot kommunikasion texnologiyalar davri bo'lib qoladi. Axborotlarni

uzatish bu elektromagnit to'liqlarning tarqalish tezligi bilan amalga oshadi. Axborotlarni uzatish va qabul qilish quyidagi yo'llar bilan amalga oshadi.

1. Radio va televidiniya aloqalari tizimi.
2. Internet tizimi.
3. Uyali telefonlar tizimi.
4. Elektron pochta tizimi.

Bu tizimlarni ishlashida elektromagnit to'liqlarning manba tomonidan tarqatilishi va ularni yer su'niy yo'ldoshlaridan qabul qilishi, uni kuchaytirib zarur bo'lgan yo'nalish orqali axborot qabul qiluvchilarga etkazishdan iborat bo'ladi.

1904 yilda O'zbekistonda ishga tushirilgan telefon tarmog'iga 1500 dan ortiq telefon raqami mavjud, shaharlar aro 25000 ortiq kanal mavjud. Uyali aloqa vositasida esa MTS, Beeline, Coscom, Ucell, Uzmobilye, Perfectum mobilye, kabi aloqalar vositasi xizmat qiladi. Internet tarmog'i orqali ishlaydigan aloqalar vositasida esa quyidagilar mavjud.

*Fizika fanining tarkibiy qismi.* Fizika fani quyidagi qismlardan iborat:

1. Mexanika
2. Molekulyar fizika va termodinamika
3. Elekt va magnetizm
4. Tebranishlar va to'liqlar
5. Optika
6. Atom va yadro fizikasi elementlari.

*Mexikaning tarkibiy qismi* Mexika uch qismdan iborat. Kinematika, Dinamika, Statika.

Kinematika jismlarning harakat qonunlarini o'rganadi.

Dinamika u yoki bu tipdagi harakatning hosil bo'lish sababini o'rganadi.

Statika jismlarning muvozanati shartini o'rganadi.

*Klassik relyativistik va kvant mexanikasi haqida tushuncha.*

Nyuton tomonidan asos solingan va biz ushbu bobda o'rganmoqchi bo'lgan mexanika-klassik mexanika fazo va bir jinsli va izotrop, ya'ni turli yo'nalishlardagi xususiyatlari bir xil deb qabul qilinadi.

XX asr boshlarida Maksvell tomonidan elektrodinamika asosiy qonunlarini umumlashtiruvchi tenglamalar yaratildi. Mexanika Nyuton tenglamalari qanchalik muhim bo'lsa, elektrodinamikada Maksvell tenglamalari shunchalik ahamiyatga ega. Maksvell tenglamalari nihoyat ko'p tajriba dalillari bilan isbotlandi. Lekin Maksvell tenglamalari Galiley almashtirishlariga nisbatan invariant emasligi aniqlandi va bu almashtirishlar relyativistik mexanika ko'rib chiqiladi.

Harakatlanayotgan jismning massasi qanchalik kichik bo'lsa, uning to'liq xossalari shunchalik sezilarli bo'ladi. Juda kichik massaga ega bo'lgan mikrozarralar harakatlanganidagina to'liq xossalari aniq ifodalanadi. De Broyl ideyalarining taraqqiy etishi kvant mexanikasi deb atalgan yangi mexikaning yaratilishiga olib keldi. Kvant mexanikasi asosida to'liq va zarralar tabiatning ikkiyoqlamaligini tan olish, ya'ni yo'liqlar korpuskulyar xossalarga va zarralarda to'liq xossalarga ega ekanligi yotadi. Kvant mexanikasi bir birlaridan mustasno holda ishlagan nemis fiziklari E. Shryodinger va V. Geyzenberg tomonidan 1926

yilda yaratilgan edi. Bir vaqtda kvant va to'liq xossalari atom va molekula tarkibiga kirgan zarralarga aniq qayd qilingani tufayli kvant mexanikasi paydo bo'lishi atom va yadro fizikasining tez taraqqiy etishiga olib keldi.

1. [www.rambler.ru](http://www.rambler.ru) 2. [www.mail.ru](http://www.mail.ru) 3. [www.yandex.ru](http://www.yandex.ru) 4. [www.yahoo.com](http://www.yahoo.com)
5. [www.mail.uz](http://www.mail.uz) 6. [www.info.uz](http://www.info.uz) 7. [www.google.ru](http://www.google.ru) 8. [www.ziyo.uz.net](http://www.ziyo.uz.net)
9. [www.ioffe.ru](http://www.ioffe.ru) 10. [www.info.com](http://www.info.com)

Internet provayderlari: Uzmacom, Buzton, Uznet va boshqalar mavjud.

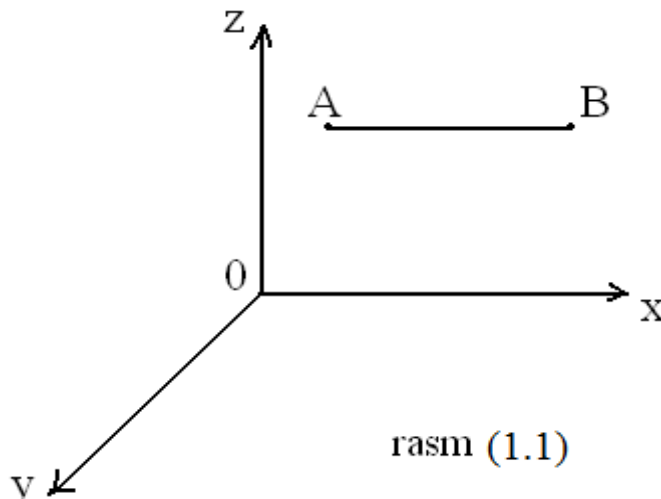
## 2. Sanoq nuqtasi. Sanoq tizimi. Koordinatalar tizimi. Fizik kattaliklarni vektor va koordinatalar bilan ifodalash. Vektorlar proyeksiyasi.

*Sanoq nuqtasi* barcha borliq materiya hisoblanadi. Materiya insonning sezgi organlariga ta'sir etib, unda sezgi uyg'otadi, ya'ni inson materiyani idrok qiladi. Materiya ikki ko'rinishda namoyon bo'ladi 1) modda ko'rinishida, masalan, qattiq, suyuq, gazsimon va plazma holatidagi jismlar; 2) maydon ko'rinishida, masalan, tabiatdagi barcha jismlarni o'zaro tortishishida namoyon bo'ladigan gravitatsion maydon, elektromagnit maydon, yadroviy kuchlar maydoni. Materiyaning har qanday o'zgarishi **harakat** deb ataladi. Mexanik harakat esa eng oddiy harakatlardan biri hisoblaandi va u modda ko'rinishidagi materiya (ya'ni jismlar yoki biror jism ayrim qismlari) ning vaqt o'tishi bilan fazodagi ko'chishini anglatadi.

Harakati tekshirilayotgan jismning turli paytlarda fazodagi vaziyatlarini aniqlash uchun asos bo'lib xizmat qiladigan bunday qo'zg'almas nuqta (**sanoq nuqta**) tanlanadi va bu nuqtaga nisbatan jism harakati o'rganiladi.

*Sanoq tizimi. Koordinatalar tizimi.*

Agar jismni moddiy nuqta deb qarash mumkin bo'ladi. Sanoq nuqtasi koordinata tizimini markazi bo'lishi mumkin. Ko'p hollarda jism harakatini Dekart koordinata tizimida o'rganadilar. Bunda koordinata markazi "0" va uning o'qlari x, y, z bilan belgilanadi. Agar M jism A nuqtadan B nuqtaga ko'chsa uning ko'chishi A va B nuqtalar koordinatalari bilan aniqlanadi  $A(x_1, y_1, z_1)$   $B(x_2, y_2, z_2)$ . Bunda ko'chish masofasi  $x$  lar bo'yicha  $x = x_2 - x_1$ ,  $y = y_2 - y_1$ ,  $z = z_2 - z_1$ . "M" nuqtaning holati sferik koordinata tizimi bilan xarakterlash mumkin. Bu tizimda holat  $r, \theta, \varphi$  lardan xarakterlanadi.



Dekart koordinata tizimi bilan sferik koordinata tizimi orasidagi bog'lanish quyidagicha ifodalanadi(2-rasm):

$$x = r \sin \theta \cos \varphi \quad (1.1 \text{ a})$$

$$y = r \sin \theta \sin \varphi \quad (1.1 \text{ b})$$

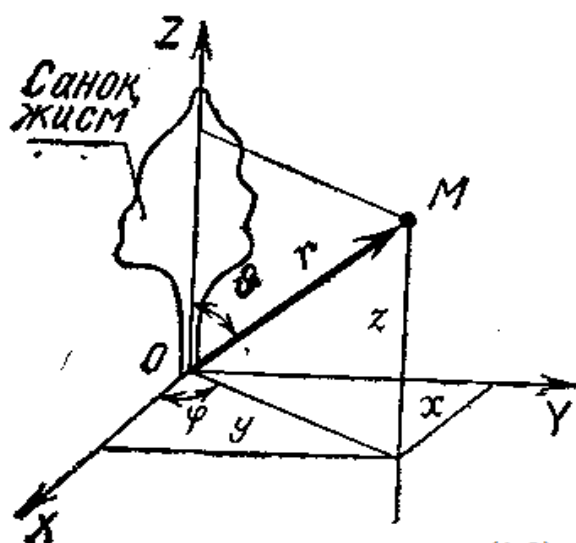
$$z = r \cos \theta \quad (1.1. \text{ v})$$

$x, y, z$  lardan  $r, \theta, \varphi$  larga o'tish uchun quyidagicha ifodalardan foydalanish kerak:

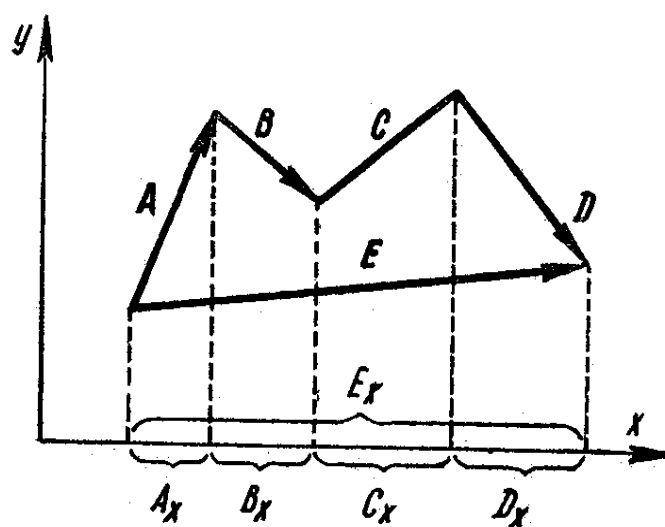
$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}, \quad (1.2. a)$$

$$\cos \theta = \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}, \quad (1.2. b)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{y}{x}. \quad (1.2. v)$$



rasm (1.2)



rasm (1.3)

Ushbu bog'lanishlarda  $\vec{r}$  bu "M" nuqtaning koordinata markazi bilan tutashtiradi va unga radius vektor deyiladi.

**Vektorlar proyeksiyasi.** Agar material nuqtaning holati bir nechta vektorlar bilan xarakterlansa, u vaqtda

$$\vec{E} = \vec{A} + \vec{B} + \vec{C} + \vec{D} \quad (1.3)$$

U vaqtda bu vektorlarning  $x$  o'qidagi proyeksiyasi

$$E_x = A_x + B_x + C_x + D_x \quad (1.4)$$

bo'ladi.

Jism harakatini ifodalash uchun zarur bo'lgan yana bir tushuncha – **vaqtdir**. Klassik mexanika tasavvurlariga asosan, vaqt fazogabog'liq emas.

### 3. Davriy jarayonlar. Soatlar sinxronligi. Fazo va vaqt tushunchasi.

**Davriy jarayonlar. Soatlar sinxronligi.** Vaqtni o'lchash uchun qo'llaniladigan asbob – soat sifatida har qanday davriy jarayondan foydalanish mumkin. Yerning sutkalik yoki yillik harakati, mayatnikning tebranma harakati ham vatni o'lchashda keng qo'llaniladi.

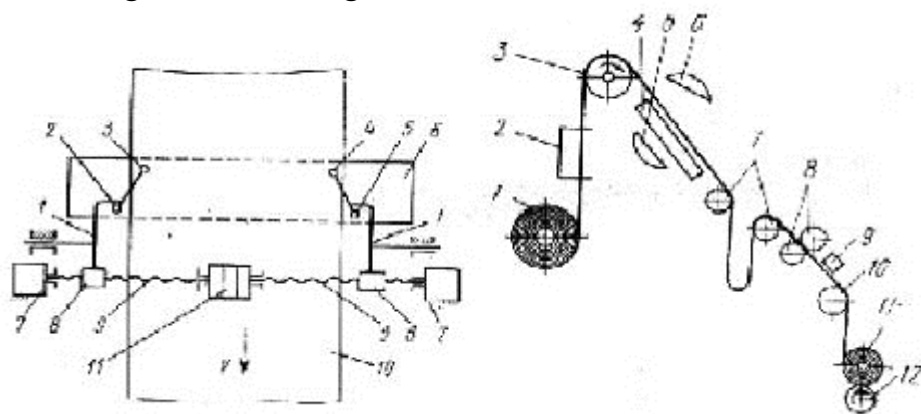
**Fazo va vaqt tushunchasi.**  $K'$  sanoq sistemasining qo'zg'almas  $x'$  nuqtasida biror voqea  $t'_1$  paytda boshlanib  $t'_2$  paytda tugallansin. Mazkur voqea  $t'_2 - t'_1 = \Delta t_0$  vaqt davom etgan bo'ladi.  $K$  sistemadagi kuzatuvchi uchun shu voqeaning davom etish vaqti ( $\Delta t$ ) qanday bo'ladi?

N'yuton nuqtai nazariga asosan, vaqtning o'tishi sanoq sistemalarining nisbiy harakatiga bog'liq emas, ya'ni bir-biriga nisbatan to'g'ri chiziqli tekis harakatlanayotgan barcha sanoq sistemalarida vaqt aynan bir xil. Shuning uchun  $K$  sistemada ham voqea  $\Delta t = t_2 - t_1 = t'_2 - t'_1 = \Delta t_0$  vaqt davom etadi.

Shunday qilib, to'g'ri chiziqli tekis harakt qilayotgan barcha sanoq sistemalarda mavjud bo'lgan soatlar ularni sinxronligi kuzatiladi.

Xulosa qilib aytish mumkinki, jismning fazodagi vaziyatini belgilash uchun foydalaniladigan koordinatalar sistemasi va vaqtni qayd qilishda qo'llaniladigan asbob – soat birgalikda **sanoq sistemasi** deb ataladi.

Mezhanik harakatni fazo va vaqtdan ajralgan holda tassavur qilib bo'lmaydi, chunki har qanday hodisa yoki jarayon fazoning qayeridadir va qachondir sodir bo'ladi. Haqiqatdan, biror hodisa haqida gap borganda beixtiyor „qachon“ „qayerda“ degan savollar tug'iladi.



Mutaxassislik fani bilan bog'liqligi.

#### 4. Fizik masalalar yechishda hosila va integralning ma'nosi.

Differensial va integralning fizik ma'nosini modiy nuqtaning ko'chish misolida ko'ramiz. Bunda elementar  $\Delta s$  yo'l, kattalik jihatdan elementar ko'chishning  $|\Delta r|$  modulidan farq qiladi. Biroq, agar yo'lning  $\Delta t$  kichik vaqt oraliqlariga mos  $\Delta s$  kesmalari va  $\Delta r$  ko'chishlarni olsak, u holda  $\Delta s$  bilan  $|\Delta r|$  orasidagi farq u qadar katta bo'lmaydi, bunda  $\Delta t$  kichraygan sari  $\Delta s$  orta boruvchi aniqlik bilan  $|\Delta r|$  ga tenglasha boradi. Ana shularga asoslanib quyidagini yozish mumkin:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta r|}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1.5)$$

Demak, hosila yoki differensial fizik masalalarni yechishda kichik bo'lakchalarga bo'lib o'rganish tushuniladi.

Moddiy nuqtaning  $t_2 - t_1$  vaqt oralig'ida  $N$  ta kichik  $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_N$  vaqt oraliqlariga bo'lib chiqamiz; bunda bu oraliqlarning kattaliklari turlicha bo'lishi mumkin. Nuqta o'tgan butun  $s$  yo'lni mos  $\Delta t$  vaqt oraliqlari ichida o'tilgan  $\Delta s_1, \Delta s_2, \dots, \Delta s_N$  yo'llar yig'indisi sifatida yozish mumkin:



$$S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \dots + \Delta S_N = \sum_{i=1}^N \Delta S_i \quad (1.6)$$

mos ravishda  $\Delta S_i$  ( $i = 1$  dan  $N$  gacha bo'lgan ixtiyoriy son) qo'shiluvchilarning har biri

$$\Delta S_i \cong \mathcal{G}_i \Delta t_i \quad (1.7)$$

ko'rinishda yozilishi mumkin, bu yerda  $\Delta t_i$   $\Delta S_i$  yo'lni o'tish uchun ketgan vaqt oralig'i,  $\mathcal{G}_i$  esa – tezlikning biror  $\Delta t_i$  vaqt ichidagi qiymati aniqlanadi.

$$S \cong \sum_{i=1}^N \mathcal{G}_i \Delta t_i \quad (1.8)$$

$\Delta t_i$  vaqt oraliqlari qancha kichik bo'lsa, bu yozilgan tenglik shuncha aniq bajariladi. Hamma  $\Delta t_i$  lar nolga intilganda (bunda  $\Delta t_i$  oraliqlar soni cheksiz ortib ketadi) o'ng tomonda turgan yig'indining limiti roppa-rosa  $s$  ga tenglashadi:

$$S = \lim_{\Delta t_i \rightarrow 0} \sum_{i=1}^N \mathcal{G}_i \Delta t_i \quad (1.9)$$

Matematikada  $x$  ning  $a$  dan  $b$  gacha oraliqdagi qiymatlari uchun yozilgan

$$\lim_{\Delta x_i \rightarrow 0} \sum_{i=1}^N f(x_i) \Delta x_i = \Delta x \quad (1.10)$$

ko'rinishdagi ifoda aniq integral deb ataladi va simvolik ravishda quyidagicha yoziladi:

$$\int_a^b f(x) = dx \quad (1.11)$$

Demak, nuqta  $t_1$  dan  $t_2$  gacha bo'lgan vaqt oralig'i ichida o'tgan yo'l quyidagi aniq integralga teng:

$$S = \int_{t_1}^{t_2} \mathcal{G}(t) dt \quad (1.12)$$

Sunday qilib, integral ma'nosi – fizik masalalar eychishda jarayonlarni umumiy yig'indisi sifatida o'rganishga mo'ljallangan uslubiyat hisoblanadi.

### **Mavzuni mustahkamlash uchun savollar:**

1. Fizika fani nimani o'rganadi.
2. Fizika fani qaysi tarkibiy qismlardan iborat.
3. Moddiy nuqtaning jismning geometrik parametrlarga qanday bog'liqligi mavjud.
4. Sanoq nuqtasi sanoq tizimidan qanday parametrlarda farq qiladi.
5. Vektor va skalyar kattaliklar haqida tushuncha bering.
6. Davriy jarayonlar deb qanday jarayonlarga aytiladi.
7. Soatlarni sinxronligi qanday tizimda kuzatiladi.
8. Differensial va integrallning fizik ma'nosini tushuntiring.

### Uyga vazifa

1. Skalyar va vektorlar kattaliklar va ular ustida amallar.
2. [www.rambler.ru](http://www.rambler.ru), [www.mail.ru](http://www.mail.ru), [www.yandex.ru](http://www.yandex.ru), [www.yahoo.com](http://www.yahoo.com), [www.mail.uz](http://www.mail.uz), [www.info.uz](http://www.info.uz), [www.google.ru](http://www.google.ru), [www.ziyo.uz.net](http://www.ziyo.uz.net), [www.ioffe.ru](http://www.ioffe.ru), [www.info.com](http://www.info.com) ochishni o'rganish.

## 2-MA'RUZA. KINEMATIKANING ELEMENTLARI. NUQTANI AYLANA BO'YLAB HARAKATI

1. Nuqtaning to'g'ri chiziqli tekis harakat tezlik. Nuqtaning to'g'ri chiziqli tekismas harakati tezlik, tezlanish.
2. Aylanma harakat va uning parametrlari. Burchakli tezlik va tezlanish.
3. Aylanma va ilgarilanma harakat parametrlari orasidagi bog'lanish.
4. Egri chiziqli harakat. Normal va tangensial tezlanish.
5. Erkinlik darajasi va umumlashgan koordinatalar.

**Tayanch iboralar:** tekis harakat, tekismas harakat, tezlik, tezlanish, siljish, yo'l, troyektoriya, vaqt.

**Ko'rgazmali qurollar:** mavzuga oid slaydlar, plakatlar va kompyuter, animasion dasturlar majmuasi.

### O'tilgan mavzuni mustakamlash savollar

1. Fizika fani nimani o'rganadi.
2. Fizika fani qaysi tarkibiy qismlardan iborat.
3. Moddiy nuqtaning jismning geometrik parametrlarga qanday bog'liqligi mavjud.
4. Sanoq nuqtasi sanoq tizimidan qanday parametrlarda farq qiladi.
5. Vektor va skalyar kattaliklar haqida tushuncha bering.
6. Davriy jarayonlar deb qanday jarayonlarga aytiladi.
7. Soatlarni sinxronligi qanday tizimda kuzatiladi.
8. Differensial va integrallning fizik ma'nosini tushuntiring.

### Mavzuning borishi

1. Nuqtaning to'g'ri chiziqli tekis harakat tezlik. Nuqtaning to'g'ri chiziqli tekismas harakati tezlik.

*Nuqtaning to'g'ri chiziqli tekis harakat tezlik.* Tezligi yo'nalish jihatdan har qancha o'zgarsa ham, kattalik jihatdan o'zgarmaydigan harakat tekis harakat deyiladi.

Tekis harakatda  $v_i$  larning hammasi birday bo'lib,  $v$  ga teng bo'ladi. Shuning uchun  $v$  umumiy ko'paytuvchini yig'indi belgisi ostidan tashqariga chiqarish mumkin:

$$S = \lim_{\Delta t_i \rightarrow 0} g \sum \Delta t_i = g \lim_{\Delta t_i \rightarrow 0} \sum \Delta t_i \quad (2.1)$$

Elementar vaqt oraliqlarining yig'indisi nuqta  $s$  yo'lni o'tguncha ketgan  $t$  vaqtni beradi. Shunday qilib, quyidagi tenglikni yozish mumkin:

$$S = g t \quad (2.2)$$

(2.1) formuladan tekis harakat tezligi  $s$  yo'lning shu yo'lni o'tish uchun ketgan  $t$  vaqtga nisbatiga teng degan xulosaga kelamiz:

$$g = \frac{s}{t} \quad (2.3)$$

(2.2) ga asosan tekis harakat tezligi kattalik jihatdan harakatlanayotgan nuqta va birligi ichida o'tgan yo'lga teng deb aytishimiz mumkin.

*Nuqtaning to'g'ri chiziqli tekismas harakati tezlik.* Tezlanishi o'zgarmaydigan to'g'ri chiziqli harakat tekis o'zgaruvchan harakat deyiladi. Tezlik vaqt bo'yicha qanday o'zgarayotganligiga qarab harakat tekis tezlanuvchan va tekis sekinlanuvchan harakatlarga ajratiladi.

Tekis o'zgaruvchan harakat uchun  $v$ ,  $v_0$  va  $w$  vektorlar bitta to'g'ri chiziq bo'ylab yo'nalgan. Bu vektorlarni  $v_0$  vektorlarni yo'nalishi bilan ustama-ust tushuvchi  $x$  yo'nalishiga proyeksiyasini olsak, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$g_x = g_{0x} + a t \quad (2.4)$$

$g_x$ ,  $g_{0x}$  va  $a$  mos vektorlarning modullariga teng. Bu modullar agar vektorning yo'nalishi  $x$  ning yo'nalishi bilan bir xil bo'lsa "+" ishora bilan, vektorning yo'nalishi  $x$  ning yo'nalishiga qarama-qarshi bo'lsa, "-" ishora bilan olinadi.

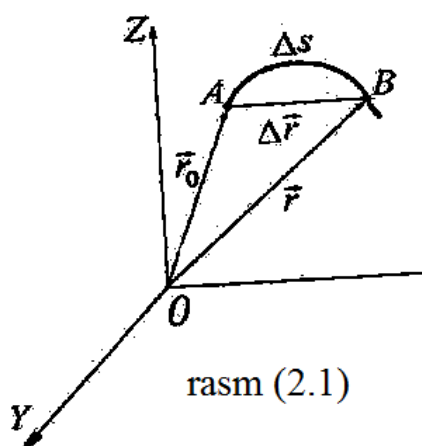
Odatda, to'g'ri chiziqli harakat o'rganilayotgan (2.3) tenglamada  $x$  ning indeksleri tushirib qoldiriladi va to'g'ridan – to'g'ri

$$g_t = g_0 + a t \quad (2.5)$$

$$(2.5) \text{ tenglamadan tezlanish } a = \frac{g_t - g_0}{t}$$

ko'rinishda yoziladi, bunda (2.4) tenglamaga kiruvchi kattaliklar vektorlarning proyeksiyalariga o'xshash kattaliklar deb qabul qilinadi. Bunda uncha to'g'ri bo'lmagan (ammo ko'pchilika singib ketgan) terminalogiyadan foydalaniladi. Masalan,  $a$  – tezlanish deb yuritiladi va  $\omega_y$  ning ishorasiga qarab bu tezlanish musbat yoki manfiy deb hisoblanadi.

(2.4) funksiyani noldan to'xtiyoriy  $t$  vaqt momentigacha bo'lgan oraliqda integrallab, o'tilgan yo'l uchun quyidagi formulani topamiz:



$$S = \int_0^t (\mathcal{G}_0 + \omega t) dt = \mathcal{G}_0 t + \frac{\omega t^2}{2} \quad (2.6)$$

**Tezlik va tezlanish.** Tezlik. Samalyot poyezddan, yengil avtomobil avtobusdan, velosipedchi piyodadan tezroq harakatlanadi degan iboralar qo'llaniladi. Bundan tezkor harakatlanayotgan vosita bir xil vaqt davomida ko'proq masofaga ko'chishi nazarda tutiladi. **Vaqt birligida bosib o'tilgan yo'lga tezlik deyiladi.**(slyad)

**Tezlik vektori.** Tezlik harakatlanayotgan nuqtaning ko'chishiga va buning uchun sarflangan vaqtga bog'liq kattalik ekan. Tezlik nafaqat harakat tezligi, balki uning yo'nalishini ham ko'rsatadigan vektor kattalikdir.

$$\vec{\mathcal{G}}_{o'r} = \frac{\vec{\Delta r}}{\Delta t} \quad (2.7)$$

**Oniy tezlik.** A nuqtada bo'lgandagi tezlikgini topaylik. Shu maqsadda harakatlanish vaqti  $\Delta t$  ni tobora kichraytira boramiz, ya'ni  $\Delta t \rightarrow 0$ .  $\Delta t$  cheksiz kichraytirib borilganda, o'rtacha tezlik  $\vec{v}_{o'r}$  oniy tezlik  $\vec{v}$  ga intiladi.

$$\vec{\mathcal{G}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \vec{\mathcal{G}}_{o'r} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{\Delta r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad (2.8) \quad \mathcal{G} = \frac{ds}{st} \quad (2.9)$$

**Oniy tezlik deb, moddiy nuqta radius – vektoridan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosilaga yoki moddiy nuqtaning berilgan vaqtdagi tezligiga aytiladi.**

**Tekis harakatda tezlik.** Moddiy nuqtaning tekis harakati deb, bir xil vaqt oralig'ida bir xil yo'l o'tiladigan harakatga aytiladi. (slyad)

$$\mathcal{G} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (2.10)$$

**Tezlikning SI dagi birligi.**  $[\mathcal{G}] = \frac{[s]}{[r]} = \frac{1m}{1s} = 1 \frac{m}{s}$

**Tezlanish.** Tezlikning vaqt birligida o'zgarishiga deyiladi.

**O'rtacha va oniy tezlanish**  $\vec{a}_{o'r} = \frac{\vec{\Delta \mathcal{G}}}{\Delta t}$

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \vec{a}_{o'r} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{\Delta \mathcal{G}}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\mathcal{G}}}{dt} \quad (2.11)$$

**Tezlanishning SI dagi birligi.** Tezlanishning ta'rifiga asosan uning birligi quyidagicha aniqlaymiz.

$$[a] = \frac{[\mathcal{G}]}{[t]} = \frac{1 \frac{m}{s}}{1s} = 1 \frac{m}{s^2} \quad (2.12) \quad a = \frac{d\mathcal{G}}{dt} = \frac{d^2 s}{dt^2} \quad (2.13)$$

## 2. Aylanma harakat va uning parametrlari. Burchakli tezlik va tezlanish.

*Aylanma harakat va uning parametrlari.* Aylanish davri va chastotasi. Agar qattiq jismning barcha nuqtalari aylanish o'qi deb ataluvchi ma'lum o'q atrofida aylanalar bo'ylab harakatlansa, bunday harakatga aylanma harakat *deyiladi*. Agar material nuqtaning aylanish burchakli tezligi o'zgarmas ( $\omega = \text{const}$ ) bo'lsa, bunday harakatga **tekis aylanma harakat deyiladi**. Aylanish davri –  $T$  deb, material nuqta bir marta to'la aylanib chiqishi uchun, ya'ni  $2\pi$  burchakka burilish uchun ketgan vaqtga aytiladi.

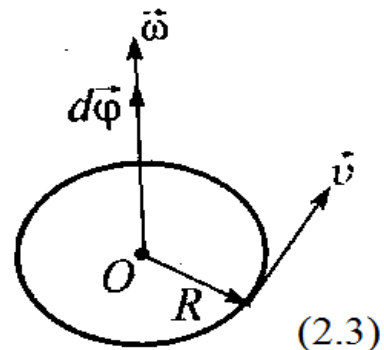
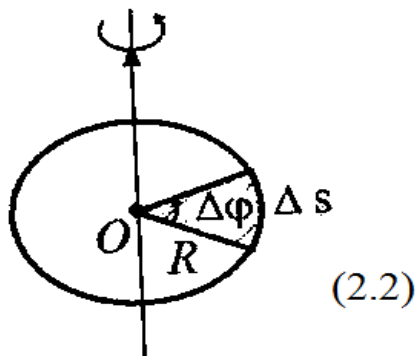
$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2.14)$$

*Moddiy nuqtaning vaqt birligidagi to'la aylanishlar soniga aylanish chastotasi –  $n$  deyiladi.*

$$n = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad \text{yoki} \quad \omega = 2\pi n. \quad (2.15)$$

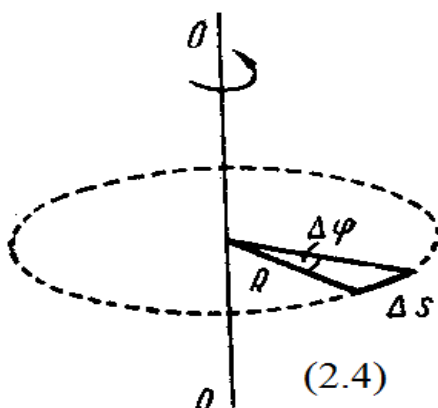
**Burchakli tezlik va tezlanish.** *Aylana bo'ylab harakatlanayotgan moddiy nuqtaning vaqt birligida burilish burchagiga burchak tezlik deyiladi.* Burchak tezlikning birligi.

$$[\omega] = \frac{[\varphi]}{[t]} = 1 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 1 \frac{1}{\text{s}} = 1 \text{ s}^{-1} \quad (2.16)$$



## 3. Aylanma va ilgarilanma harakat parametrlari orasidagi bog'lanish. Chiziqli tezlik chastota va davr bilan quyidagicha bo'ladi.

$$\vartheta = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi R n = R \omega \quad (2.17)$$



Aylanayotgan jismning turli nuqtalari turli  $v$  chiziqli tezliklarga ega bo'ladi. Har bir nuqtaning tezligi tegishli aylanalar o'tkazilgan urinma bo'ylab yo'nalgan bo'lib, o'z yo'nalishini uzluksiz o'zgartira boradi. Nuqta tezligining kattaligi jismning  $\omega$  aylanish tezligi va aylanish o'qidan berilgan nuqttagacha bo'lgan  $R$  masofa bilan aniqlanadi.

$\Delta t$  qisqa vaqt oralig'ida jism  $\Delta\varphi$  burchakka burilgan bo'lsin. Bunda  $R$  o'qdan  $\Delta s$  masofada yotgan nuqta

$$\Delta s = R \Delta\varphi \quad (2.18)$$

yo'l o'tadi.

Ta'rifga binoan nuqtaning chiziqli tezligi

$$g = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} R \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = R \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = R \frac{d\varphi}{dt} = R \omega$$

ya'ni

$$g = R \omega \quad (2.19)$$

Shunday qilib, nuqta aylanish o'qidan qancha uzoq yotsa, u shuncha kattaroq chiziqli tezlik bilan harakatlanar ekan. Aylanayotgan jism nuqtalarining chiziqli tezlanishini topaylik. Normal tezlikga binoan:

$$a_n = \frac{g^2}{R} \quad (2.20)$$

Bu ifodaga (3.8) dan  $v$  ni olib kelib qo'ysak, quyidagini topamiz:

$$a_n = R \omega^2 \quad (2.21)$$

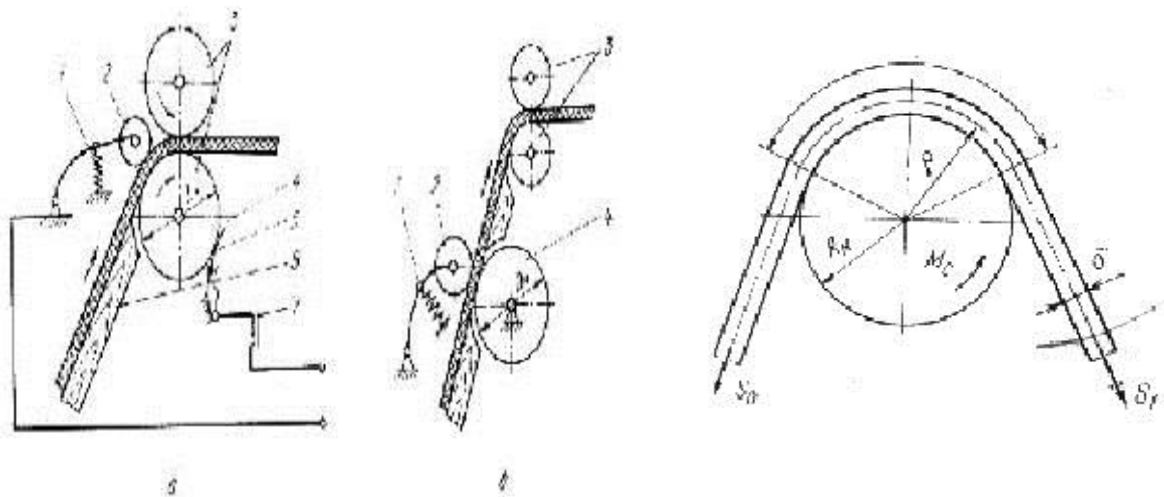
Tangensial tezlanishning moduliga binoan  $\left| \frac{d g}{d t} \right|$  ga teng. Yana tenglamadan foydalanib quyidagini topamiz:

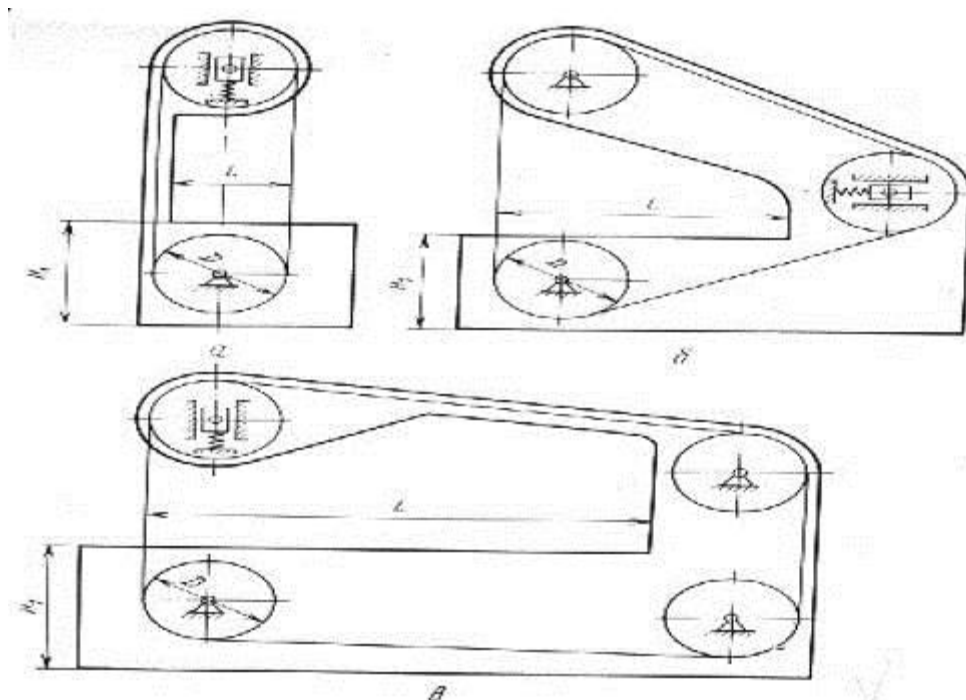
$$a_\tau = \left| \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta g}{\Delta t} \right| = \left| \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta (R \omega)}{\Delta t} \right| = \left| \lim_{\Delta t \rightarrow 0} R \frac{\Delta \omega}{\Delta t} \right| = R \left| \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} \right| = R \varepsilon \quad (2.22)$$

ya'ni

$$a_\tau = R \varepsilon \quad (2.23)$$

Bu yerda  $\varepsilon = \frac{d \omega}{d t} = \frac{d^2 \varphi}{d t^2}$





Mutaxassislik fani bilan bog'liqligi.

**4. Egri chiziqli harakat. Normal va tangensial tezlanish.** *Egri chiziqli harakat* qilayotgan moddiy nuqtalarning trayektoriyalari yoxud bir trayektoriyaning ayrim qismlarini xarakterlash uchun **egrilik** tushunchasidan foydalaniladi.

Egri chiziqli harakatda vaqt o'tishi bilan tezlik vektorining faqat yo'nalishigina emas, balki miqdori ham o'zgarishi mumkin. AE kesma ustida A dan  $\vartheta_A$  qadar uzoqlikda yotgan D nuqtani tanlaylik. C va D nuqtalarni birlashtiruvchi vektorni  $\Delta \vartheta_N$  bilan, D va E nuqtalarni birlashtiruvchi vektorni esa  $\Delta \vartheta_T$  bilan belgilaylik.  $\Delta \vartheta$  ana shu ikki vektorning yig'indisidan iborat deb hisoblash mumkin, ya'ni

$$\Delta \vartheta = \Delta \vartheta_N + \Delta \vartheta_T \quad (2.24)$$

Shuning uchun mazkur holda

$$\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vartheta}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vartheta_n}{\Delta t} + \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vartheta_T}{\Delta t} \quad (2.25)$$

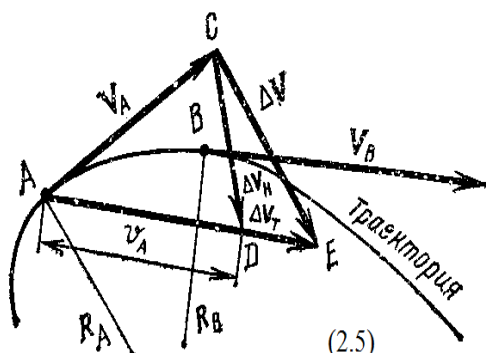
(3.2) ifodadagi birinchi limitni markazga **intilma tezlanish** yoki **normal tezlanish** deb ataladi va  $a_n$  bilan belgilanadi, ya'ni

$$a_N = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vartheta_N}{\Delta t} \quad (2.26)$$

$$a_n = \frac{v^2}{R} \quad (2.27)$$

$\Delta \vartheta_T$  vektor limitda (ya'ni  $\Delta t \rightarrow 0$  da) trayektoriyaning A nuqtasiga o'tkazilgan urinma bilan ustma-ust tushadi. Shuning uchun (3.2) ifodadagi ikkinchi

limitni **urinma tezlanish** yoki **tangensial tezlanish** deb ataladi va  $a_t$  deb belgilanadi, ya'ni



$$(2.28)$$

$$(2.29)$$

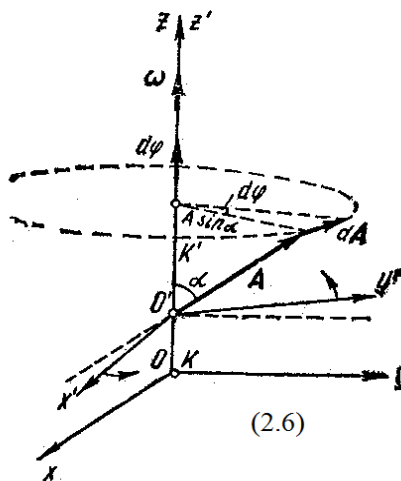
$$(2.30)$$

$$a_t = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v_T}{\Delta t}$$

$$a_t = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta v_T|}{\Delta t} = \frac{dv_T}{dt}$$

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_n + \mathbf{a}_t$$

**5. Erkinlik darajasi va umumlashgan koordinatalar.** Ikkita koordinata sistemasini olaylik, ulardan bittasi (uni  $K'$  bilan belgilaymiz) ikkinchisiga ( $K$ ) nisbatan  $\omega$  burchak tezlik bilan aylanayotgan bo'lsin. Bu sistemalarni shunday tanlab olamizki, ularning  $z$  va  $z'$  o'qlari aylanish o'qi bilan, ya'ni  $\omega$  vektor bilan ustma-ust tushsin.



(2.6)

Rasmdan ko'rinib turibdiki  $K'$  sistema  $d\varphi = \omega dt$  burilishi uchun ketgan  $dt$  vaqt ichida  $A$  vektor  $dA$  ortirma oladi. Bu ortirmaning  $d\varphi$  ning  $A$  ga vektor ko'paytmasi, ya'ni  $dA = [d\varphi, A]$  ko'rinishda yozish mumkin. Haqiqatan ham  $dA$  ning moduli  $A \sin \alpha d\varphi$  ga teng bo'lib,  $dA$  vektor o'zi esa  $d\varphi$  va  $A$  vektorlar yotgan (ular shunday yotgan bo'lishi kerakki,  $d\varphi$  dan  $A$  ga qarab burilish o'ng vintni  $dA$  yo'nalishi bo'ylab ko'chishiga olib kelishi kerak) tekislikka perpendikulyar yo'nalgan. Shuni qayd qilamizki, boshi koordinata boshida emas, balki istalgan

nuqtada yotgan vektor uchun xuddi shunday natija chiqadi. Agar  $A$  vektor koordinata o'qlariga nisbatan qanday joylashganligidan qat'iy nazar  $K'$  sistema qanday burchakka burilsa,  $A$  vektori yotgan va  $z'$  o'qqa parallel bo'lgan tekislik ham xuddi shunday  $d\varphi$  burchakka burilishini hisobga olsak, yuqoridagi natijani tuhsunib olishimiz mumkin.

Umumiy holda  $dA$  ortirma  $K'$  sistemada noldan farqli bo'lganda  $K$  sistemadagi ortirma quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$dA = d'A + [d\varphi, A] \quad (2.31)$$



## Mavzuni mustahkamlash uchun savollar:

1. SI o'lchov birligida qanday asosiy fizik kattaliklar mavjud? Asosiy fizik kattaliklarni ta'riflang.
2. Hosilaviy fizik kattaliklar va ularning o'lchov birliklari qanday aniqlanadi?
3. Tekis va o'zgaruvchan harakatlar o'zaro qanday farqlanadi.
4. Tezlik nima va ularning o'lchov birligi qanday?
5. Tezlanish nima va ularning o'lchov birligi qanday?
6. Aylanma harakat deb qanday harakatga aytiladi.
7. Kompyuter texnikasidagi aylanma harakatga misollar oling.
8. Burchakli tezlik nima?
9. Burchakli tezlanish nima?
10. Normal va tangensial tezlanishlar qanday aniqlanadi?

## Uyga vazifa

1. Fizik modellar, fizik kattaliklar va ularning o'lchov birliklarni mustaqil o'rganing.
2. Internet saytidan aylanma harakatga doir ma'lumotlarni mustaqil tayyorlang.
3. Erkin tushish, yuqoriga tik otilgan jism harakati. Yuqoriga ko'tarilish va tushish vaqtlari o'rtasidagi munosabat.

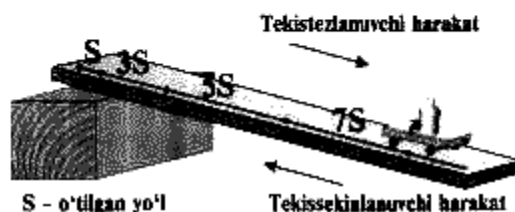
## 2-MA'RUZANING ILOVALARI.

### Tekis harakat grafiklari

| Fizik kattalik | Formula                       | Grafik |
|----------------|-------------------------------|--------|
| Tezlik         | $\vec{v} = \frac{\vec{S}}{t}$ |        |
| Ko'chish       | $\vec{S} = \vec{v} \cdot t$   |        |
| Koordinata     | $x = x_0 + v_x t$             |        |

### Tezlanish. Tekis o'zgaruvchan harakat.

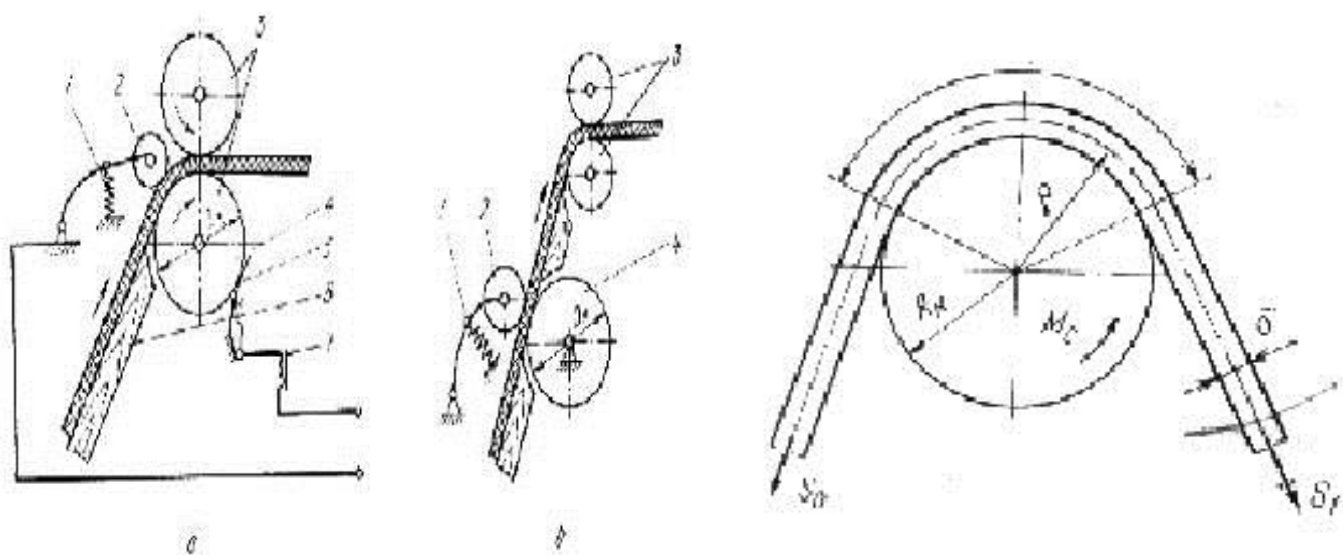
Jismning tekis tezlanuvchan harakati deb shunday harakatga aytiladiki, uning tezligi bunda har qanday teng vaqt oralig'larida bir xil o'zgaradi.



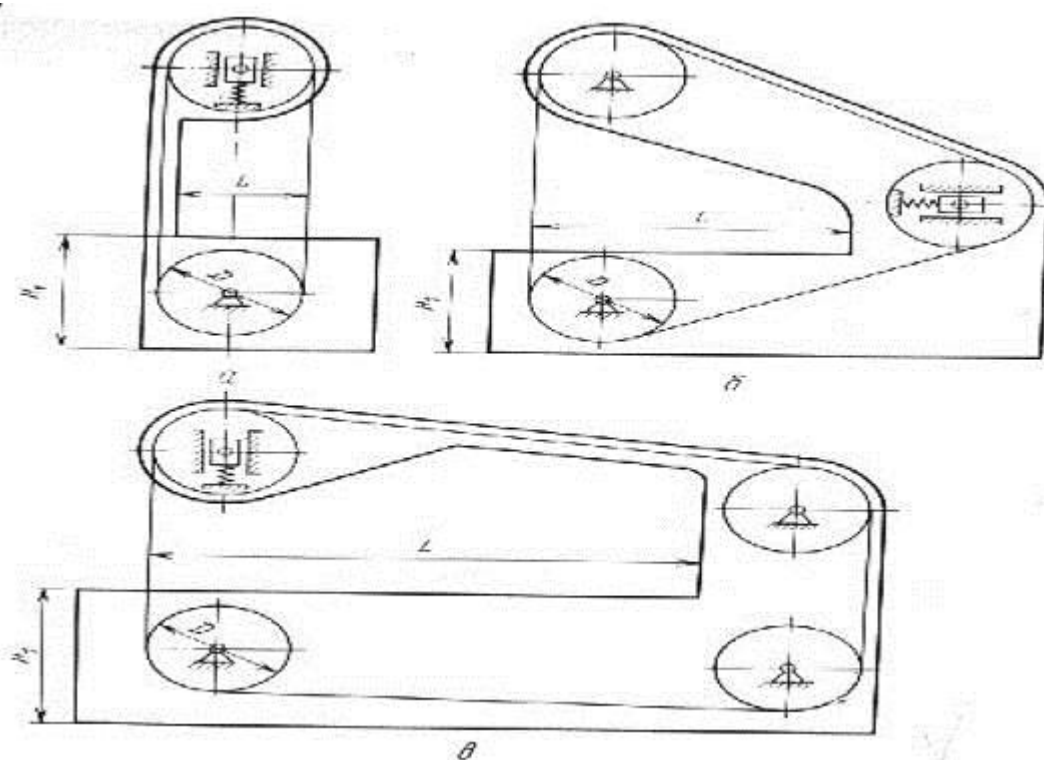
Vaqt birliklari ichida tezlik o'zgarishlarini xarakterlovchi vektor fizik kattalik tezlanish deb ataladi.

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t} \quad \text{Tekistezlanuvchi harakat} \quad v = v_0 + at, S = v_0 t + at^2/2$$

$$[a] = 1 \frac{m}{s} = 1 \frac{m}{s^2} \quad \text{Tekissekinlanuvchi harakat} \quad v = v_0 - at, S = v_0 t - at^2/2$$



Mutaxassislik fani bilan bog'liqligi.



**VEKTOR KATTALIKLAR**

Son qiymatidan tashqari yo'nalishga ham ega kattaliklar vektor kattaliklar deyiladi.

$\vec{F}$  - kuch;  $\vec{S}$  - ko'chish;  $\vec{p}$  - impuls;  $\vec{v}$  - tezlik;  $\vec{a}$  - tezlanish.

**VEKTORLAR USTIDA AMALLAR**

**Vektorlarni qo'shish**

$\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$  Uchburchak qoidasi  
 $|\vec{c}| = |\vec{a}|^2 + |\vec{b}|^2 + 2|\vec{a}||\vec{b}|\cos\hat{a}\hat{b}$

$\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$  Parallelogramm qoidasi

**Vektorlarni ayirish**

$\vec{c} = \vec{a} - \vec{b}$

$\vec{a}, \vec{b}$  - tashkil etuvchi vektorlar  
 $\vec{c}$  - natijaviy vektor

**Vektorlar proyeksiyasi**

$a_x > 0$   
 $a_x < 0$   
 $a_x = 0$   
 $b_x = 0$

**Vektorlar farqi va yig'indisining proyeksiyalari**

$c_x = a_x + b_x$   
 $c_x = a_x - b_x$

**TEZLIK**

*Tezlik deb, vaqt birligi ichida bosib o'tilgan yo'lga yoki vaqt birligi ichidagi ko'chishni xarakterlovchi fizik kattalikka aytiladi.*

**SI sistemasida tezlik birligi**

$$[\vec{v}] = \frac{1m}{1s} = 1 \frac{m}{s}$$

**Spidometr-tezlikni o'lchovchi asbob.**

$\vec{v} = \frac{\vec{S}}{t}$

**Aylana bo'ylab harakatlanayotgan jismning chiziqli tezligi**

**Burchak tezlik**

$$\omega = \frac{\phi}{t}$$

hunda  $\phi$  - burchak  
 $t$  - vaqt  
**O'lchov birligi**  
 Radian/sekund -  $[\frac{rad}{s}]$

**Aylanish chastotasi**

$$\nu = \frac{1}{T}$$

Bu yerda  $T$  - aylanish davri  
 $\nu$  - To'la aylanishlar soni  
**O'lchov birligi**  
 $[\frac{1}{s} = s^{-1} = \frac{rev}{s}]$

**Burchak tezlik**

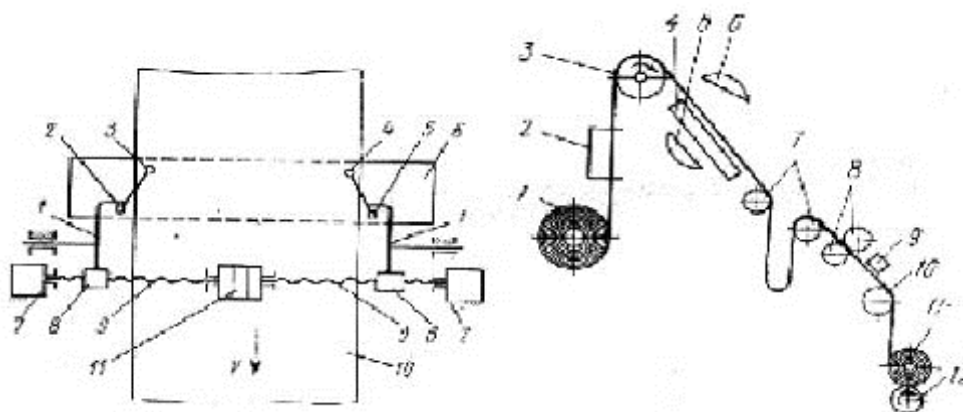
$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \nu$$

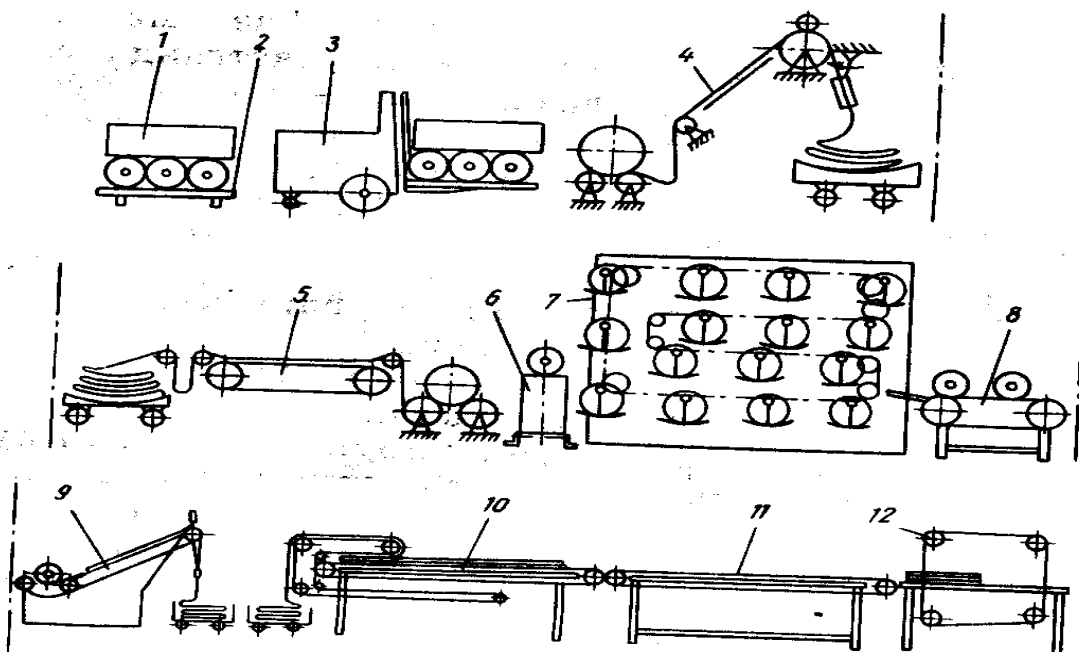
**Chiziqli tezlik**

$$v = \frac{2\pi R}{T} = \omega R$$

*Trayektoriyaning har qanday nuqtasida chiziqli tezlik  $v$  aylanma bo'ylab yo'naladi.*

Mutaxislik fani bilan bog'liqligi.

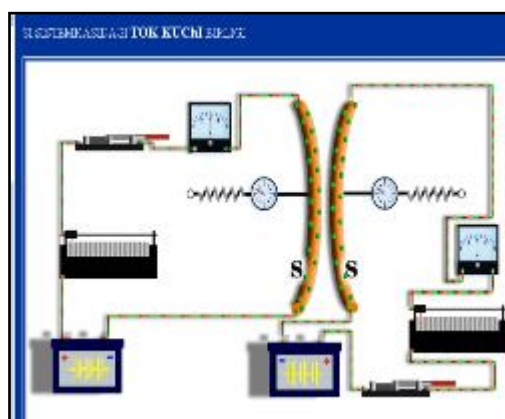
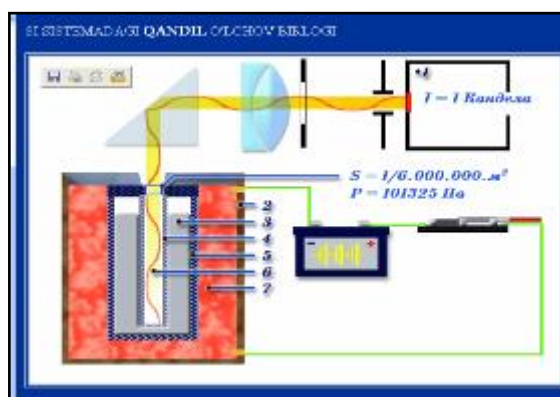
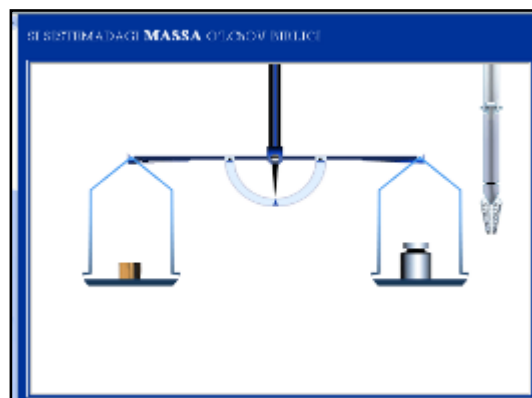
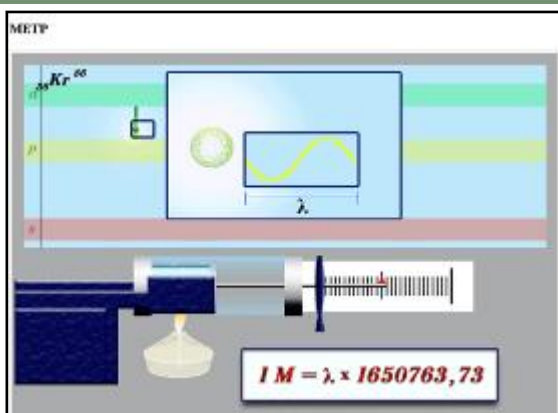


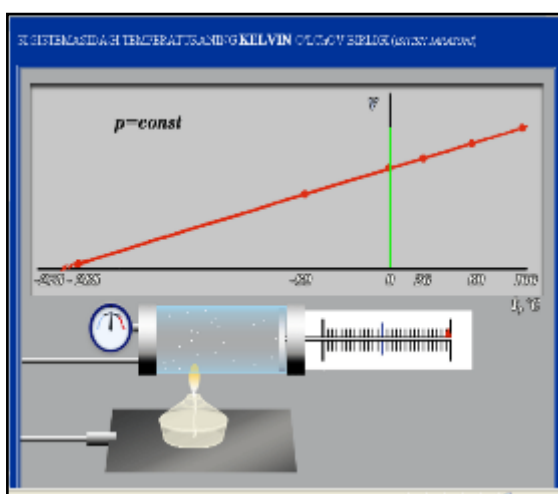
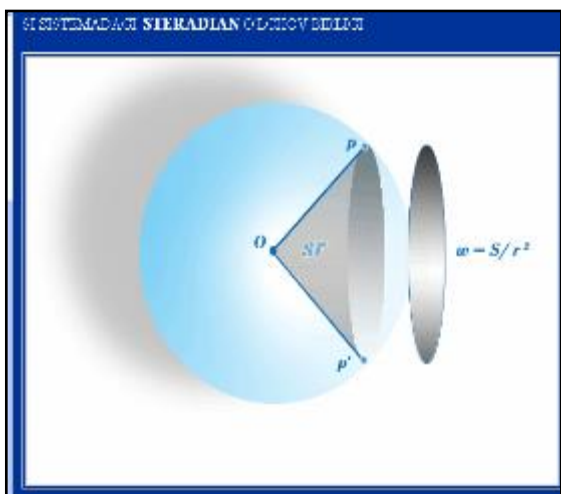
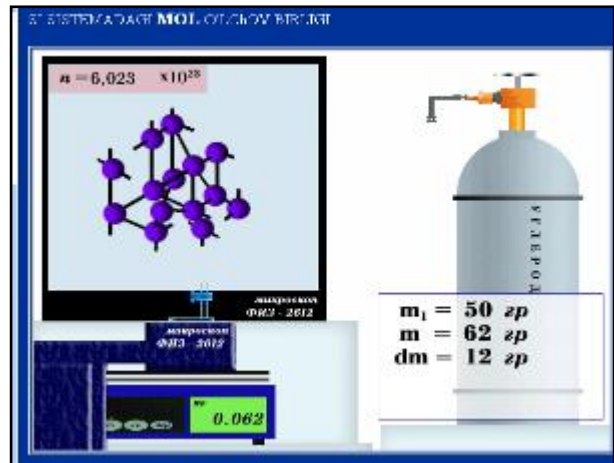
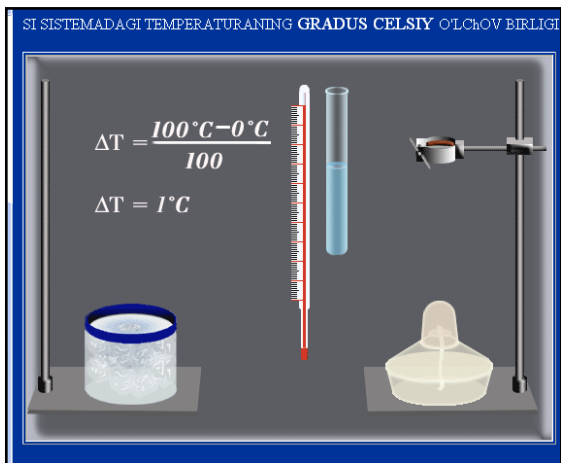


Mutaxassislik fani bilan bog'liqligi.

## Vizual materiallar

**FIZIK KATTALIKLAR VA ULARNING O'LCHOV BIRLIKLARI.**





### 3 - MA'RUZA. MODDIY NUQTA DINAMIKASI.

#### Reja:

1. **Dinamikaning asosiy vazifasi. Klassik mexanikaning holat tushunchasi. Harakat tenglamasi. Kuch.**

2. **Massa, impul's. Tabiatdagi o'zaro ta'sir turlari.**

3. **N'yutonning I qonuni. Inersial sanoq tizimi.**

4. **Nyutonning II va III qonuni. Kuch va impul's bog'lanishi. Jism harakat tenglamasi. Nyuton qonunlarini zamonaviy talqin etilishi.**

**Tayanch iboralar:** massa, kuch, og'rlik kuchi, elastiklik kuchi, ishqalanish kuchi, reaksiya kuch, markazga intilma kuch, kuch impulsi harakat miqdori.

**Ko'rgazmali qurollar:** mavzuga oid slaydlar, plakatlar va kompyuter.

#### O'tilgan mavzuni mustahkamlash.

1. SI o'lchov birligida qanday asosiy fizik kattaliklar mavjud? Asosiy fizik kattaliklarni ta'riflang.

2. Hosilaviy fizik kattaliklar va ularning o'lchav birliklari qanday aniqlanadi?

3. Tekis va o'zgaruvchan harakatlar o'zaro qanday farqlanadi.

6. Aylanma harakat deb qanday harakatga aytiladi.

7. Kompyuter texnikasidagi aylanma harakatga misollar oling.

8. Burchakli tezlik nima?

9. Burchakli tezlanish nima?

10. Normal va tangensial tezlanishlar qanday aniqlanadi?

#### Mavzuning borish.

1. **Dinamikaning asosiy vazifasi. Klassik mexanikaning holat tushunchasi. Harakat tenglamasi. Kuch.** Dinamika jismlarning harakatini uning u yoki bu xarakterda bo'lishini belgilovchi sabablar bilan bog'langan holda o'rgatadi.

N'yuton qonunlari tajribada topilgan ko'p faktlarni umumlashtirish natijasida maydonga kelgan. Bu qonunlarning to'g'riligini tajriba natijalariga mos kelishi bilan tasdiqlanadi.

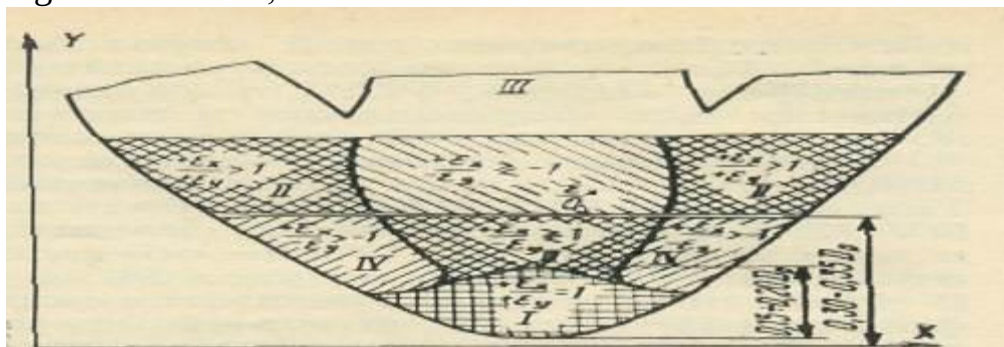
Barcha holatlarda jism mexanik harakat etganda uning siljishi vujudga keladi. Siljish vektorining vaqtga bog'liqligi  $\mathbf{S} = \mathbf{f}(t)$  harakat tenglaamsi bo'la oladi. Harakat tenglamasi yozilsa barcha parametrlar topilishi mumkin, ya'ni

$$v = \frac{ds}{dt}; \quad (3.1) \quad a = \frac{d^2s}{dt^2} \quad (3.2)$$

**Harakat tenglamasi.** Harakat tenglamasiga asosan tekis yoki tekislik harakatini va bu harakatlarini sababini aniqlash mumkin.

Masalan, harakat tenglamasi  $\mathbf{S} = \mathbf{A}t^3 + \mathbf{B}t^2 + \mathbf{C}t + \mathbf{D}$  ko'rinishida bo'lsa

tezlik  $v = \frac{ds}{dt} = 3At^2 + 2Bt + C$  va  
 tezlanish  $a = 6At + 2B$  ko'rinishida bo'ladi.  
 Agar  $a = 0$  bo'lsa,  $v = \text{const}$  harakat tekis bo'ladi.



Shakllangan betlikni murakkab kuchlangan holati xarakteri  
 Mutaxassislik fani bilan bog'liqligi.

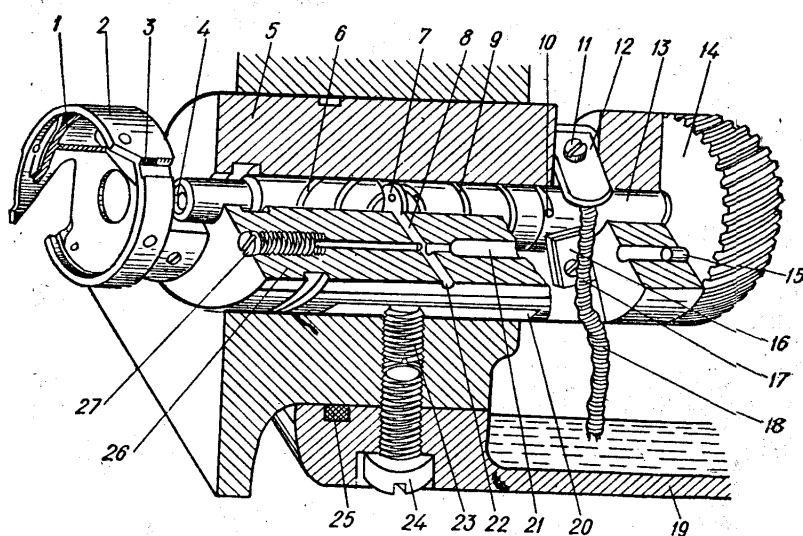
**Kuch.** Kuch bir jism ikkinchisiga ta'sir qilib bu jism holatini o'zgartirish natijasidir. Mexanik harakatining holati, vaqtning belgili  $t$  paytida jismning fazodagi vaziyat va jism tezligining berilishi bilan bir ma'noda aniqlanadi. Harakatning holatini o'zgartirishi jism holati yoki tezligining o'zgarishidan iboratdir. Jismlarning o'zaro ta'siri maxsus kiritilgan fizik miqdor - kuch bilan baholangani uchun kuchning ta'siri ostida jism o'z vaziyatini va tezligini o'zgartiradi deyish mumkin. Kuch va jism harkati holatining o'zgarishi orasidagi boholash Nyutonning harakat qonunlarida ifodalanadi. Kuchning koordinata o'qlarida proyeksiyalarini (kuch vektorining komponentlar)  $x$ ,  $y$ ,  $z$  lar bilan belgilasak, unda harakat tenglamalari quyidagicha bo'ladi.

$$F_x = m \frac{d^2 X}{dt^2}, \quad (3.3)$$

$$F_y = m \frac{d^2 Y}{dt^2}, \quad (3.4)$$

$$F_z = m \frac{d^2 Z}{dt^2} \quad (3.5)$$

kuchning SI sistemasidagio'lchov birligi „N”  $1N = 1kg \cdot 1 \frac{M}{c^2}$



Mokini avtomatik moylash sistemasi.  
 Mutaxassislik fani bilan bog'liqligi.

## 2. Massa, impul's. Tabiatdagi o'zaro ta'sir turlari.

**Massa.** Massa bu jismda mavjud bo'lgan modda miqdorini belgilaydi. Ma'lum massali jism harakat qilishi uchun unga boshqa jismning ta'siri vujudga kelishi lozim. Mexanikaning dinamika bo'limida jismlar harakatini, mazkur harakatini yuzaga keltiruvchi sababalar mohiyati bilan bog'lab o'rganiladi.

Klassik mexanika tasavvurlariga asosan, massa o'zgarmas kattalik bo'lgani tufayli uni differensial belgisi ostiga kirita olamiz:

$$\frac{d(mv)}{dt} = F \quad (3.6)$$

Mazkur ifodadagi jism massasi ( $m$ ) va tezligi ( $v$ ) ning ko'paytmasi

$$p = mv \quad (3.7)$$

**jismning impul'si** (ilgari nashr etilgan adabiyotda "harakat miqdori" termini ham ishlatilgan) deb ataladi. Jism impul'si – tezlik vektori yo'nalishidagi vektor kattalik.

**Ishqalanish kuchi.** Real suyuqliklarda harakat ideal suyuqliklardagidan farqli bo'lib ular da ichki ishqalanish kuchlari vujudga keladi. Bunday suyuqliklarda ichki ishqalanish kuchlari qatlamlarning harakatiga va demak, undagi jismlarning harakatiga ham qarshilik ko'rsatuvchi kuch sifatida namoyon bo'ladi. Suyuqlik qatlamlari orasida mavjud bo'lgan ishqalash kuchi  $F$  uchun Nyuton quyidagi qonuniyatni aniqladi:

$$F = \eta \left| \frac{dv}{dz} \right| \cdot S \quad (3.8)$$

Bunda  $\eta$  – suyuqlikning yopishqoqlik koeffitsienti.

$S$  – qatlamlar yuzasi.  $\frac{dv}{dz}$  - kattalik (tezlik gradienti) bir qatlamdan ikkinchi qatlamga o'tganida suyuqlik qatlamlari tezliklarining o'zgarish jadvallini ifodalaydi.

$\vec{F}$  ishqalanish kuchi ikki "qo'shni" qatlamning tezroq harakatlanayotganini to'xtatishga, sekinroq harakatlanayotganini esa tezlatishga intiladi.

$\eta$ - yopishqoqlikning SI dagi birligi qilib shunday suyuqlikning yopishqoqligi olinadiki, bunda tezlik gradienti 1 metr ga 1m/s bo'laganda, suyuqlikning ikki "qo'shni" qatlamlari orasidagi  $S=1m^2$  sirt mavjud bo'lgan ishqalashi kuchi 1N ga

teng bo'ladi. Bu birlik paskal sekund  $\frac{Ns}{m^2} = PaS$  deb ataladi.

## 3. N'yutonning I qonuni. Inersial sanoq tizimi.

*N'yutonning birinchi qonuni. Inertsial sanoq tizimi.*

Agar jismga boshqa jismlar ta'sir etmasa, u o'zining tinch holatini yoki to'g'ri chiziqli tekis harakatini saqlaydi.

N'yutonning birinchi qonuni barcha sanoq sistemalarida bejarilavermaydi. Lekin shunday sanoq sistemasi mavjudki, unda erkin yoki kvazierkin jism o'zining tinch holatini yoki to'g'ri chiziqli tekis harakatini saqlaydi. Boshqacha aytganda, erkin yoki kvazierkin jism o'z tezligini o'zgartirmaydi (ya'ni bu sistemaga

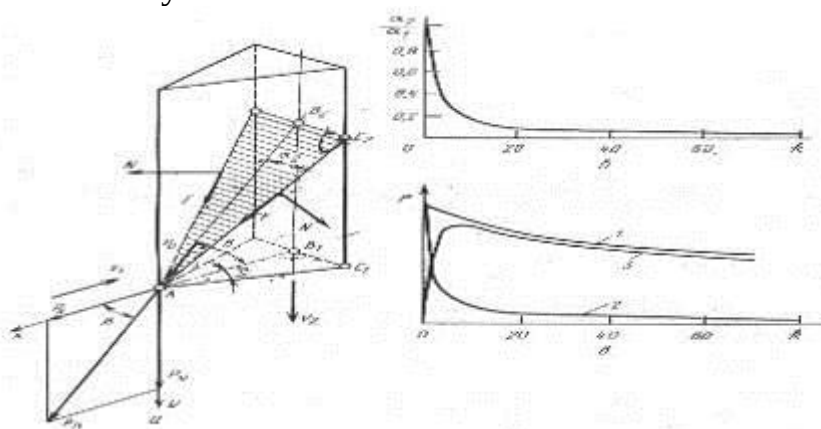


nisbatan jism tezlanishga ega bo'lmaydi). Bunday sanoq sistemasini *inersial sanoq sistemasini* deb ataladi.

Biror inersial sanoq sistemasiga nisbatan to'g'ri chiziqli tekis harakat qilayotgan ixtiyoriy sanoq sistemasini ham inersial sanoq sistemasini bo'ladi.

Shunday qilib, N'yutonning birinchi qonunini quyidagicha ta'riflash ham bo'ladi: *inersial sanoq sistemasida erkin yoki kvazierkin jism o'z tezligini o'zgartirmaydi*. Bu ta'rifda moddiy nuqtaning tinch holati – tezligi nolga teng bo'lgan harakat ekanini nazarda tutiladi.

Inersial sanoq sistemalarida jismga boshqa jismlar ta'sir etmaguncha, ya'ni uning erkinligini (kvazierkinligi) buzilmaguncha mazkur jismning o'z harakat tezligini saqlash hodisasi *inersiya* deb, harakatini esa inersiya bo'yicha harakat deb ataladi. Moddiy nuqtaning tinch (ya'ni  $\vartheta = 0$ ) holati inersiya bo'yicha harakatning xususiy holidir. Shu sababli N'yutonning birinchi qonunini, ba'zan, inersiya qonuni deb ham yuritiladi.



Pichoqqa ta'sir qiluvchi kuchlar sxemasi.

Mutaxislik fani bilan bog'liqligi.

#### **4.Nyutonning II va III qonuni. Kuch va impul's bog'lanishi. Jism harakat tenglamasi. Nyuton qonunlarini zamonaviy talqin etilishi.**

Albatta tashqi ta'sirdan butunlay holis bo'lgan jismning o'zi yo'q. Nyutonning I – qonunini ideal shaklda tekshirib ko'rish ancha murakkab. Nyutonning buyukligi ham shundaki u tajribada tekshirib bo'lmas darajadagi fikrni, ya'ni hech qanday tashqi ta'sir bo'lmaganda jism to'g'ri chiziqli tekis harakatini saqlash mumkinligini aytib oladi.

Nyuton **onun** kuch ( $F$ ), jism massasi ( $m$ ) va shu kuch ta'sirida jism olgan tezlanish ( $a$ ) orasidagi bog'lanish aks ettiradi.

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad \text{yoki} \quad \vec{a} = \vec{F} / m \quad (3.9)$$

*Kuch va impuls bog'lanishi.* Nyutonning II qonuniga quyidagicha ta'rif bersa bo'ladi:

Inersial sanoq sistemasida jism erishadigan tezlanish ta'sir etuvchi kuchga to'g'ri proporsional va u kuchining ta'sir tomoniga qarab yo'nalgan.

$$F = m \frac{d\vartheta}{dt} \quad \text{biz bilamizki} \quad a = \frac{d\vartheta}{dt} \quad \text{tezlanish}$$

$$\vec{F} = \frac{d(m \cdot \vec{g})}{dt} = \frac{d\vec{P}}{dt} \quad (3.10) \quad \text{bu yerda } P=m \cdot g \quad \text{jism harakat miqdori.}$$

Bu formula Nyutonning II qonunining umumiy ko'rinishi.

### **Kuch va impul's bog'lanishi. Jism harakat tenglamasi.**

Kuch ta'sirida jism o'zining harakat tezligini o'zgartiradi, ya'ni tezlanish oladi. Bu kuchning dinamik namoyon bo'lishidir. Shuningdek, kuch ta'sirida jism deformatsiyalanishi, ya'ni shakli va o'lchamlarini ham o'zgartirishi mumkin. Bunga kuchning statik namoyon bo'lishi deyiladi. Kuch vektor kattalik bo'lib, nafaqat son qiymati bilan balki yo'nalishi va qaysi nuqtaga qo'yilishi bilan ham xarakterlanadi.

*Kuch vektor kattalik bo'lib, jismga boshqa jismlar va maydonlar tomonidan ko'rsatilayotgan mexanik ta'sirining o'lchovi hisoblanadi va bu ta'sir natijasida jism yoki tezlanish oladi yoki o'zining shakli va o'lchamlarini o'zgartiradi.*

Nyutonning II qonuniga ko'ra

$$F_{ma} = m \frac{g_1 - g_2}{\Delta t} \quad (3.11)$$

$$F\Delta t = m g_2 - m g_1 \quad (3.12)$$

Shunday qilib kuch impulsi harakat miqdorining o'zgarishiga teng bo'ladi. Kuch – impulsi harakat miqdoridan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli differensialga teng bo'lib, impuls o'zgarishining yo'nalishi bo'yicha yo'nalgan bo'ladi.

$$\vec{F} dt = d\vec{P} \quad (3.13)$$

Bu ifodagi kuchning uni ta'sir vaqtiga ko'paytmasi **kuch impulsi** deyiladi. Demak, kuch impulsi Mexanik impuls o'zgarishiga teng.

*Nyutonning III – qonuni.* Bu qonun ta'sir va aks ta'sir to'g'risidagi qonundir. Tabiatda mavjud bo'lgan barcha jismlar o'zaro ta'sirlashadi.

Ta'rif: Ikki moddiy nuqtaning o'zaro ta'sir kuchi miqdoran teng, qarama-qarshi yo'nalgan bo'lib, bu nuqtalarni to'qnashtiruvchi to'g'ri chiziq bo'ylab ta'sir etadi.

$$F_{12} = -F_{21} = m_1 a_1 = -m_2 a_2 \quad (3.14)$$

bunda,  $a_1 = -m_2 \cdot a_2 / m_1$  ya'ni o'zaro ta'sirlashuvchi jismlar massalariga teskari proportsional va bir-biriga qarama-qarshi yo'nalgan tezlanish bilan harakatlanadi. Demak, ta'sir kuchli bir - biriga tegadigan jismlardan birining deformatsiyalanishi yoki tezlanish olishi tarzida namoyon bo'lsa, aks ta'sir kuchi 2 chi jismning deformatsiyalanishi yoki tezlanish olishi sifatida namoyon bo'ladi.

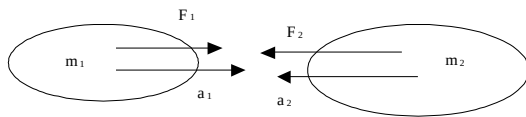
Bunda Yer qobig'ida geologik –qidiruv ishlar olib borishda keng foydalaniladi.

*Nyuton qonunlarini zamonaviy talqin etilishi.*

Nyutonning III-qonuniga ko'ra *ikki jism o'rtasidagi o'zaro ta'sir kuchlari miqdor jihatidan teng yo'nalishi qarama-qarshi bo'ladi, ya'ni*

$$F_1 = -F_2 \quad (3.15)$$

Masalan, massalari  $m_1$  va  $m_2$  bo'lgan turli ishorali zaryadlangan ikki jismini ko'raylik (3.1-rasm).



3.1-rasm

$F_1$  va  $F_2$  kuchlar ta'sirida jismlar  $a_1$  va  $a_2$  tezlanishlar oladi. Ikkinchi qonunga ko'ra

$$G'_1 = m_1 a_1 \text{ va } F_2 = m_2 a_2 \quad (3.16)$$

3.8 va 3.9-tengliklardan

$$m_1 a_1 = -m_2 a_2 \quad (3.17)$$

yoki

$$a_1 = - \frac{m_2 a_2}{m_1},$$

(3.18)

ya'ni o'zaro ta'sirlashuvchi jismlar tezlanishlari ularning massalariga teskari proporsional bo'lib, qarama-qarshi tomonga yo'nalgan bo'ladi.

#### **Mavzuni mustahkamlash uchun savollar:**

1. Mexanikaning dinamika qismi nimani o'rganadi?
2. Massa deb nimaga aytamiz?
3. Nyuton qonunlarni ta'riflang.
4. Kuch impulsi bilan harakat bog'lanish orasida qanday bog'lanish mavjud.

#### **Uyga vazifa:**

- 1) Nyuton qonunlarini informatika va axborot texnologiyasida qo'llanilishi.
- 2) Kuchlar klassifikatsiyasi.

### 3-MA'RUZANING ILOVALARI

**Elastiklik kuchi  $F_{el}$**

**Elektromagnit o'saro ta'sir**

**Yuzaga kelish sharti - elastik deformatsiya**

**Tiryanach reaksiyasining kuchi**

**Osmo reaksiyasining kuchi**

**HUK QONUNI**

$$F_{el} = -k\Delta l$$

$k$  - likrik ko'rsatkichi  
 $k = \frac{F}{\Delta l}$   $[k] = \frac{N}{m}$   
 $\Delta l$  - deformatsiya kattaligi  
 $\Delta l = l - l_0$   
 $l_0$  - boshlang'ich uzunlik  
 $l$  - o'zgarib qolgan uzunlik

**Elastiklik kuchi grafigi**

**Og'irlik kuchi**

**Nyuton tomonidan ochilgan butun olam tortishishi qonuni 1667 yil**

Gravitatsion o'saro ta'sir

**Jolli tajribasi (1881 y.)**

**Kavendish tajribasi (1798 y.)**

Aylanma farosilar

**Og'irlik kuchi**

$$\vec{F}_{og'}$$

Yer yuzasida yaqin joylashgan barcha jismlarga ta'sir etadi

$$\vec{F}_{og'} = m\vec{g}$$

$\vec{g} = 9.81 \frac{m}{s^2}$

Yer

**Butun olam tortishish qonuni**

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$$

$G$  - gravitatsion doimiy  
 $G = \frac{F R^2}{m_1 m_2}$   $[G] = \frac{Nm^2}{kg^2}$   
 $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2}$   
 Har qanday masofadan ta'sir etadi

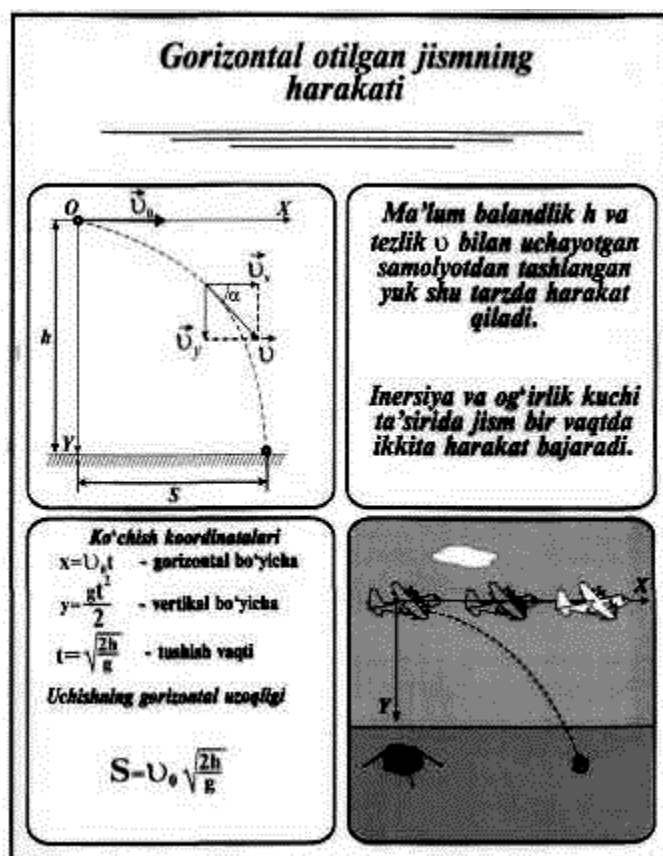
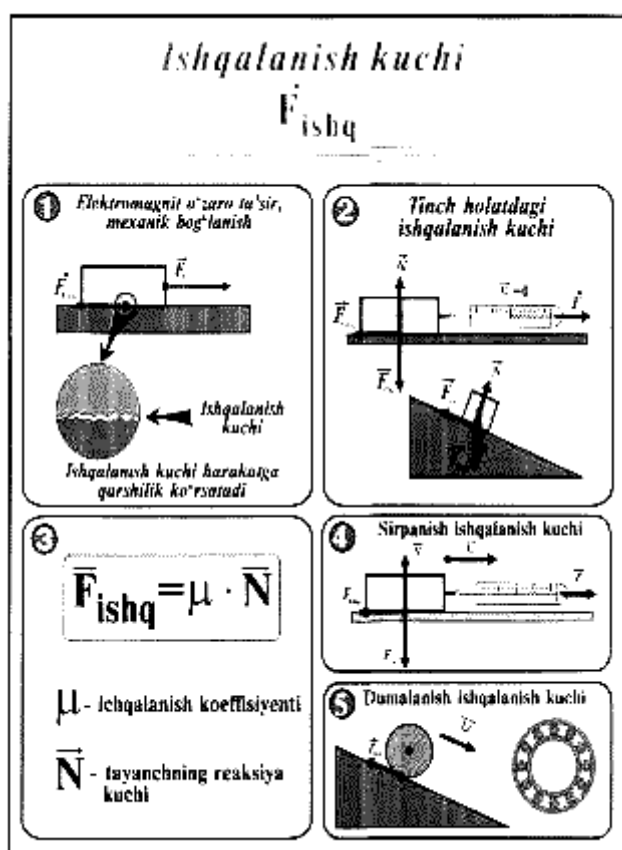
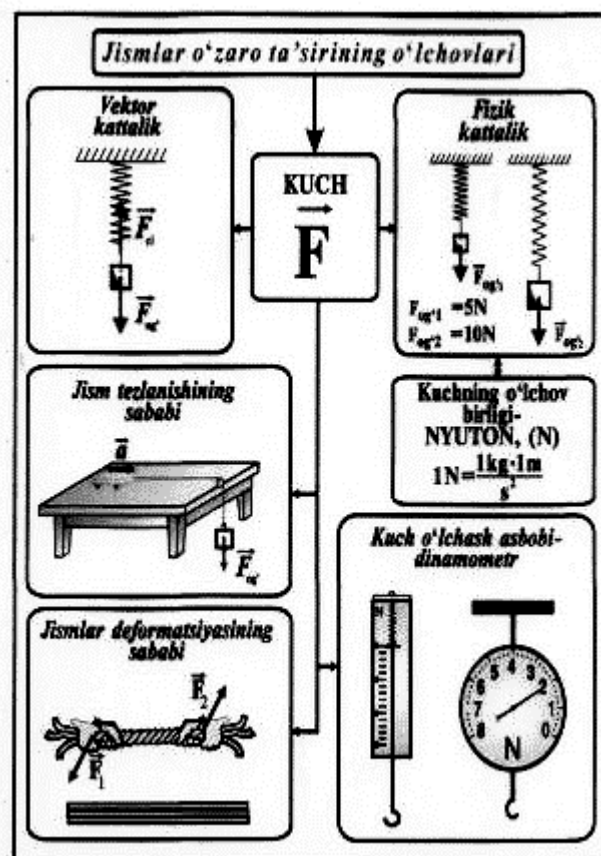
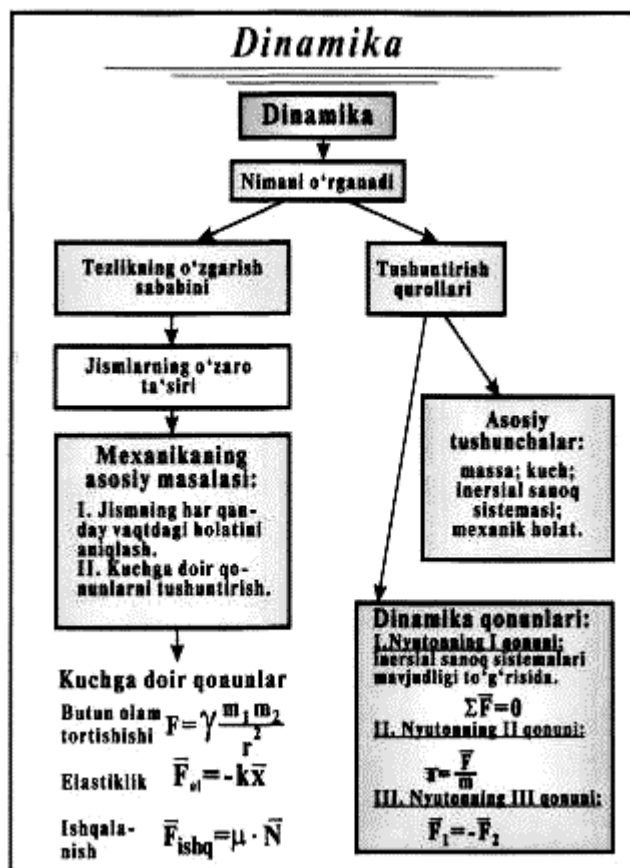
**Jism og'irligi**

$$\vec{P}$$

Jismlar tayanishga yoki osmaga ta'sir etuvchi kuch

$$\vec{P} = m\vec{g}$$

**Og'irlik kuchi, jism og'irligi birligi - NYUTON**



#### 4 - MA'RUZA. NOINERSIAL SANOQ TIZIMLARI.

##### Reja:

1. **Massa markazi. Massa markazining harakati.**
2. **Inertsion kuchlar.**
3. **Absolyut qattiq jism erkinlik darajasi soni. Absolyut qattiq jism harakat dinamikasi.**
4. **Impul's momenti. Momentlar tenglamasi.**
5. **Erkin o'qlar. Giraskop.**

**Tayanch iboralar:** massa, harakat miqdori, saqlanish qonuni, planetalar, harakat, mexanik ish, quvvat, energiya.

**Ko'rgazmali qurollar:** mavzuga oid slaydlar, plakatlar va kompyuter.

##### O'tilgan mavzuni takrorlash.

1. Mexanikaning dinamika qismi nimani o'rganadi?
2. Massa deb nimaga aytamiz?
3. Nyuton qonunlarni ta'riflang.
4. Kuch impulsi bilan ta'sir etuvchi kuch orasida qanday bog'lanish mavjud?

##### Darsning borishi:

##### 1. Massa markazi. Massa markazining harakati.

Jismni elementar  $\Delta m_i$  massalarga bo'lib, uni o'zaro vaziyati o'zgarmaydigan moddiy nuqtalar sistemasi deb tasavur qilish mumkin. Har bir elementar massa uchun Nyuton ikkinchi qonunining tenglamasini yozaylik:

$$\Delta m_i W_i = f_i + F_i \quad (4.1)$$

bu yerda  $f_i$  – barcha ichki kuchlarning teng ta'sir etuvchi  $F_i$  esa berilgan elementlar massaga qo'yilgan barcha tashqi kuchlarning teng ta'sir etuvchisi.

$w_i$  bu  $\Delta m_i$  massali jism tezlanishi. Hamma elementar massalar yig'indisi uchun quyidagini topamiz:

$$\sum \Delta m_i W_i = \sum f_i + \sum F_i \quad (4.2)$$

Biroq sistemada ta'sir ko'rsatuvchi barcha ichki kuchlarning yig'indisi nolga teng. Shuning uchun (4.2) tenglama quyidagi sodda ko'rinishga keladi:

$$\sum \Delta m_i W_i + \sum F_i = 0 \quad (4.3)$$

Inertsia markazining radius vektori quyidagiga teng:

$$r_c = \frac{\sum \Delta m_i r_i}{m} \quad (4.4)$$

Bu munosabatni vaqt bo'yicha ikki marta Differentsiallab va  $r_c = w_c$  va  $\ddot{r}_i = w_i$  ekanligini hisobga olib quyidagini yozish mumkin:

$$m w_c = \sum \Delta m_i w_i \quad (4.5)$$

Demak:

$$m w_c = \sum F_i \quad (4.6)$$

Bundan quyidagi xulosa chiqadi: *massasi jismning massasiga teng bo'lgan moddiy nuqta jismga qo'yilgan barcha kuchlar ta'sirida qanday harakatlansa, qattiq jismning inertsia markazi ham shunday harakatlanadi. Ilgarilanma harakat uchun bu tenglama faqat inertsia markaziningina emas, balki jismning istalgan boshqa nuqtasini tezlanishini aniqlab beradi.*

## 2. Inertsion kuchlar.

Barcha inertsial sistemalarga nisbatan berilgan jism bir xil  $a$  tezlanishga ega bo'ladi. Istalgan noinertsial sanoq sistemalarga nisbatan biror tezlanish bilan harakatlanganligi sababi jismning noinertsial sanoq sistemasidagi  $w'$  tezlanishi  $w$  dan farqli bo'ladi. Jismning inertsial va noinertsial sistemalardagi tezlanishlari farqini  $a$  simbol bilan belgilaymiz:

$$W - w' = a \quad (4.7)$$

Agar noinertsial sistema inertsial sistemaga nisbatan ilgarilanma harakatlansa, u holda  $\Delta a$  noinertsial sanoq sistemasining tezlanishiga teng bo'ladi. Aylanma harakat vaqtida noinertsial sistemaning turli nuqtalarning tezlanishlari turlicha bo'ladi. Bunday hollarda  $a$  ni noinertsial sistemaning inertsial sistemaga nisbatan harakat tezlanishi deb ta'riflab bo'lmaydi.

Farazqilaylik boshqa jismlar tomonidan berilgan jismga ko'rsatilayotgan barcha kuchlarning umumiy tashkil etuvchisi  $f$  ga teng bo'lsin. U holda Nyutonning ikkinchi qonuniga binoan:

$$a = \frac{1}{m} f \quad (4.8)$$

Noinertsial sanoq sistemaga nisbatan tezlanish:

$$w' = w - a = \frac{1}{m} f - a \quad (4.9)$$

Shunday qilib, agar jismga qo'yilgan barcha kuchlarning tashkil etuvchisi nolga teng bo'lsa ham jism inertsial sanoq sistemaga nisbatan  $-a$  tezlanish bilan, ya'ni unga  $-ma$  ga teng kuch ta'sir etayotgandagidek harakatlanadi.

U vaqtda Nyutonning ikkinchi qonuni tenglamasi noinertsial sanoq sistemada quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$m w' = f + f_{in} \quad (4.10)$$

*Markazdan qochma inertsia kuchi.* Disk aylanganda sharcha kengayadi, shunday vaziyatni egallaydiki, unda prujinaning taranglanish kuchi sharcha massasining markazga intilma tezlanishga ko'paytmasiga, ya'ni  $\omega^2 R$  ga teng bo'ladi.

$$f_{in} = m\omega^2 R \quad (4.11)$$

aylanayotgan (inertsia sistemalarga nisbatan aylanayotgan) sanoq sistemada yuzaga keluvchi kuch markazdan qochma inertsia kuchi deyiladi.

*Koriolis kuchi* jism aylanayotgan sanoq sistemaga nisbatan harakatlanganda markazdan qochma inertsia kuchidan tashqari Koriolis kuchi yoki kariolis inertsia kariolis inertsia kuchi deb ataluvchi yana bitta kuch yuzaga keladi. Agar disk aylanmayotgan bo'lsa, u holda sharcha to'g'ri chiziqli bo'ylab dumalaydi. Agar diskni strelka bilan ko'rsatilgan tomonga aylantirsak, u vaqtda sharcha punktir bilan tasvirlangan OB egri chiziqli bo'ylab dumalaydi, shu bilan birga bunda uning

diskka nisbatan tezligi  $\vartheta'$  o'z yo'nalishini o'zgartiradi. Demak, aylanayotgan sanoq sistemaga nisbatan sharcha go'yo uning  $\vartheta'$  tezligiga tik yo'nalganlik  $f_k$  kuch ta'sir ko'rsatgaday bo'ladi.

### 3. Absolyut qattiq jism erkinlik darajasi soni. Absolyut qattiq jism harakat dinamikasi.

*Absolyut qattiq jism erkinlik darajasi soni.* Absolyut qattiq jism – bu jismni shunday agregat harakati kim ular stabil tashqi ko'rinishga ega bo'lib uni tashkil etgan krisstallik panjaradagi atomlar o'zini musbat muvozanat holatidagi issiqlik tebranishiga ega.

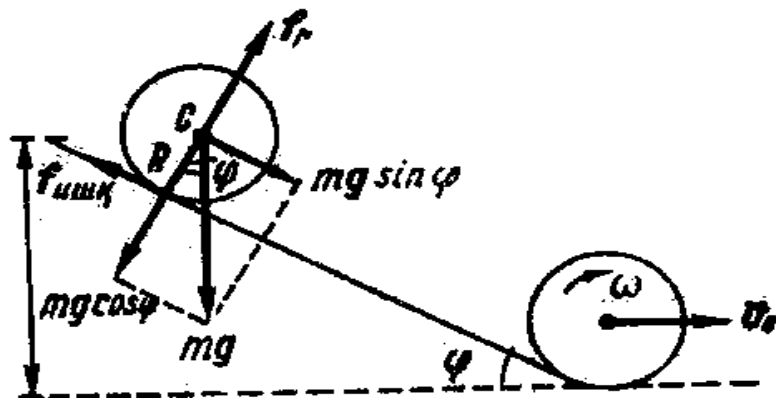
Absolyut qattiq jism 5 ta erkinlik darajasiga ega bo'lib  $x, y, z$  koordinat yo'nalishida ilgarilanma va 2ta yo'nalaishga aylanma harakat qilishi mumkin. Qattiq jismlar bir vaqtga o'zida ilgarilanma va aylanma harakat qilishi mumkin.

**Qattiq jisimning ilgarilma va aylanma harakati.** Mexanikada absolyut qattiq jism deb, bir - biriga nisbatan vaziyatlari o'zgarmay holadigan moddiy zarralar to'plamiga aytiladi.

Zarralarning o'zaro vaziyatlari o'zgarmaganligi sababli ularning chiziqli tezligi va chiziqli tezlanishlari aylanish o'qidagi shu zarralarcha bo'lgan masofalarga proporsional bo'ladi, ya'ni:

$$\vartheta = \omega r; \quad (4.12) \quad a_t = \varepsilon \cdot r; \quad (4.13) \quad a_n = \omega^2 r \quad (4.14)$$

Bu ta'rif qattiq jisimning aylanma harakat dinamikasida zarralaridan aylanish o'qigacha bo'lgan masofaning aloxida rolini belgilaydi. Aylanma harakat dinamikasida kuch va massalar o'rniga kuch momentlari bilan inertsia momentlari tekshiriladi. Jismni aylantira olishga oid kuchning miqdoriy xarakteristikasi sifatida kuch momenti tushunchasidan foydaniladi.



rasm (4.1)

Radiusi  $R$  ga va massasi  $m$  ga teng bo'lgan bir jinsli silindr qiya tekislik bo'ylab ishqalanishsiz dumalanib tushmoqda. Tekislikning qiyalik burchagi  $\varphi$ ga balandligi esa  $h$  ga teng bo'lsin ( $h \gg R$ ). Silindirning boshlang'ich tezligi nolga teng.

$$\vartheta_c = \omega R; \quad w_c = \beta R \quad (4.15)$$

$$Mw_c = mgs \sin \varphi - f_{ishq} \quad (4.16)$$



## Ilgarilanma va aylanma harakat dinamikasi xarakteristiklari orasidagi bog'lanish

| Ilgarilma harakat                                            | Aylanma harakat                                                              |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Ko'chish va yo'l $\vec{r}$ va $s$                            | Burchak $\varphi$ , $\vec{\varphi}$                                          |
| Tezlik $\vec{g} = \frac{d\vec{r}}{dt}$ , $g = \frac{ds}{dt}$ | Burchak tezlik $\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}$                    |
| Tezlanish $\vec{a} = \frac{d\vec{g}}{dt}$                    | Burchak tezlanish $\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$             |
| Mass $m$                                                     | Inersiya momenti $J = mr^2$                                                  |
| Kuch $\vec{F}$                                               | Kuch momenti $\vec{M} = \begin{bmatrix} \vec{r} \cdot \vec{F} \end{bmatrix}$ |
| Impuls $\vec{p} = m \vec{g}$                                 | Impuls momenti $\vec{L} = J \cdot \vec{\omega}$                              |
| Dinamikaning asosiy qonuni                                   |                                                                              |
| $\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$                              | $\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M}$                                              |
| Ish $dA = F_s ds$                                            | Ish $dA = M d\varphi$                                                        |
| Kinetik energiya $\frac{m g^2}{2}$                           | Kinetik energiya $\frac{J \omega^2}{2}$                                      |

### Absolyut qattiq jism harakat dinamikasi.

*Kuch momenti va uning o'lchov birligi.* Jismning biror nuqtasiga  $F$  kuch ta'sir etayotgan bo'lsin. Bu kuchning ixtiyoriy qo'zg'almas  $O$  nuqtaga nisbatan moment  $M$  deganda,  $(\vec{r})$  va  $\vec{F}$  kuchining vektor ko'paytmasi tushniladi. ya'ni:

$$\vec{M} = \begin{bmatrix} \vec{r} \cdot \vec{F} \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

$\vec{M}$  ning moduli esa,

$$M = F \cdot r \cdot \sin \alpha = F \cdot l \quad \text{bunda}$$

$F$  kuchning  $O$  nuqtaga nisbatan elkasi deyiladi.

$\vec{M}$  va  $\vec{F}$  vektorlarning yo'nalishlari o'ng vint qoidasi asosida bog'langan.  $O$  nuqtada joylashgan o'ng vint  $\vec{F}$  ning ta'siri tomoniga burganimizda vint ilgarilanma harakatning yo'nalishi  $\vec{M}$  ning yo'nalishini ko'rsatadi. Demak,  $\vec{M}$  haqiqiy emas, balki xuddi  $\vec{\omega}$  va  $\vec{\varepsilon}$  lar kabi psevdovektordir (haqiqiy bo'lmagan vektor).

**Kuch momentining birligi.**  $[M] = [F] \cdot [l] = 1 N \cdot 1 m = 1 N \cdot m.$   
**(4.18)**

**Qattiq jismning inersiya momenti.** Jismning inersiya momenti shu jismning aylanma haraktiga nisbatan inertligini ifodalaydigan kattalikdir. Har qanday jism aylanayotgan yoki tinch turganligidan qat'iy nazar ixtiyoriy o'qqa nisbatan inersiya momentiga ega bo'ladi.

Moddiy nuqtaning inersiya momenti deb, shu nuqtaning massasi bilan aylanish o'qidagi nuqtagacha bo'lgan masofa kvadratining ko'patmasiga aytiladi.

Jismning inersiya momenti shu jismdagi barcha moddiy nuqtalar inersiya momentlarining yig'indisiga teng.

$$J = \sum_{i=1}^n m_i \cdot r_i^2 \quad (4.19)$$

Inersiya momenti "SI" da ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ) larda o'lchanadi. Ba'zi bir jismlar inersiya momentlarining qiymatlarining keltiramiz. Bunda bir jisimli, ya'ni butun hajm bo'yicha zichliklar bir xil deb hisoblanadi.

1) Dumaloq diskning (yoki silindirning) o'z tekisligiga tik va markazi orali o'tuvchi o'qqa nisbatan inersiya mometi

$$J = \frac{1}{2} m \cdot r^2 \quad (4.20)$$

2) 1 uzunlikda ingichka to'g'ri sterjening sterjenga perpendikulyar va uning uchlaridan biri orqali o'tuvchi o'qqa nisbatan inersiya momenti

$$J = \frac{1}{3} m \cdot l^2 \quad (4.21)$$

3) Sharining markazidan o'tuvchi o'qqa nisbatan inersiya momenti

4) To'g'ri burchakli parallelepipedning simmetriya o'qiga nisbatan inersiya momenti

$$J = \frac{1}{2} m (a^2 + b^2) \quad (4.22)$$

#### 4. Impul's momenti. Momentlar tenglamasi.

**Qattiq jismning impuls momenti.** Jism aylanma harakat qilayotganda, undagi zarrachalarning impulsi ( $P=m \cdot g$ ), o'qqacha eng qisqa masofaning ko'paytmasi o'qqa nisbatan olingan impuls momenti deyiladi.

$$L_i = m_i \cdot g_i \cdot r_i \quad (4.23)$$

Qattiq jismning impuls momenti (aylanish o'qiga nisbatan)

$$L = \sum_{i=1}^n L_i = \sum_{i=1}^n m_i \cdot g_i \cdot r_i \quad (4.24)$$

Impuls momentining SI tizimidagi o'lchov birligi  $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$  yoki aylanma harakat vaqtida

$$L_i = \sum_{i=1}^n m_i \cdot r_i^2 \omega = \omega \sum_{i=1}^n m_i \cdot r_i^2 = J \cdot \omega$$

(4.25)

$$\vec{L} = J \cdot \vec{\omega}$$

(4.26)

Demak, o'z o'qi atrofida aylanayotgan qattiq jismning impuls momenti jism inersiya momenti bilan burchak tezlikning ko'paytmasiga teng ekan. Impuls momenti vektor kattalik bo'lib u o'q bo'ylab yo'nalgan bo'ladi:

*Momentlar tenglamasi.* Kuch momenti

$$\vec{M} = \vec{F} \cdot l \quad \text{yoki} \quad M = J \cdot \varepsilon - \text{kuch momenti}$$

inersiya momneti  $J = mR^2$  (4.27)

$$\vec{L} = J \cdot \vec{\omega}$$

impuls momenti

(4.28)

**aylanma harakatda:**  $M = J \cdot \varepsilon = \frac{dL}{dt}$  (4.29)

*Shteyner teoremasi.* Istalgan o'qqa nisbatan inersiya momenti  $I$  shu o'qqa parallel bo'lgan va jismning inersiya markazi orqali o'tuvchi o'qqa nisbatan inersiya momenti  $I_0$  bilan jismning  $m$  massasining o'qlar orasidagi  $a$  masofa kvadratiga ko'paytmasining yig'indisiga teng:

$$I = I_0 + ma^2 \quad (4.30)$$

Shteyner teoremasiga binoan diskning  $O' O'$  o'qqa nisbatan inersiya momenti diskning markazi orqali o'tuvchi o'qqa nisbatan biz topgan inersiya momenti bilan  $mR^2$  ning ( $O' O'$  va  $OO$  o'qlar orasidagi masofa diskning  $R$  radiusiga teng) yig'indisiga teng:

$$I = \frac{m R^2}{2} + m R^2 = \frac{3}{2} m R^2$$

(4.31)

Stejenning inersiya momenti

$$J = \frac{1}{12} m l^2 \quad (4.32)$$

Silindr inersiya momenti

$$J = \frac{1}{2} m R^2 \quad (4.33)$$

Sharning inersiya momenti

$$J = \frac{2}{5} m R^2 \quad (4.34)$$

### 5. Erkin o'qlar. Giraskop.

O'zining simmetriya o'qi atrofida tez aylanadigan qattiq jism giroskop deb ataladi.

Agar giroskopga ta'sir etayotgan tashqi kuchlar momenti nolga teng bo'lsa, u holda momentlarning

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M} \quad (4.35)$$

tenglamasiga asosan, harakat miqdorining momenti  $L$  o'zgarmas bo'ladi va giroskopning aylanish o'qi o'zining fazodagi vaziyatini saqlaydi. Agap tashqi kuchlar momenti noldan farqli bo'lsa, giroskop shunday harakat qiladiki, har bir paytda uning faqat qandaydir bitta nuqtasi qo'zg'almay turadi, xolos. Bu holda giroskopning harakatini qo'zg'almas nuqtadan o'tuvchi oniy o'q atrofida anlanish deb qarash mumkin.

Tashqi kuchlar momenti bo'lmaganda ( $M=0$ ) (1)-tenglamadan quyidagini topamiz.

$$\vec{L} = \text{const} \quad (4.36)$$

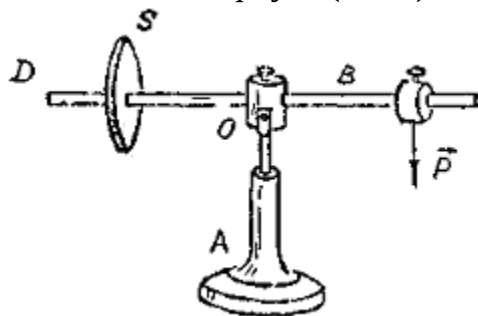
Harakat miqdorining bosh momenti, aylanishdagi oniy burchak tezligining qiymatlari o'zgarmasa, giroskopning simmetriya o'qi fazoda qo'zg'almaydi.

Tashqi kuchlar juda kichik vaqt ichida ta'sir qilganda  $\Delta t$ , (1) tenglamaga asosan harakat miqdori orttirmasi ( $\Delta L = \Delta t M$ ) ham juda kichik bo'ladi va harakat miqdori bosh momentining, oniy burchak tezlikning, hamda giroskop simmetriya o'qining yo'nalishlari fazoda juda kam o'zgaradi. Agar tashqi kuchlar ancha vaqt davomida tasir etib tursa, garchi ularning momentlari kichik bo'lsada, harakat miqdori bosh momentining, oniy burchak tezlikning, giroskop simmetriya o'qining fazodagi yo'nalishlari o'zgaradi.

Giroskopning bunday harakati *precessiya* deb ataladi.

Masalan, giroskop - A ustunga nisbatan ham vertikal, ham gorizontal yo'nalishda harakat qila oladigan B sterjenning D uchiga o'rnatilgan S diskdan iborat bo'lsin (1-rasm).

Agar sistema (1-rasmda ko'rsatilgan)  $R$  yuk bilan muvozanatlangan bo'lsa, disk aylanganda ham muvozanatini saqlaydi ( $M=0$ ).

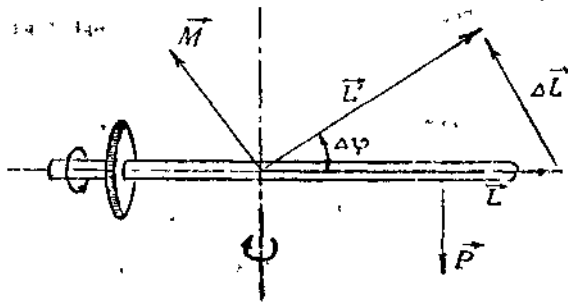


(rasm 4.2)

Agap sistemani  $P$  yuk yordamida muvozanat holatidan chiqaradigan bo'lsak, u holda giroskopga tashqi kuchning momenti:

$$M = P_1 \quad (4.37)$$

ta'sir qiladi, bundagi  $P$ -yukning massasi,  $l$ -massa markazidan yukkacha bo'lgan masofa. Endi giroskopning harakatini mukammalroq o'rganish uchun 4.2-rasmni soddaroq holini ko'rib chiqamiz 4.3 rasm.



(rasm 4.3)

Kuch momenti  $M$  rasm tekisligiga tik bo'lib, o'quvchidan rasm orqasiga qarab yo'nalgan. Chizmadan ko'rinib turibdiki,  $\vec{L}$  va  $\Delta\vec{L}$  vektorlarning yig'indisi bo'lmish  $\vec{L}^1$  vektor gorizontaal tekislikda  $\vec{L}$  vektorga nisbatan  $\Delta\varphi$  burchakka burilgan bo'ladi.

Endi presessiya burchak tezligini, ya'ni tashqi kuchlarning o'zgaras momenti ta'siri ostida giroskop o'qining aylanish tezligini topish kerak. Harakat miqdorining bosh momenti vektori  $L$  ning  $\Delta t$  vaqt ichidagi o'zgarishi (2-rasmga qarang)  $\Delta\vec{L} = \vec{L} \Delta\varphi$  bo'ladi, bundan

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{L} \frac{d\varphi}{dt} \quad (4.38)$$

Bularning limitini olsak,

$$\vec{\Omega} = \frac{d\varphi}{dt} \quad (4.39)$$

$\Omega$  - kattalik presessiya burchak tezligidir

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M} \quad \text{va} \quad \vec{L} = \omega \vec{I} \quad (4.40)$$

bo'lgani uchun

$$\vec{\Omega} = \frac{\vec{M}}{\omega I} \quad \text{yoki} \quad \vec{M} = \vec{I} \omega \vec{\Omega} \quad (4.41)$$

formulalardan giroskop harakat miqdori momentini oson topish mumkin,

$$\text{yani} \quad \vec{L} = \frac{\vec{M}}{\vec{\Omega}} \quad (4.42)$$

### **Mavzuni mustahkamlash uchun savollar**

1. Inersiya momenti qanday niqlanadi va uning birligi qanday?
2. Kuch momenti qanday aniqlanadi.
3. Impuls momenti qanday aniqlanadi va uning birligi nima?
4. Impuls momenti va aylanma harakat kinematikasi orasida qanday bog'lanish bor?
5. Qattiq jism tashqaridan ta'sir etuvchi kuchlarning bajargan ishi qanday fizik kattaliklarga bog'liq bo'ladi?
6. Jismning yassi harakati vaqtidagi to'liq kinetik energiyasi qaysi tenglama bilan topiladi.
7. Qattiq jism dinamikasi qonunlarning kunlik turmushda qo'llanishda misollar oling.
8. Qattiq jism kinetik energiyasi kompyuter sohasida qaysi vaqtda qo'llaniladi.

### **Uyga vazifa**

- 1) Erkin o'qlar haqida tushuncha hosil qilish.
- 2) Giraskopning ishlash prinsipini o'rganish.

## **5 - MA'RUZA. QATTIQ JISMLARNING DEFORMATSIYASI.**

### **Reja:**

1. Bir jinsli va bir jinsli bo'lmagan hamda elastik va qoldiq deformatsiyalar.
2. Siqilish va cho'zish deformatsiyasi. Guk qonuni. Yung moduli.
3. Siljish, egilish va burilish deformatsiyasi.
4. Elastik deformatsiya diogrammasi. Elastiklik chegarasi. Mustahkamlik, mo'rtlik. Qoldiq deformatsiya. Puasson koeffitsiyenti.

**Tayanch iboralar:** deformatsiya, deformatsiya turlari, qattiq jism deformatsiyasi uchun Guk qonuni.

**Ko'rgazmali qurollar:** Qattiq jismlar elastik xosalarini o'z ichiga olgan slaydlar, mexanik kuchlar klassifikatsiyasi va elastik deformatsiya animatsion dasturlar mexanik deformatsiya animatsion dasturi deformatsiyaga tegishli plakatlar va ko'rgazmali qurollar.

### **O'tilgan mavzuni takrorlash**

1. Mexanikaning dinamika qismi nimani o'rganadi?
2. Massa deb nimaga aytamiz?
3. Nyuton qonunlarini ta'riflang.
4. Kuch impulsi bilan harakat bog'lanish orasida qanday bog'lanish mavjud.

### Mavzuning borish.

#### 1. Bir jinsli va bir jinsli bo'lmagan hamda elastik va qoldiq deformatsiyalar.

Tashqi kuch ta'sirida qattiq jism tashqi ko'rinishi va geometrik parametrlari o'zgarish jarayoniga *deformatsiya* deyiladi.

Agar kuch ta'sirida jism deformatsiyasi vujudga kelib, kuch ta'siri to'xtagandan keyin jism avvalgi holatini olishiga *elastik deformatsiya* deyiladi. Jismga ta'sir etuvchi kuch to'xtaganda qoldiq deformatsiya kuzatilsa bunday deformatsiyaga *elastik bo'lmagan deformatsiya* deyiladi.

Kuch ta'sirida jismni barcha nuqtalari bir xildagi deformatsiyaga uchrasa bunday deformatsiyaga *bir jinsli deformatsiya* deyiladi.

Deformatsiya qonunlarini keltirib chiqarish uchun kuchlanish va nisbiy uzayish tushunchalari kiritiladi. Kuchlanish bu birlik yuzaga ta'sir etuvchi kuchga aytiladi.

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (5.1) \quad [\sigma] = \frac{N}{m^2} \quad (5.2)$$

Nisbiy uzayish qiymati uzayish qiymatini BC jism uzunligiga nisbatiga aytiladi.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (5.3)$$

#### 2. Siqilish va cho'zish deformatsiyasi. Guk qonuni. Yung moduli.

$\varepsilon < 0$  bo'lsa, siqilish deformatsiya vujudga keladi,  $\varepsilon > 0$  bo'lsa cho'zilish deformatsiyasi vujudga keladi.

*Deformatsiyaning miqdori va tavsifi. Guk qonuni.* Tajribaning ko'rsatishicha, kichik deformatsiyalarda kuchlanish  $\sigma$  nisbiy uzayish  $\varepsilon$  ga to'g'ri proportsional bo'ldi. Guk qonuni deb bu bog'lanish bunday yoziladi:

$$\sigma = E|\varepsilon| \quad (5.4)$$

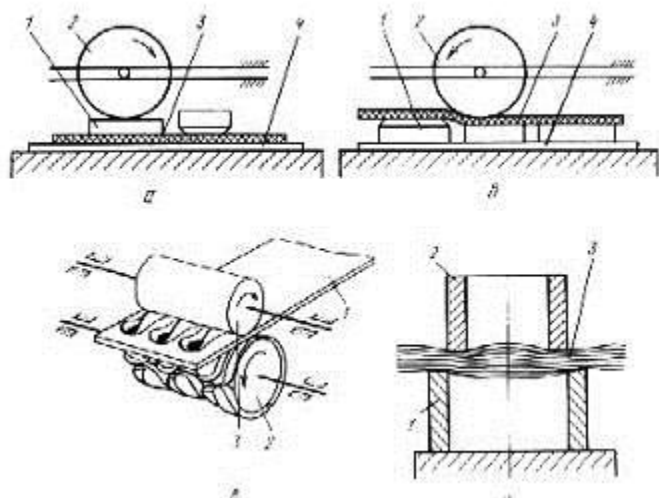
Guk qonunining ifodasida qatnashadigan proportsionalilik koeffitsenti  $E$  elaktiklik modeli yoki Yung moduli deb ataladi. Deformatsiyalar kichik bo'lganda  $\sigma$  kuchlanish va  $\varepsilon$  nisbiy zayishini o'lcha, Yung moduli formulada aniqlanadi.

*Yung moduli.* Ko'p ishlatiladigan materiallarning ko'pchilikligi uchun Yung moduli tajribada aniqlangan. Masalan, xrom - nikel po'lat uchun  $E=2,1 \cdot 10^{11}$  alyuminiy uchun esa  $E=7 \cdot 10^{10}$  Pa  $E$  qanchalik katta bo'lsa, boshqa parametrlar ( $F, S, l_0$ ) bir xil bo'lganda stejen shunchalik kam deformatsiyalanadi. Yung moduli materialning elastik cho'zilish (siqilish) deformatsiyasiga qarshilik ko'rsatish qobiliyatini ifodalaydi.

$$(5.5) \quad \sigma = \frac{F}{S} \text{ va } \varepsilon = \frac{|\Delta l|}{l_0} \text{ ifodalarni qo'yisak}$$
$$\frac{F}{S} = E \frac{|\Delta l|}{l_0} \quad (5.6)$$

bo'ladi. Bunda  $F = \frac{SE}{l_0} |\Delta l|$ ;  $\frac{SE}{l_0} = k$  deb belgilasak.  $F = k |\Delta l|$

Shunday qilib sterjening birligi  $k$  Yung moduli bilan sterjen ko'ndalang kesimi yuzining ko'paytmasiga to'g'ri proporsional va sterjening uzunligiga teskari proporsional.



Mutaxassislik fani bilan bog'liqligi.

## 2. Cho'zilish, siljish, egilish va burilish deformatsiyasi.

*Cho'zilish deformatsiyasi.*

Bir yo'nalishdagi cho'zuvchi kuch ta'sirida jism uzunligining ortishi bo'ylama cho'zilish deformatsiyasi deyiladi.

Uzunligi  $L$  va ko'ndalang kesim yuzi  $S$  bo'lgan sim yoki sterjen  $P$  yuk ta'sirida  $L$  m qadar cho'ziladi (yoki qisqaradi). Guk qonuniga asosan:

$$\Delta L = \alpha \frac{PL}{S}$$

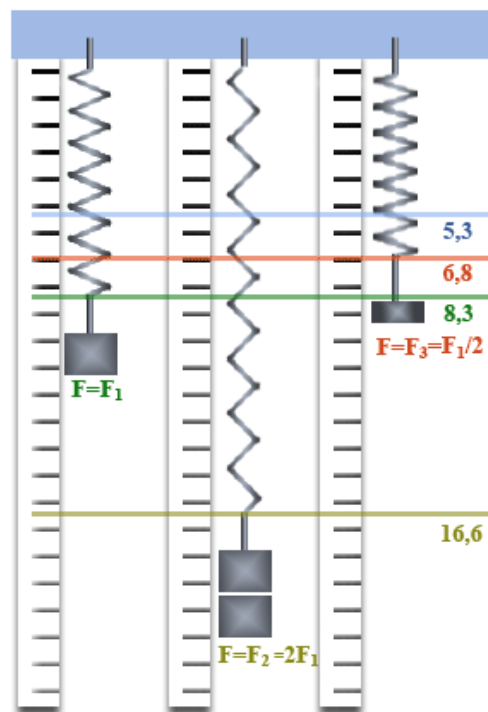
(5.7)

Bundagi -cho'zilishdagi (siqilishdagi) elastik koeffitsiyenti, ya'ni bo'yiga uzayish (qisqarish) koeffitsiyenti. Cho'zilishdagi elastiklik moduli, ya'ni YUNG moduli:

$$E = \frac{1}{\alpha} = \frac{PL}{S \Delta L} \quad (5.8)$$

Yuk ta'sirida sim cho'zilish bilan birga ko'ndalangiga ham siqiladi. Agar simning diametri  $d$  qadar o'zgargan bo'lsa, u holda:

$$\Delta d = \beta \frac{Pt}{S} \quad (5.9)$$



rasm (5.1)



bo'ladi, bundagi  $\beta$  – ko'ndalangiga siqilish koeffitsiyenti. Ko'ndalangiga siqilish koeffitsiyentining bo'yiga uzayish koeffitsiyentiga nisbati Puasson koeffitsiyenti deyiladi, ya'ni:

$$\sigma = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{\Delta d}{\alpha} : \frac{\Delta L}{L} \quad (5.10)$$

*Siljish deformatsiyasi.* Jizmning parallel qatlamlarining bir-biriga nisbatdan kuch ta'sirida siljishi siljish deformatsiyasi deyiladi.

To'g'ri burchakli ABDC parallelepipedga, uning sirtiga urinma bo'lib, **P** kuch ta'sir qilganda bu parallelepiped ABD'C' parallelepipedga aylanib qoladi. Urinma **P** kuch **S'** yuzli ustki asosning hamma joyiga teng taqsimlangan.

Kichik deformatsiyalarning birinchi qonuniga asosan siljish burchagi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\omega = k \frac{P}{S'} \quad (5.11)$$

Bundagi **k**- siljish koeffitsiyenti, **P**-sirtning birlik yuziga to'g'ri kelgan tashqi kuch. Siljish moduli **N** :

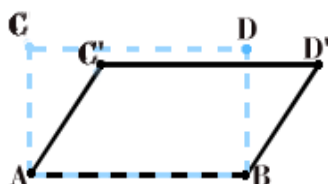
$$N = \frac{1}{k} = \frac{P}{S' \omega} \quad (5.12)$$

Endi siljish deformatsiyasini ko'raylik, rasmda qatlamlarni bir biriga nisbatan siljishi ko'rsatilgan. Siljish deformatsiyasi nisbiy siljish bilan xarakterlanadi. Rasmda ko'rinadiki, siljish deformatsiyasi natijasida bir vertikalda yotgan ABS nuqtalar bir xil masofada siljishiga emas, ya'ni AA<sub>1</sub> teng emas BB<sub>1</sub> teng emas CC<sub>1</sub> lekin hamma nuqta uchun nisbiy siljish deformatsiyasi

$$\varepsilon = \frac{AA'}{AO} = \frac{BB'}{BO} = \frac{CC'}{CO} = \operatorname{tg} \alpha \approx \alpha \quad (5.13)$$

bir xil bo'ladi.  $\alpha = \omega$

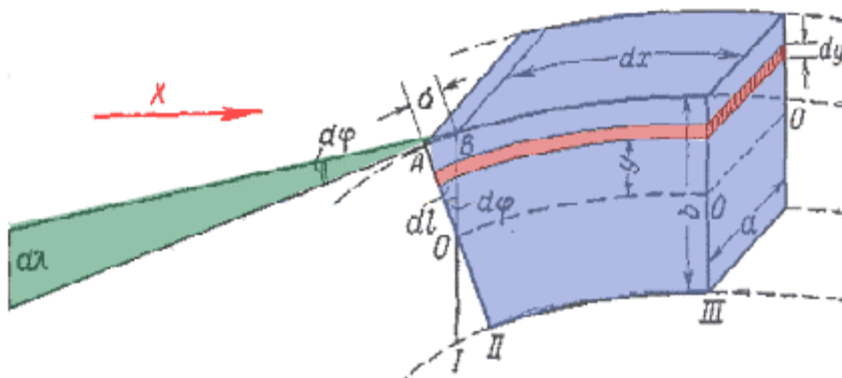
Demak siljish deformatsiyasida hosil bo'ladigan elastiklik kuchi  $F_{\text{el}} = NE$



**rasm (5.2)**

Shunday qilib deformatsiya jismga qo'yilgan kuch bilan elastiklik kuchi tenglashguncha davom etadi deb aytish mumkin.

Agar to'g'ri elastik sterjenning bir uchini devorga kirgizib qattiq mahkamlab, uning ikkinchi uchiga **r** ilgak qo'yilsa, u holda sterjenning yuk qo'yilgan uchi pasayadi,



(rasm 5.3)

ya'ni sterjen egiladi. Ravshanki, bu holda sterjenning ustki qatlamlari cho'ziladi, ostki qatlamlari siqiladi, neytral qatlam deb ataluvchi o'rtadagi biror qatlamning uzunligi o'zgarmaydi, u faqat salgina egiladi. Sterjenning erkin uchining siljishi egilish strelkasi deyiladi. Yuk qanchalik katta bo'lsa, egilish strelkasi ham shunchalik katta bo'ladi, bundan tashqari, egilish strelkasi sterjenning shakli va o'lchamlariga hamda uning elastiklik moduliga bog'liq bo'lishi kerak. Egilish strelkasini hisoblab topish uchun uzunligi  $L$ , balandligi  $b$  va eni  $a$  bo'lgan to'g'ri burchakli sterjenning biror ko'ndalang kesimini ko'rib chiqaylik.

*Egilish deformatsiyasi.* Sterjenning neytral qatlamdan  $Y$  masofada turgan va balandligi  $dy$  bo'lgan ixtiyoriy bir qatlamining  $dl$  uzayishini topaylik. 1- rasmdan ko'rinib turibdiki,

$$dl = \frac{2\sigma}{b} \quad (5.14)$$

Bu qatlamni  $dl$  qadar uzaytirish uchun, biror  $lg$  kuch kerak; Guk qonuniga asosan, bu kuch:

$$dF = \frac{Edsdl}{dx} \quad (5.15)$$

bundagi  $E$ -sterjen materialining elastiklik moduli,  $ds$  cho'zilayotgan qatlamning yuzi. Bu ifodaga  $dl$  ning yuqorida topilgan qiymatini va  $S = a \cdot dy$  ni qo'ysak:

$$dF = \frac{2Ea\sigma y}{dx \cdot b} \cdot dy \quad (5.16)$$

Sterjenning butun ko'ndalang kesimiga ta'sir qiluvchi aylantiruvchi momentni hisoblab topish uchun, hamma  $dF$  kuchlar momentlarini hisoblab topish va so'ngra bu momentlarni qo'shish kerak. Aylantiruvchi elementlar moment:

$$dM = y dF = \frac{2 E a \sigma}{d x b} y^2 dy \quad (5.17)$$

demak muayyan ko'ndalang kesimga ta'sir qiluvchi elastiklik kuchlari vujudga keltirgan aylantiruvchi umumiy moment:

$$M = \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \frac{2 a E \sigma}{d x b} \cdot y^2 dy = \frac{E a \sigma b^2}{6 d x} \quad (5.18)$$

Elastiklik kuchlari vujudga keltirgan aylantiruvchi moment muvozanat holatda tashqi kuchning aylantiruvchi momentiga teng bo'lgani uchun,

$$M = \frac{E a \sigma b^2}{6 d x} = P x \quad (5.19)$$

deb yoza olamiz. Bundagi  $r$ -sterjenning erkin uchiga qo'yilgan yukning og'irligi,  $x$ -R yuk qo'yilgan nuqtadan tekshirilayotgan kesimgacha bo'lgan masofa. Ko'ndalang kesimning I va II yo'nalishlari orasidagi  $d$  Burchak tekshirilayotgan kesim egilishining o'lchovidir. Ravshanki,

$$d \varphi = \frac{\sigma}{\frac{b}{2}} = \frac{2 \sigma}{b} \quad (5.20)$$

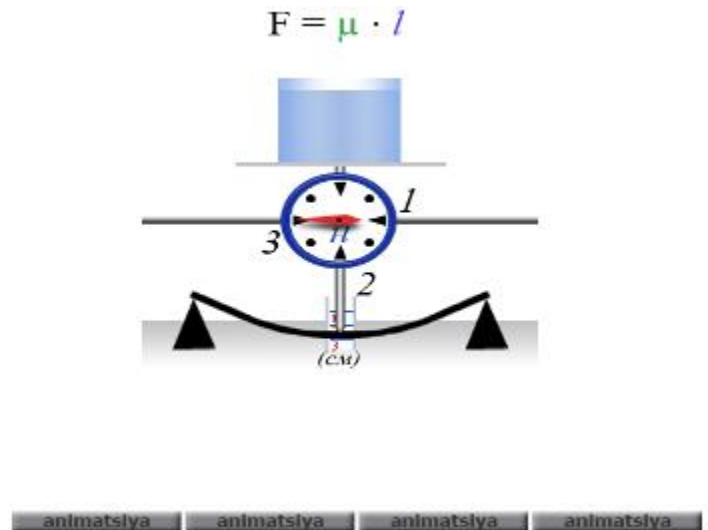
A va B nuqtalardan kesimlarning I va II yo'nalishlariga perpendikulyar o'tkazib, ularni sterjenning erkin uchigacha davom ettiramiz, demak, bu perpendikulyar kesmalarining uzunligi  $x$  ga teng bo'ladi. Bu ikki kesmaning o'zaro  $d < p$  burchak hosil qilishi ko'rinib turibdi. Bu vaqtda deformatsiya koeffisienti quyidagicha aniqlanadi.

$$\sigma = \frac{6 P x d x}{E a b x^2} \quad (5.21)$$

Bo'ladi. Elementar masofa  $d\lambda$  qiymatiga  $\sigma$  qiymati quyilsa

$$d \lambda = \frac{2 \sigma x}{b} = \frac{12 P x^2}{E a b^3} dx \quad (5.22)$$

Egilishning butun masofasi quyidagi integral bilan ifodalanadi:



rasm 5.4

$$\lambda = \int_0^L \frac{12 P}{Eab^3} x^2 dx = \frac{4 PL^3}{4 Eab^3} \quad (5.23)$$

Bu l - bir uchi qattiq mahkamlangan va erkin uchida yuki bo'lgan sterjenning egilish strelasidir.

Sterjenning ikkala uchi qattiq tayanchlar ustiga erkin qo'yilgan va r yuk sterjenning o'rtasiga qo'yilgan holda ham egilish strelasi tenglamadan topiladi, ammo bunda P ning o'rniga P/2 qo'yish va integralni 0 dan L gacha emas, balki 0 dan L/2 gacha olish kerak.

Darhaqiqat, egilishning bu holida tayanchlarning har biri R sterjenga P/2 ga teng aks ta'sir kilsa-da, sterjenning o'rta qismi gorizontaal vaziyatda qolaveradi.

Demak, ikkala uchi tayanch ustida yotgan sterjenning egilishi xuddi u o'rtasidan mahkamlangandek, o'rtadan L/2 macofada turuvchi har ikki uch r esa yuqoriga yo'nalgan P/2 kuch ta'sir qilayotgan holdagidek bo'ladi. Binobarin, egilish strelasi bu holda quyidagicha bo'ladi:

$$\lambda = \int_0^{L/2} \frac{12 \frac{P}{2}}{Eab^3} x^2 dx = \frac{PL^3}{4Eab^3} \quad (5.24)$$

bundan

$$E = \frac{PL^3}{4ab^3 \lambda} \quad (5.25)$$



(rasm 5.5)

*Burilish deformatsiyasi.*

Jismning parallel qatnalarining ikkita parallel kuch ta'sirida bir biriga nisbatan burulishi burilish deformatsiyasi deyiladi. Bir uchi mahkamlangan simni yoki sterjenni uni ikkinchi uchiga momenti M bo'lgan PP juft kuch bilan ta'sir qilib burasak, **p** buralish burchagi Gukning birinchi qonuniga asosan bo'ladi

$$\varphi = cM \quad (5.26)$$

bundagi c -simning materialiga bog'liq bo'lgan koeffitsiyent. Buralish moduli f:

$$f = \frac{1}{c} = \frac{M}{\varphi} \quad (5.27)$$

Sim materialining buralish moduli bilan siljish moduli orasidagi munosabatni chiqaraylik. Buning uchun uzunligi L, radiusi k va siljish moduli N bo'lgan simni ko'rib chiqaylik. Faraz etaylik, simning yuqorigi kesimi mahkamlangan va pastki kesimiga momenti m bo'lgan PP juft kuch ta'sir qilayotgan bo'lsin.

Bu juft kuch ta'sirida simning pastki kesimi  $\varphi$  burchakka buriladi. ds simning pastki kesim yuzining  $OO_1$  o'qdan (simning buralish o'qidan) r masofada turgan biror cheksiz kichik elementi bo'lsin va u buralishdan oldin A nuqtada bo'lsin; buralishdan sung bu element B nuqtaga o'tadi, SA vetikal chiziq esa vintsimon SB chiziqqa aylanib qoladi. Natijada, sim materialida sijish deformatsiyasi yuz berganligi tufayli, silindrik sirlarning ichkarisidagi va tashqarisidagi elementlar qiyshayadi. Siljish burchagi  $\varphi$  bo'lsin.

$$\omega = \frac{BA}{L} = \frac{r\varphi}{L} \quad (5.28)$$

$$N = \frac{l'}{K} = \frac{P}{S'\omega} \quad (5.29)$$

ds yuza element  $\varphi$  burchakka burilishi uchun  $dp = N^\varphi ds$  kuch bilan ta'sir qilish kerak.

$$dp = \frac{Nr^2\varphi dr d\alpha}{L} \quad (5.30)$$

Bu kuchning buralish o'qiga nisbatan momenti:

$$dm = dp \cdot r = \frac{Nr^3\varphi dr d\alpha}{L} \quad (5.31)$$

Kuchning butun halqaga ta'sir etuvchi sh momentini topish uchun, barcha  $dm$  momentlarni  $\alpha$  bo'yicha yig'ish kerak:

$$dM = \int_{\alpha=0}^{\alpha=2\pi} \frac{Nr^3\varphi dr}{L} d\alpha \quad (5.32)$$

Integral ostidagi dr dan boshqa barcha kattaliklar ga bog'liq bo'lmagani uchun,

$$dM = \frac{2\pi Nr^3\varphi dr}{L} \quad (5.33)$$

Butun pastki asosga ta'sir etuvchi butun moment m ni topish uchun esa barcha ai momentlarning bo'yicha yig'ish kerak; ekenligini hisobga olsak,

$$M = f\varphi \quad (5.34)$$

m - ning qiymatini qo'ysak:

$$f = \frac{N\pi R^4}{2L} \quad (5.35)$$

Bundagi N - sim materialining siljish moduli, f esa L uzunlikdagi simning buralish moduli.

Cho'zilish diagrammasi. Qattiq jismning xossalari cho'zilish deformatsiyasini tekshirish misolida ko'rib chiqamiz. Biroq bundan oldin deformatsiyalangan jismning holatini ifodalaydigan kattalik - mexanik kuchlanish tushunchasini kiritamiz.

Deformatsiyalangan jismning har qanday kesimida jismning qismlarga ajralishiga qarshilik qiladigan elastiklik kuchlari ta'sir etadi. Kuchlanish deb, aniqroq mexanik kuchlanish deb elastiklik kuchi moduli  $F$  ning jismning ko'ndalang kesimi yuzi  $S$  ga nisbatiga teng miqdorga aytiladi:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (5.36)$$

SI da kuchlanish birligi qilib xuddi bosmnikidek  $1\text{Pa}=1\text{N/m}^2$  olinadi.

**3.Elastik deformatsiya diogramasi.** Sterjen siqilganda kuchlanish gaz va suyuqliklardagi bosimga o'xshaydi. Cho'zilish deformatsiyasini tekshirish uchun sterjen maxsus moslamalar yordamida cho'ziladi, so'ngra uning uzayishi va unda yuzaga kelgan kuchlanish o'lchanadi. Tajriba natijalariga qarab kuchlanish  $\sigma$  ning nisbiy uzayish  $\varepsilon$  bo'lanish grafi chiziladi, bu chiziq cho'zilish *diagrammasi* deb ataladi.

**Elastik deformatsiya energiyasi.** Elastik cho'zilgan (siqilgan) sterjening energiyasini hisoblaylik. Cho'zish vaqtida sterjenga kattaligi ifoda bilan aniqlanuvchi kuch bilan ta'sir ko'rsatish kerak. Bu kuchning ishi

$$A = \int_0^{\Delta l} f dx, \quad (5.37)$$

$$f = kx = \frac{ES}{l} x \quad (5.38)$$

$$A = \int_0^{\Delta l} \frac{ES}{l} x dx = \frac{ES}{l} \frac{\Delta l^2}{2} = U \quad (5.39)$$

$$U = \frac{ES}{2} \vartheta \quad (5.40)$$

Eregiya zichligi  $u$  tushunchasini kiritaylik. Uni biz  $\Delta U$  energiyaning shu eregiya mujassamlashgan  $\Delta \vartheta$  hajmga nisbati sifatida

$$u = \frac{\Delta U}{\Delta \vartheta} \quad (5.41)$$

$$u = \frac{U}{\vartheta} = \frac{E \varepsilon^2}{2} \quad (5.42)$$

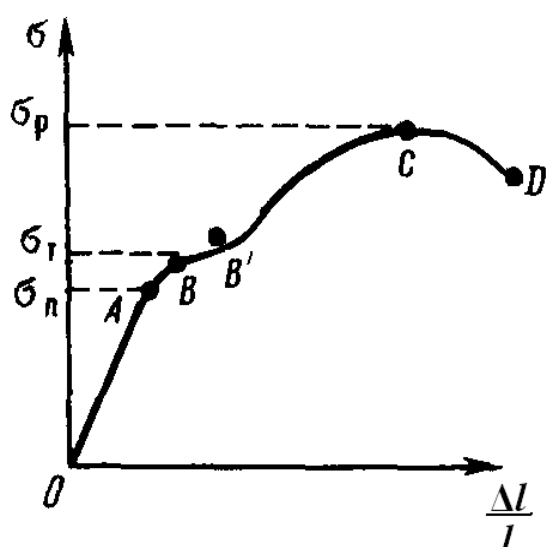
**4. Elastik deformatsiyaning kuchlanishga bog'liqligi va uning diogrammasi. Elastiklik chegarasi. Mustahkamlik, mo'rtlik. Qoldiq deformatsiya. Poasson koeffitsiyenti.**

Sterjen siqilganda kuchlanish gaz va suyuqliklardagi bosimga o'xshaydi. Cho'zilish deformatsiyasini tekshirish uchun sterjen maxsus moslamalar yordamida cho'ziladi, so'ngra uning uzayishi va unda yuzaga kelgan kuchlanish o'lchanadi. Tajriba natijalariga qarab kuchlanish  $\sigma$  ning nisbiy uzayish  $\varepsilon$  bo'lanish grafi chiziladi, bu chiziq cho'zilish *diagrammasi* deb ataladi.

Qattiq jism deformatsiyasi diogrammasining ko'rinishi 5.6-rasmda keltirilgan. Rasmda ko'rinadikim, diogramma OA, AB, BB', B'C va CD kesmalardan iborat.

AB kesma kuchlanish " $\sigma$ " oshishi bilan nisbiy cho'zilish  $\Delta l/l$  qiymati mos ravishda chiziqli o'zgarib boradi. AB kesma " $\sigma$ " ni juda kam o'zgarishi bilan " $\Delta l/l$ " tez oshib boradi.

BB' kesma " $\sigma$ " o'zgarmay qolib " $\Delta l/l$ " oshib boradi.



(rasm 5.6)

$\sigma_T$  nuqtada  $\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon}$  o'zgarishi bilan  $\sigma \approx$  o'zgarmay qoladi.

B'C kesmadagi C nuqtada " $\sigma$ " qiymati maksimal bo'lib, uning o'zgarishi " $\Delta l/l$ " ni keskin oshib borishi bilan xarakterlanadi va D nuqtada qattiq jism uzilishi kuzatiladi.

Diagrammadagi kuchlanish  $\sigma_p$   $\sigma = \frac{\Delta l}{l}$

ni ko'rsatadi.

$\sigma_T$  - oquvchanlik chegarasi

$\sigma_p$  – mustahkamlik chegarasi

D nuqta qattiq jism uzilish chegarasi.

*Pusson koeffitsienti.*

Cho'zilish va siqilish deformatsiyasida " $\Delta l$ " ni o'zgarish qattiq jism kesim yuzasi " $\Delta S$ " o'zgarishiga olib keladi.

$\varepsilon = \frac{\Delta S}{S}$  nisbatga nisbiy kesim yuza o'zgarishi deyiladi.

$\nu = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon}$  nisbatiga "Puasson koeffitsiyenti" deyiladi.

### Mavzuni mustahkamlash uchun savollar

1. Deformatsiya deb nimaga aytiladi?
2. Elastik deformatsiya nima?
3. Amalda real deformatsiya qanday defotmatsiya bo'ladi?
4. Qisilish va cho'zilish deformatsiyasi sharti nimadan iborat?
5. Kuchlanish nima?
6. Yung moduli nima va qanday o'lchov birligiga ega?
7. Puasson koeffitsiyentini fizik ma'nosini tushuntiring.

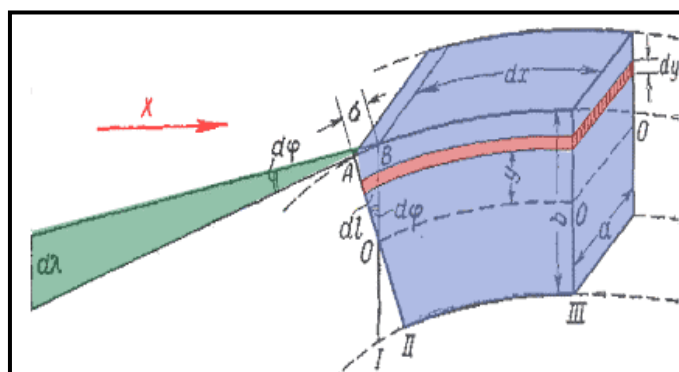
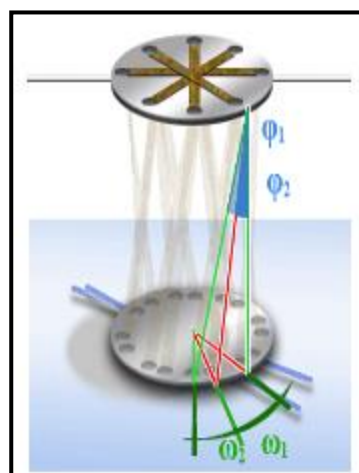
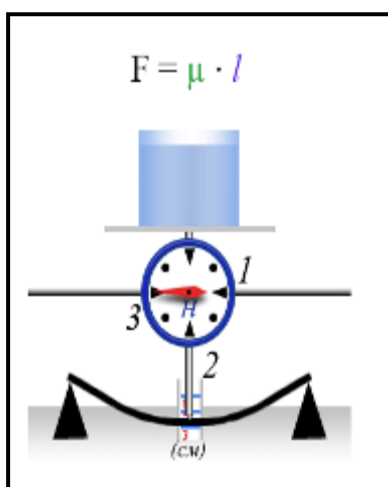
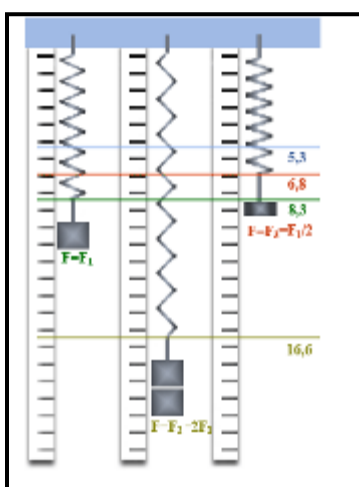
8. Deformatsiya diagrammasi egri chizig'i ma'nosini tusuhntiring.
9. Qattiq jism deformatsiyasi uchun Guk qonunini tushuntiring.
10. Elastik chegarasi, mustahkamlik, mo'rtlik tushunchalari haqida ma'luot bering.

### Uyga vazifa

1. Siljish, egilish va burilish deformatsiyalar tenglamasi.
2. Axborotlarni yozishda kompyuterning klaviyaturasida elastik difarmasiyaning hosil bo'lish jarayoni.
3. Elastik deformatsiyasining axborot texnologiyasidagi qo'llanilishi.

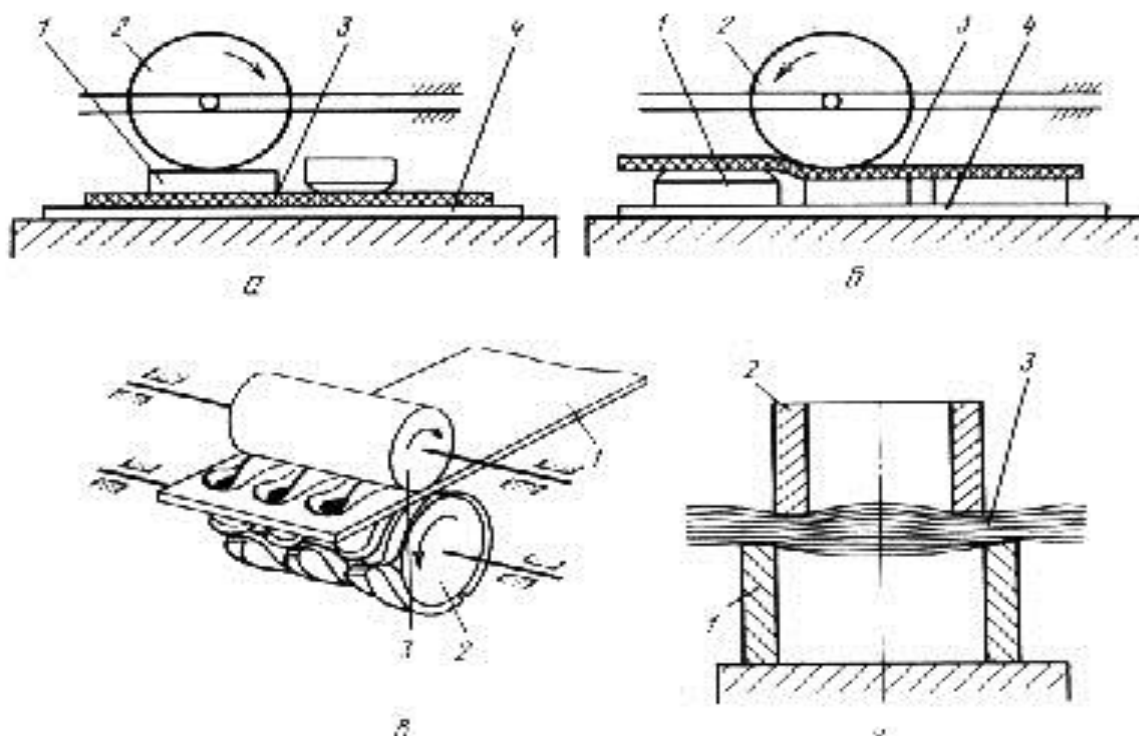
## ANIMATSIYA

### 5-MA'RUZANING ILOVALARI





Mutaxassislik fani bilan bog'liqligi.



## 6 - MA'RUZA. QATTIQ JISM HARAKATIDAGI SAQLANISH QONUNLAR. ISH, QUVVAT VA ENERGIYA.

**Reja:**

1. Mexanikada saqlanadigan kattaliklar. Absolyut qattiq jism erkinlik darajasi soni. Absolyut qattiq jism harakat dinamikasi.
2. Impuls momenti va uning saqlanish qonuni.
- 3 Energiya, kinetik energiya. Jismlar harkati.
4. Potensial energiya. Potensial energiya bilan kuch orasidagi bog'lanish. Energiya tizimining holat funksiyasi sifatida.
5. Energiyaning saqlanish qonuni. Energiyaning butunligi.

**Tayanch iboralar:** massaning saqlanishi, impulsning saqlanishi, mexanik ish, quvvat, energiya, kinetik va potensial energiya, energiyaning saqlanish qonuni.

**Ko'rgazmali qurollar:** Mexanikada saqlanadigan kattaliklarga iod slaydlar, impuls momenti va uning saqlanish qonuni animatsion dasturi, absolyut qattiq jism harakat dinamikasiga oid tegishli plakatlar va ko'rgazmali qurollar, kinetik va potensial energiya animatsion dasturi, energiyaning saqlanish qonuni animatsion dasturi.

## Mavzuning borishi:

### 1. Mexanikada saqlanadigan kattaliklar. Massaning saqlanish qonuni. Impulsning saqlanish qonuni.

*Mexanikada saqlanadigan kattaliklar.* Mexanikada shunday kattaliklar mavjud kim jism statik muvozanat vaqtida ham, uning harakati vaqtida ham bu kattaliklar o'zgarmay qoladi. Bularga: massa, harakat miqdori, impuls momenti va energiya kiradi. Bu parametrlarni saqlanish qonunlari material nuqta va qattiq jismlar uchun tegishli bo'lib, tabiatni fundamental qonunlariga kiradi.

*Massaning saqlanish qonuni.* Jismning massasi unda mavjud bo'lgan modda miqdorini ifodalaydi. Klassik mexanikada massa to'g'risida quyidagilar mavjud.

a) Moddiy nuqtaning massasi uning harakatiga, holatiga bog'liq bo'lmay, nuqtaning o'zgarmas xarakteristikasidir.

b) Massa additiv miqdor, ya'ni jismning massasi shu jismning tashkil etuvchi moddiy nuqtalar massalarining yig'indisiga teng.

$$m = \sum_{i=1}^n m_i \quad (6.1)$$

*Impulsning saqlanish qonuni.* Yopiq tizim massasi shu tizimda yuz berayotgan har qanday jarayonda ham o'zgarmaydi (massaning yoki modda miqdorining saqlanish qonuni.)

Kuch ta'sir etguncha moddiy nuqtaning impulsi o'zgarmaydi.

$$\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt} = 0; \quad \vec{P} = \text{const} \quad (6.2)$$

Yopiq sistemada uchun impulsning saqlanish qonuni. Buning uchun yopiq sistemada kiruvchi har bir moddiy nuqtaning impulsini yozib olaylik. Moddiy nuqtaning impulsi.

$$\vec{P} = m \vec{g} \quad (6.3)$$

Ko'rinishdagi vektor kattalik bilan aniqlanishi bizga ma'lum. Yopiq sistemaning to'la impulsi  $\vec{P}$  sistemaga kiruvchi har bir moddiy nuqta impulsining  $m_1 \vec{g}_1, m_2 \vec{g}_2, \dots, m_n \vec{g}_n$ , geometrik yig'indisidan iborat bo'ladi, ya'ni

$$\vec{P} = m_1 \vec{g}_1 + m_2 \vec{g}_2 + \dots + m_n \vec{g}_n = \sum_{i=1}^n m_i \vec{g}_i \quad (6.4)$$

Yopiq sistema uchun

$$\vec{P} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot \vec{g}_i = \text{const}$$

O'zgaruvchan massali jism deganimizda klassik Mexanik qonunlariga bo'ysinib o'zining harakati davomida massasi o'zgaradigan, ya'ni massasi kamayishi yoki ortishi mumkin bo'lgan jismlar tushuniladi. Masalan, yoz kunlari ko'cha mashinalarda suv sepilganda, raketalar va reaktiv samalyotlarda yonilg'i yonishi natijasida Yerning massasi ortadi va hokazo. Ammo tezlik ortishi bilan massasi o'zgarmaydi. Nyutonning II qonuni umumiy ko'rinishda ifodallasak

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{g})}{dt} = \vec{g} \frac{dm}{dt} + m \frac{d\vec{g}}{dt} = \vec{g} \frac{dm}{dt} + m\vec{a} \quad (6.5)$$

Massa o'zgarishi bilan tezlik kattaligi ham o'zgaradi, umumiy holda kuch yo'nalishi bilan mos tushmaydi va tezlanishning kuchga to'g'ri mutanosibligi saqlanmaydi. Agar kuch yo'nalishi tezlik yo'nalishi bilan bir yo'nalishda yoki kuch tezlikka tik holatda yo'nalsa, tezlanish bilan kuch bir yo'nalishda bo'ladi.

## 2. Impuls momentini saqlanish qonuni.

$$F = m \cdot a = m \frac{d\vec{g}}{dt} \quad \text{tenglamaga o'xshash bo'lganligi tufayli, ba'zan aylanma}$$

harakat uchun Nyutonning II qonuni ham deyiladi. Jism aylanma harakat qilayotganda, undagi zarrachalarning impulsi ( $P=m \cdot \vec{g}$ ), o'qqacha eng qisqa masofaning ko'paytmasi o'qqa nisbatan olingan impuls momenti deyiladi.

$$L_i = m_i \cdot \vec{g}_i \cdot r_i \quad (6.6)$$

Qattiq jismning impuls momenti (aylanish o'qiga nisbatan)

$$L = \sum_{i=1}^n L_i = \sum_{i=1}^n m_i \cdot \vec{g}_i \cdot r_i \quad (6.7)$$

Impuls momentining SI tizimidagi o'lchov birligi  $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$  yoki aylanma harakat vaqtida

$$L_i = \sum_{i=1}^n m_i \cdot r_i^2 \cdot \omega = \omega \sum_{i=1}^n m_i \cdot r_i^2 = J \cdot \omega \quad (6.8)$$

$$\vec{L} = J \cdot \vec{\omega} \quad (6.9)$$

Demak, o'z o'qi atrofida aylanayotgan qattiq jismning impuls momenti jism inersiya momenti bilan burchak tezlikning ko'paytmasiga teng ekan. Impuls momenti vektor kattalik bo'lib u o'q bo'ylab yo'nalgan bo'ladi:

$$\vec{M} = \vec{F} \cdot l \quad \text{yoki} \quad \mathbf{M} = \mathbf{J} \cdot \boldsymbol{\varepsilon} - \text{kuch momenti}$$

$$\mathbf{J} = \mathbf{mR}^2 - \text{inersiya momneti}$$

$$\vec{L} = J \cdot \vec{\omega} - \text{impuls momenti}$$

Impul's momentini saqlanish qonuni

$$\frac{dL}{dt} = 0 \quad L = \text{const} \quad (6.10)$$

Ta'sir etuvchi tashqi kuch  $F_t = 0$  bo'lsa

$$L = \sum_{i=1}^n m_i \tau_i \vartheta_i = \text{const} \quad (6.11)$$

### 3. Energiya, kinetik energiya. Jismlar harkati.

*Energiya* – bu jismlarning ish bajara olish qobiliyatini xarakterlovchi kattalik. Energiya – *kinetik va potentsial* energiyalarga bo'linadi.

*Kinetik energiya.* Faraz qilaylik  $v$  tezlik bilan harakatlanuvchi  $m$  massali 1 jism (moddiy huqta nazarda tutiladi) borib urilgan 2 jismga  $f$  kuch bilan ta'sir qilsin  $dt$  vaqt ichida kuch qo'yilgan nuqta  $ds=vdt$  ga ko'chadi va natijada 1 jism 2 jism ustida

$$dA=fds=f\vartheta dt \quad (6.12)$$

ish bajaradi. Ravshanlik berilgan holda 1 jism harakatlanayotganligi tufayli ega bo'lgan energiya zapasi hisobiga tufayli ega bo'lgan energiya zapasi hisobiga, ya'ni shuning uchun 1 jism bajargan ishni uning kinetik energiyasining kamayishiga<sup>1</sup> tenglashtirish mumkin:

$$dA=-dT \quad (6.13)$$

u vaqtda e'tiborga olib quyidagini topamiz:

$$dT=-f\vartheta dt. \quad (6.14)$$

Nyutonning uchinchi qonuniga binoan 2 jism 1 jismga  $f'=-f$  kuch bilan ta'sir ko'rsatganligi tufayli 1 jismning tezligi  $dt$  vaqt ichida quyidagicha orttirma oladi:

$$d\vartheta = \frac{1}{m} f' dt = -\frac{1}{m} f dt. \quad (6.15)$$

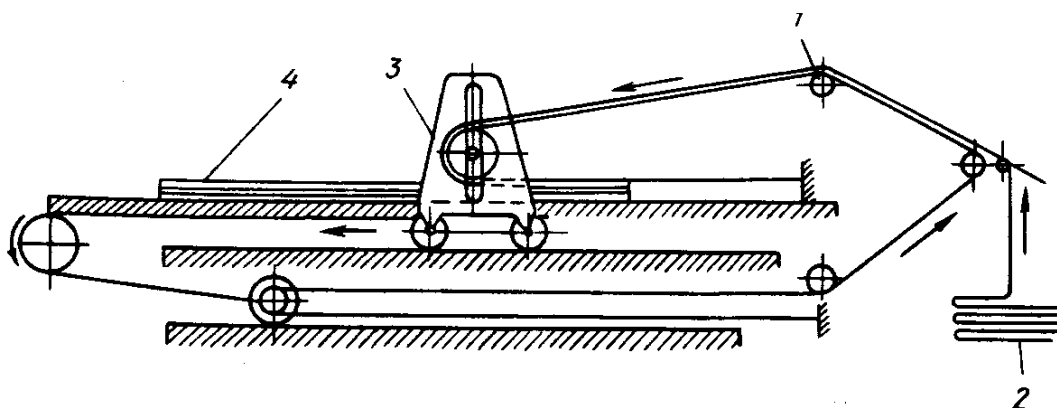
Keyingi tenglikning ikkala qismini  $m\vartheta$  ga skayar ko'paytirib quyidagini topamiz:

$$m\vartheta d\vartheta=f\vartheta dt. \quad (6.16)$$

Solishtirib  $dT$  uchun quyidagi ifadani topamiz:

$$dT=m\vartheta d\vartheta \quad (6.17)$$

$$dT = m \vartheta d\vartheta = d\left(\frac{m \vartheta^2}{2}\right) \quad (6.18)$$



Mutaxassislik fani bilan bog'liqligi.

**Jismning yassi harakati vaqtidagi kinetik inergiyasi.** Massaning kinetik energiya yasi

$$\Delta T_i = \frac{\Delta m_i g_i^2}{2} = \frac{1}{2} \Delta m_i \left\{ g_0 + \left[ \vec{\omega}, r_i' \right] \right\}^2$$

(6.19)

Kinetik energiyasini topamiz:

$$T = \frac{1}{2} \sum \Delta m_i g_0^2 + \sum g_0 \left[ \vec{\omega}, \Delta m_i r_i' \right] + \frac{1}{2} \sum \omega^2 \Delta m_i R_i^2$$

(6.20)

Hamma holdagi o'zgarmas kattaliklarni yig'indi ishorasi ostidan chiqaramiz.

$$T = \frac{1}{2} g_0^2 \sum \Delta m_i + g_0 \left[ \vec{\omega}, \sum \Delta m_i r_i' \right] + \frac{1}{2} \omega^2 \sum \Delta m_i R_i^2$$

(6.21)

$$T = \frac{m g_c^2}{2} + \frac{I_c \omega^2}{2}$$

(6.22)

#### 4. Potensial energiya. Potensial energiya bilan kuch orasidagi bog'lanish.

*Potensial energiya.* Potensial energiya jismlarni holat energiyasi hisoblanadi.

Og'irlik kuchining potensial energiya biror boshlang'ich 0 nuqta uchun funksiyani  $U_0$ ga teng ixtiyoriy qiymatini qabul qilamiz. Funksiyaning bir nuqtadagi  $U_1$  qiymatini topish uchun  $U_0$  ga jism 1 nuqtadan 0 nuqtqga ko'chayotganda maydon kuchlari jism ustida bajargan  $A_{10}$  ishni qo'shamiz:

$$U_1 = U_0 + A_{10} \quad (6.23)$$

$U_{(r)}$  funksiyani konkret ko'rinishni kuchmaydonining xarakteriga bog'liq bo'ladi. Masalan, og'irlik kuchi maydonida Yer sirti yaqinida  $m$  massali jismning potensial etentsial quyidagi ko'rinishga ega:

$$U = mgh \quad (6.24)$$

Jismlar sistemasining to'la mexanik energiyasi. Umumiy holda jism bir vaqtda ham kinetik energiyaga, ham potensial enrgiyaaga ega bo'lishi tashkil

qiladi. Masalan, Yer sirtidan  $h$  balandlikda Yerga nisbatan  $v$  tezlik bilan harakatlanayotgan  $M$  jism

$$E = \frac{m v^2}{2} + mgh . \quad (6.25)$$

Potensial va energiyalar bir birlariga aylanishi mumkin. Avval tinch jismning  $h$  balandlikdan erkin tushish holini tekshiraylik. Tushish boshlanishidan avval jismning kinetik energiyasi nolga teng (jism tinch holatda) potensial energiyasi esa  $mgh$  ga teng. Tushishning oxiriga kelib jismning tezligi

$$v = \sqrt{2gh} \quad (6.26)$$

ga va demak, kinetik energiyasi

$$\frac{m(\sqrt{2gh})^2}{2} = mgh \quad (6.27)$$

Elastik deformatsiya kuchining potensial energiya sterjen siqilganda kuchlanish gaz va suyuqliklardagi bosimga o'xshaydi. Cho'zilish deformatsiyasini tekshirish uchun sterjen maxsus moslamalar yordamida cho'ziladi, so'ngra uning uzayishi va unda yuzaga kelgan kuchlanish o'lchanadi. Tajriba natijalariga qarab kuchlanish  $\sigma$  ning nisbiy uzayish  $\epsilon$  bo'lanish grafi chiziladi, bu chiziq cho'zilish **diagrammasi** deb ataladi.

*Elastik deformatsiya energiyasi.* Elastik cho'zilgan (siqilgan) sterjenning energiyasini hisoblaylik. Cho'zish vaqtida sterjenga kattaligi ifoda bilan aniqlanuvchi kuch bilan ta'sir ko'rsatish kerak. Bu kuchning ishi

$$A = \int_0^{\Delta l} f dx , \quad (6.28)$$

$$f = kx = \frac{ES}{l} x \quad (6.29)$$

$$A = \int_0^{\Delta l} \frac{ES}{l} x dx = \frac{ES}{l} \frac{\Delta l^2}{2} \quad (6.30)$$

$$U = \frac{kx^2}{2} \quad (6.31)$$

*Potensial energiya bilan kuch orasidagi bog'lanish.*  
Tizimning bajarilgan ishi  $\Delta A = F_s \Delta S$

Bu yerda  $F_s$  – kuchning  $S$  – siljish vektoridagi proyeksiyasi. Bajarilgan ish energiyani kamayishi hisobida vujudga keladi.

$$\Delta A = -\Delta u \quad (6.32)$$

U vaqtda  $F_s \Delta s = -\Delta u$  modul qiymati bilan yozsak

$$F_s = \frac{\Delta u}{\Delta s} \quad \text{yoki} \quad (6.33) \quad F_s = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta s}; \quad (6.34) \quad F_s = \frac{\partial u}{\partial s}$$

(6.35)

Tizim o'qlariga nisbatan

$$F_x = -\frac{\partial u}{\partial x}; \quad (6.36) \quad F_y = -\frac{\partial u}{\partial y}; \quad (6.37) \quad F_z = -\frac{\partial u}{\partial z} \quad (6.38);$$

$$F = -\left( \frac{\partial u}{\partial x} i + \frac{\partial u}{\partial y} j + \frac{\partial u}{\partial z} k \right)$$

(6.39)

$$F = -q \quad \text{rad} \quad u$$

(6.40)

*Energiya tizimining holat funksiyasi sifatida.*

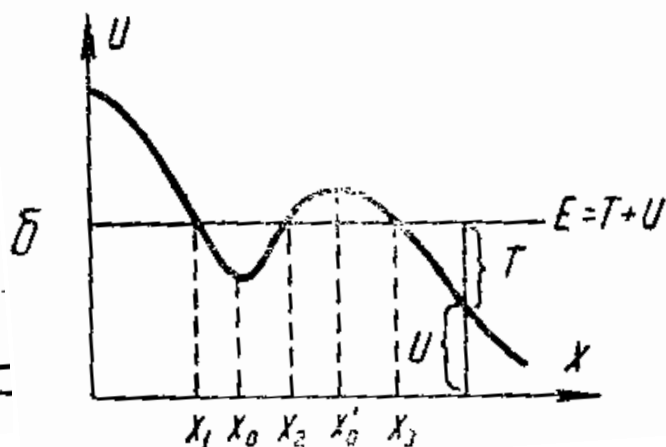
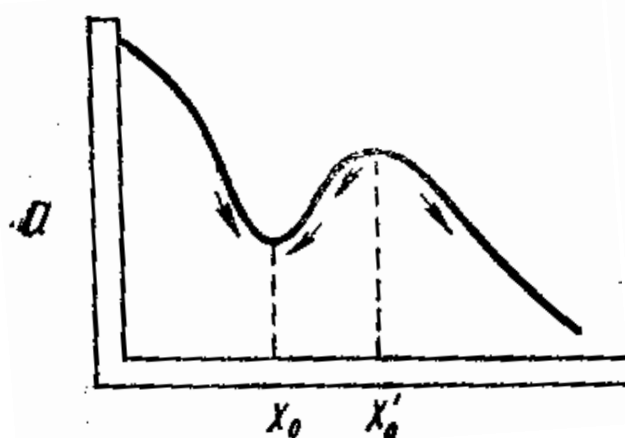
Yopiq sistemada to'liq energiya o'zgarmas bo'lgani uchun kinetic energiya faqat potensial energiyaning kamayishi hisobiga ortishi mumkin xolos. Agar sistema shunday holatda turgan bo'lsaki, bunda jismlarning tezliklari nolga teng, potensial energiyasi esa minimal qiymatga ega bo'lsa, u holda tashqi ta'sir bo'lmaguncha sistemaning jismlari harakatga kela olmaydi, ya'ni sistema muvozanat holatda turadi.

Misol tariqasida Yer va ko'chmas qilib mahkamlangan egilgan sim bo'ylab sirpanuvchi sharchadan iborat sistemani keltirish mumkin (3-rasm).  $U(x)$  funksiyasining grafiklari va  $U$  ning minimumlariga  $x$  ning  $x_0$  ga teng qiymatlari mos keladi.  $U$  ning minimumlik sharti quyidagi ko'rinishiga ega:

$$\frac{dU}{dx} = 0 \quad (6.41)$$

ga teng kuchlidir ( $U$  faqat bitta o'zgaruvchi  $x$  ning funksiyasi bo'lganda

$$\frac{dU}{dx} = \frac{dU}{dx} \Bigg) \quad \text{3-rasm.}$$



Shunday qilib, sistemaning potensial energiyaning minimumiga mos keladigan konfiguratsiyasi shunday xossaga egaki, unda sistemadagi jismlarga ta'sir etuvchi kuchlar nolga teng bo'ladi. Bu natija  $U$  bir necha o'zgaruvchining funksiyasi bo'lgan umumiy holda ham to'g'riligicha qoladi.

#### 4. Energiyaning saqlanish qonuni. Energiyaning butunligi.

Jismlar sistemasining to'la mexanik energiyasi. Umumiy holda jism bir vaqtda ham kinetik energiyaga, ham potensial energiyaaga ega bo'lishi tashkil qiladi. Masalan, Yer sirtidan  $h$  balandlikda Yerga nisbatan  $v$  tezlik bilan harakatlanayotgan  $M$  jism

$$E = \frac{m v^2}{2} + mgh . \quad (6.42)$$

Potensial va energiyalar bir birlariga aylanishi mumkin. Avval tinch jismning  $h$  balandlikdan erkin tushish holini tekshiraylik. Tushish boshlanishidan avval jismning kinetik energiyasi nolga teng (jism tinch holatda) potensial energiyasi esa  $mgh$  ga teng. Tushishning oxiriga kelib jismning tezligi

$$v = \sqrt{2gh} \quad (6.43)$$

ga va demak, kinetik energiyasi

$$\frac{m (\sqrt{2gh})^2}{2} = mgh \quad (6.44)$$

$$U_1 - U_2 + A' = T_2 - T_1 \quad (6.45)$$

Formuladagi a'zolari tegishli ravishda gruppalar quyidagini topamiz:

$$(T_2 + U_2) - (T_1 + U_1) = A'$$

Nihoyat, sistema to'la energiyasi  $E = T + U$  belgisini kiritsak, quyidagi munosabatni topamiz:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = A'$$

Shunday qilib, oralarida konservativ kuchlar ta'sir etayotgan jismlar sistemasi to'la energiyasining o'rtirmasi sistema jismlariga qo'yilgan kuchlarning bajargan ishiga teng ekan.

Agar sistema yopiq bo'lsa, u vaqtda  $\Delta E = E_2 - E_1 = A'$  ga binoan  $\Delta E = 0$  bundan

$$E = \text{const}$$

$$E = E_k + E_p = \text{const}$$

#### Energiyaning butunligi.

To'liq mexanik energiya deb uning kinetik va potensial *energiyalarining yig'indisiga* aytiladi.

$$E = E_k + E_p$$



Aylanma harakat qilayotgan jismning kinetik energiyasini  $W_k = \frac{m g^2}{2}$  ifoda yordamida topamiz, ya'ni mos kattaliklarni almashtirgandan keyin olamiz:

$$W_k = \frac{J \omega^2}{2}$$

Agar jism dumalayotgan bo'lsa, ya'ni ilgarilanma, ham uning to'la kinetik energiyasi ham ilgarilanma, ham aylanma harakat kinetik energiyalarining yig'indisiga teng bo'ladi:

$$W_k = \frac{m g_c^2}{2} + \frac{J_c \omega^2}{2}$$

Bu yerda  $g_c$  - jism massa markazining tezligi,  $J_c$  - jismning massa markaziga nisbatan inertiya momenti.

### **Uyga vazifa:**

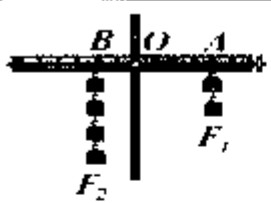
- 1) Energiya saqlanish qonunini erkin tushayotgan jism misolida isbot.
- 2) Qattiq jism dinamikasi qonunlarning qo'llanilishi.
- 3) O'zgaruvchan massali jismlarining harakati.
- 4) Reaktiv harakat. Markaziy maydondagi harakat. Kepler qonunlari.
- 5) Sharlarning elastik va noelastik to'qnashishlari.
- 6) Ish, quvvat. Ilgarilanma va aylanma harakatda ish va quvvat.

### **Mavzuni mustahkamlash uchun savollar**

1. Inersiya momenti qanday aniqlanadi va uning birligi qanday?
2. Kuch momenti qanday aniqlanadi.
3. Impuls momenti va aylanma harakat kinematikasi orasida qanday bog'lanish bor?
4. Qattiq jism tashqaridan ta'sir etuvchi kuchlarning bajargan ishi qanday fizik kattaliklarga bog'liq bo'ladi?
5. Jismning yassi harakati vaqtidagi to'liq kinetik energiyasi qaysi tenglama bilan topiladi.
6. Qattiq jism kinetik energiyasi kompyuter sohasida qaysi vaqtda qo'llaniladi.
7. Mexanik ish qanay fizikaviy kattalik?
8. Qanday holatlar ishning qiymati musbat yoki manfiy bo'la olishi mumkin.
9. Mexanik quvvatning mashina va mexanizimlar orasida qanday bog'lanishlar mavjud.
10. Kuch potensioal maydoning mohiyati nimadan iborat.
11. Kinetik energiya nima? Potensial energiya nima?
12. Energiya saqlanish qonuni nimadan iborat?

## 6-MA'RUZANING ILOVALARI

**RICHAGDA KUCHLAR MUVOZANATI**



$F_2$



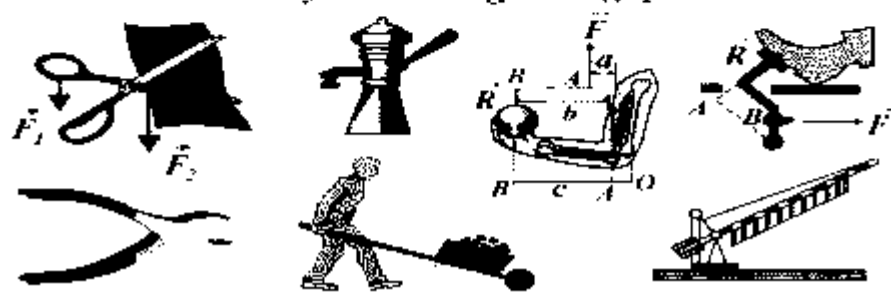
$F_2$

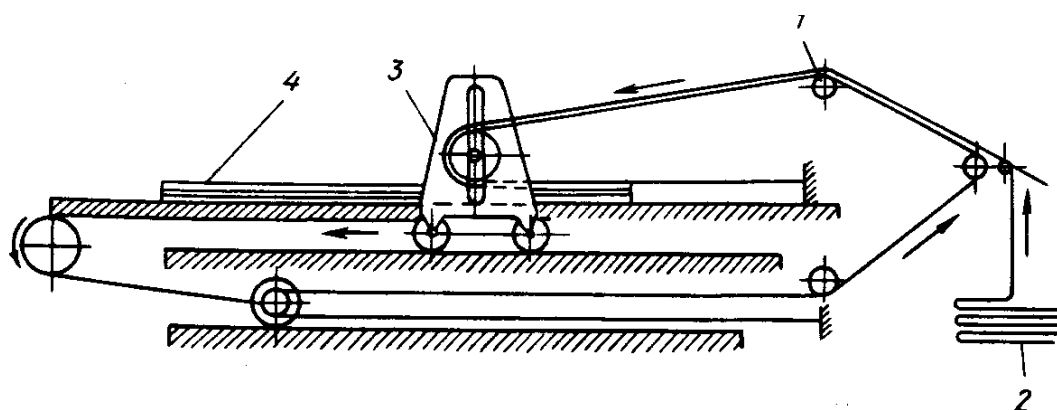
$OA - F_1$  kuch yelkasi  
 $OB - F_2$  kuch yelkasi  
 $l_1 = OA$   
 $l_2 = OB$

**Muvozanat qoidasi**  
*Ta'sir etuvchi kuchlar nisbati yelkalar nisbatiga teskari proporsional bo'lganda richag muvozanatda bo'ladi.*

$F_1 l_1 = F_2 l_2$ 
 $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$

**Texnika va hayotda richaglarning qo'llanilishi**





Mutaxassislik fani bilan bog'liqligi.

**Qattiq jism aylann a harakat  
dinamikasining asosiy tenglamalari:**

**Inertsiya momenti:**

$$J_{zi} = \Delta m_i \cdot R_i^2$$

$$J_z = \sum_{i=1}^n J_{zi} = \sum_{i=1}^n \Delta m_i \cdot R_i^2$$

$$L_z = J_z \cdot \omega$$

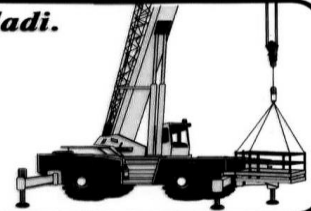
*Siqilgan prujina ish bajara oladi.  
Potensial energiya*

$$E_p = Fh$$

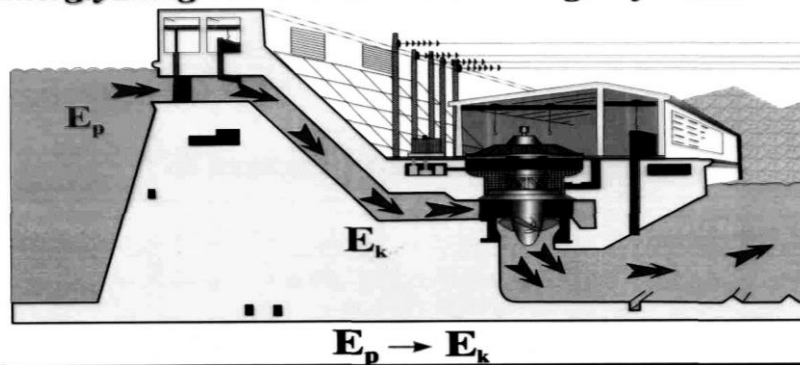
$$A = Fh$$

$$E_p = mgh$$

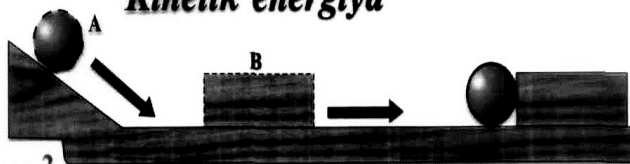
$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$$



*Energiyaning bir turdan ikkinchi turga aylanishi*



*Kinetik energiya*



$$E_k = \frac{m v^2}{2}$$

$$1 \text{ J} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

## 7 - MA'RUZA. MEXANIKADA NISBIYAT NAZARIYASI.

### Reja:

1. Sanoq tizimida fizik jarayonlar sodir bo'lishida fazo va vaqtning simmetriyaligi.
2. Inersial sanoq tizimi. Galiley almashtirishlari. Almashtirishlarning invariantligi.
3. Noinersial sanoq tizimi. Eynshteyn postulatlari. Lorens almashtirishlari.
4. Maxsus nisbiyat nazariyasida massa, vaqt, impul's, uzunlik va energiya nisbiyligi. Tezliklarni qo'shish prinsipi. Massa va tezlik bog'liqligi.
5. Umumiy nisbiyat nazariyasining asosiy tasavvurlari. Ekvivalentlik prinsipi. Koinot modeli. Qizil siljish.

**Tayanch iboralar:** harakatning nisbiyligi, inersial, noinersial, sanoq tizimi, Eynshteyn, Galiley, Lorens almashtirishlari, massa, uzunlik, vaqt.

**Ko'rgazmali qurollar:** Massaning nisbiyligi animatsion dasturi, nisbiyat nazariyasi slaydlar.

### O'tilgan mavzuni takrorlash

1. Mexanik ish qanay fizikaviy kattalik?
2. Qanday holatlar ishning qiymati musbat yoki manfiy bo'la olishi mumkin.
3. Mexanik quvvatning mashina va mexanizimlar orasida qanday bog'lanishlar mavjud.
4. Kuch potentsial maydoning mohiyati nimadan iborat.
5. Kinetik energiya nima?
6. Potensial energiya nima?
7. Energiya saqlanish qonuni nimadan iborat?

### Mavzuning borishi.

1. **Sanoq tizimida fizik jarayonlar sodir bo'lishida fazo va vaqtning simmetriyaligi.** Barcha inersial sanoq sistemalarida ayni bir mexanik hodisa bir xil tarzda sodir bo'ladi va mazkur inersial sanoq sistemasida o'tkaziladigan mexanik tajribalar yordamida sanoq sistemasi tinch turganligini yoki to'g'ri chiziqli tekis harakatlanayotganligini aniqlab bo'lmaydi.

Mazkur prinsipga asosan, agar biror sistema (masalan, K sanoq sistemasi) inertsial bo'lsa, unga nisbatan to'g'ri chiziqli tekis harakatlanuvchi juda ko'p inertsial sistemalar ( $K'$  lar) ham mavjud. Inertsial sistemalarning barchasida klassik mexanika qonunlari aynan bir xil namoyon bo'lishidan bu sistemalarning barchasi teng huquqli va ular orasidan biror imtiyozli inertsial sanoq sistemasini ajratish mumkin emas, va simmetriyaga ega degan xulosaga kelib chiqadi.

Tezlikka bog'liq bo'lgan kattaliklar, masalan, impul's ( $p = m \cdot v$ ) yoki kinetik energiya  $\left( E = \frac{m \cdot v^2}{2} \right)$  bir inertsial sanoq sistemasidan ikkinchi inertsial sanoq sistemasiga o'tganda o'zgaradi, chunki mazkur o'tishda tezlik o'zgarar edi ( $v = v' + v_0$  ifodani eslang). Biroq impul's va energiyalarning turli inertsial sanoq sistemalaridagi qiymatlari bir-biridan  $v_0$  bilan aniqlanuvchi doimiy miqdorga farqlanadi. Shuning uchun bunday kattaliklarni xarakterlovchi qonunlar ifodasining ko'rinishi turli inertsial sanoq sistemalarida bir xil bo'ladi.

Umuman, bir sanoq sistemasidan ikkinchisiga o'tilganda biror kattalikning absolyut qiymati o'zgarsa, lekin bu kattalik qatnashgan tenglamaning ko'rinishi o'zgarmasa, bu tenglama mazkur almashtirishga nisbatan *kovariant* deb aytiladi. Binobarin, impul'sning saqlanish qonuni va mexanik energiyaning saqlanish qonuni va mexanik energiyaning saqlanish qonuni Galiley almashtirishlariga nisbatan kovariantdir.

## **2. Inersial sanoq tizimi. Galiley almashtirishlari. Almashtirishning invairantligi.**

XIX asr oxirlariga kelib fizika fani juda katta qiyinchiliklarga duch keladi. Shu davrgacha klassik mexanika (Nyuton mexanikasi) qonunlari barcha inersial sanoq sistemalari uchun bajariladi deb hisoblanar va mexanik hodisalarini tushutira olar edi. Elektromagnit hodisalarini mexanik tushunchalar asosida tushuntirish katta qiyinchiliklarini yuzaga keltirar edi. Mana shu qiyinchiliklarni, qarama - qarshiliklarni yo'qotish uchun Alberq Eynshteyn 1905 yili mutlaqo yangi g'oyani ilgari surdi. U ikkita oddiygina posto'lat yordamida barcha faktlarni to'g'ri tushunirdi va "Efir" nazariyasining payini kesdi. Eynshteynning nisbiylik nazariyasi klassik fizikaning ikkita buyuk nazariyalarini - mexanik va elektrodinamika nazariyalarini o'zaro bog'ladi. Eynshteynning fikricha biz bir - biri bilan uzviy ravishda bog'langan - fazo va vaqt koordinatalaridan iborat 4 o'lchovli fazoda yashaymiz. Nisbiylik nazariyasi bilan birinchi bor tanishayotganimizda bu g'oyalar bir oz g'alati va sun'iy tuyulishi mumkin. Vaholanki bu nazariyadan kelib chiqadigan hodisalar yorug'lik tezligiga yaqin tezlikdagi harakatlarda sezilarli bo'ladi, bizning sezgilarimiz esa kichik tezliklardagi harakatlarga asoslangan.

Galileyning nisbiylik prinsipi(yoki klassik mexanika) ta'kidlaydiki, mexanika qonunlari barcha inersiya sanoq tizimlari uchun o'zgarmasdir. Masalan, Nyutonning II-qonuni ( $F=ma$ ) biror K inersial sanoq sistemasi uchun bajarilsa, shu sanoq tizimiga nisbatan o'zgarmas tezlik bilan harakat qilayotgan  $K^1$  sistema uchun ham bajariladi. Ikkala sanoq tizimi ham teng kuchli bo'lib tezlikning o'zgarish sura'ti, tezlanish ikkala tizimga nisbaan ham bir xildir. Biror jismning K sanoq tizimiga nisbatan koordinatasi ma'lum bo'lsa.  $K^1$  tizimidagi kuzatuvchiga nisbatan koordinatasini Galiley almashtirishlari yordamida quyidagicha yoziladi.

$$x=x^1+v_0 \cdot t; \quad y=y^1; \quad z=z^1 \quad \text{va} \quad t=t^1 \quad (7.1)$$

nyuton dinamikasida vaqt ham massa ham absolyut miqdorlardir, ya'ni ularning son qiymatlari barcha inersial sanoq sistemalari uchun bir xil bo'lib,

tezlikka bog'liq emas edi, ya'ni  $m=m^1$  va  $t=t^1$ . Endi biror jismning uzunligi, tezligi, tezlanishi va kuchni ikkala sistemada aniqlaylik.

$$l=l^1; \quad F=F; \quad (7.2)$$

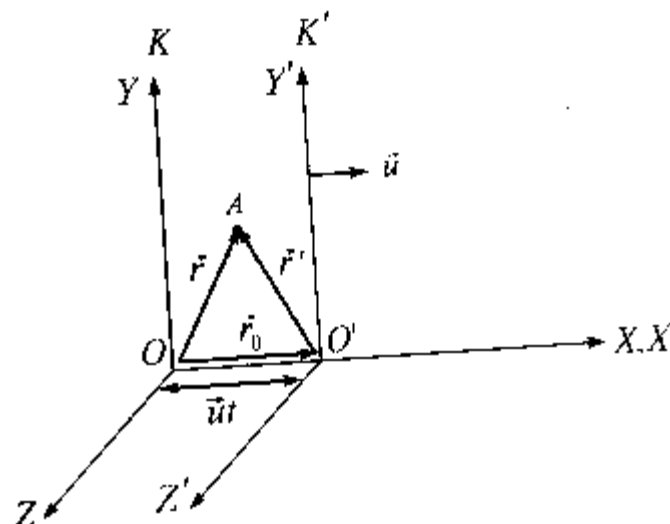
$$a=a^1; \quad \mathcal{G} = \mathcal{G}_1 + \mathcal{G}_0 \quad (7.3)$$

demak, bir sanoq sistemadan ikkinchi sanoq sistemasiga o'tganda biror kattalikning qiymati o'zgarmasa bu kattalik mazkur almashtirishga (Galiley) nisbatan invariant deyiladi. Demak, uzunlik massa, tezlanish, kuch Galeliy almashtirishlariga nisbati invariantdir.

Shunday qilib barcha inersial sanoq sistemalarida Mexanikvokealar bir tarzda ro'y beradi va bu vokealar uchun dinamika qonunilari bir xil ko'rinishda yoziladi.

Bu fikrni Galileyning nisbiylik prinsipideyiladi.

*Galiley almashtirishlari.* Galeliy printsiptining asosiy kamchiliklardan biri Mexanik voqea ro'y berayotgan sistema tinch turibdimi yoki to'g'ri chiziqli tekis harakat qilyaptimi degan savolga javob bera olmaydi.



(rasm 7.1)

Galiley almashtirishlariga asosan K va K sanoq tizimlarida soat ko'rsatkichlari va sterjinning uzunligi o'zgarmaydi.

$$t = t'; \quad l = l'; \quad a = a'; \quad m = m'; \quad F = F';$$

Bir sanoq sistemasidan ikkinchi sanoq sistemasiga o'tganda biror kattalikning qiymati o'zgarmasa, bu kattalik mazkur almashtirishga nisbatan *invariant* hisoblanadi.

### 3. Noinersial sanoq tizimi. Eynshteyn postulatlari. Lorens almashtirishlari.

Klassik fizikaning nisbiylik prinsipi elektromagnit hodisalarni tushuntira olmaydi. Endi bu hodisalarni tushuntirishda Eynshteynning nisbiylik nazariyasidan foydalaniladi.

Eynshteyn postulatlari:

1. Yorug'likning vakuumdagi tezligi yorug'lik manbainig yoki kuzatuvchining harakat tezligiga bog'liq bo'lmay barcha inersial sanoq tizimlari uchun bir xil bo'lib,  $s=3 \cdot 10^8$  m/s ga teng.

2. Fizik qonunlar bir – biriga nisbatan to'g'ri chiziqli tekis harakatda bo'lgan sanoq sistemalariga nisbatan bir xil bajariladi. Bu nisbiylik prinsipi deyiladi.

Ana shu posto'latlarga asoslanagan nazariya maxsu nisbiylik nazariyasi deyiladi. Eynshteyning ikkita potshlatidan fazoviy koordinata va vaqtning bir - biriga nisbatan to'g'ri chiziqli teks harakat qilayotgan ikkita tizimdagi qiymatlarini o'zaro bog'lovchi tenglamalar kelib chiqadi. Bu tenglamalari birinchi marta G.A. Lorents keltirib chiqarganligi uchun Lorets almashtirishlari deyiladi. Demak  $K^1$  sanoq sistemasi  $K$  ga nisbatan  $X$  o'qi bo'ylab  $\mathcal{G}_0 = const$  tezlik bilan haraktlanganda, vaqt va koordinata o'zgarishlarining Lorets almashtirshlari quyidagicha bo'ladi:

$$X = \frac{X' + \mathcal{G}_0 t}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad t = \frac{t' + \frac{\mathcal{G}_0}{c^2} \cdot X'}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

$$y=y^1 \quad z=z^1$$

bu erda  $\beta = \frac{\mathcal{G}_0}{c}$ ;  $\mathcal{G}_0$  -inertsial sanoq sistemalarining bir–birga nisbatan tezligi.

Agar  $\mathcal{G} \ll c$  bo'lsa  $\beta=0$  bo'ladi va Lorets almashtirishlari Galiley almashtirishlariga aylanadi.

#### **4.Maxsus nisbiyat nazariyasida massa, vaqt, impul's, uzunlik va energiya nisbiyligi. Tezliklarni qo'shish prinsipi. Massa va tezlik bog'liqligi.**

Uzunlik va vaqt oralig'ining nisbiyligi. Tezliklari ko'ishining relyativistik qonuni. Massaning tezlikka bog'liqligi. Klassik Mexanikaning bog'liqligi.

Jismning relyativistik massa uning harakt tezligiga bog'liq. Harakat tezligi " $\mathcal{G}$ " yorug'lik tezlik " $c$ " ga yaqinlashganda relyativistik effek keskinroq namo 1 n bo'ladi, jism massasi nihoyat tez ortib boradi.  $\mathcal{G} = c$  bo'lgada massaning qiymati cheksiz katta bo'ladi.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad \beta = \frac{\mathcal{G}}{c};$$

Bunda:  $m$ -relyativistik massa (harakatlanayotgan jism massasi)  $m_0$ - tinch holatdagi jism massasi.

Bunga misol sifatida, zamonaviy tezlatgichlarda juda katta tezliklargacha tezlatilgan zarralar misolida tekshirilgan va tasdiqlangan ma'lumotlari keltirish mumkin.

Relyativistik Mexanikada nisbiylik nazariyasidan foydalanib, energiya bilan impuls orasidagi bog'lanish ham keltirib chiqarilgan.

*Maxsus nisbiyat nazariyasida impuls.*

Jismning energiyasi  $W=mc^2$  jismning impulsi  $P=mv$  va  $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}$

*Maxsus nisbiyat nazariyasida uzunlik.*

Uzunlikning qisqarishi: agar qo'zg'almas  $K$  tizimga nisatan uzunligi  $l$  bo'lgan sterjenni  $K^1$  sistemadagi kuzatuvchi qo'zg'alsa sterjenning uzunligi

$$l' = l\sqrt{1 - \beta^2}$$

*Maxsus nisbiyat nazariyasida massa.* Bo'lib, sterjenga nisbatan harakatda bo'lgan kuzatuvchiga sterjen uzunligi qisqarib ko'rinadi.

*Maxsus nisbiyat nazariyasida vaqt.* Vaqtning sekin o'tishi: qo'zg'almas va harakatdagi kuzatuvchilar bitta jism uzunligini o'lchashda 2 xil natijada olishdan tashqari 2 hodisa orasidagi vaqtni o'lchashda ham turli natijalar olishadi. Agar  $K^1$  sistemasida soatning ko'rsatishi  $t'$ ;  $K$  sistemasida soat ko'rsatish  $t$  bo'lsa  $t^1$  o'rtasida

$$t' = \frac{t}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

bog'lik mavjudligini keltirib chiqarish mumkin.

Bu formuladan ko'rinib turibdiki, harakatdagi  $K^1$  sistemada tinch turgan  $K$  sistemaga nisbatan vaqt sekinroq o'tadi, ya'ni undagi soat sekin yuradi (soatlar sinxron). Bu hodisa uzunlikning qisqarishi bilan uzviy bog'liq bo'lib, vaqtning sekinlashuvi relyativistik effektning ikkinchi tomonidir.

*Maxsus nisbiyat nazariyasida tezlikni qo'shish*

Relyativistik mexanikadagi tezliklarini qo'shish quyidagicha ifodalanadi.

$$g = \frac{dx}{dt} = \frac{g^1 + g_0}{1 + \frac{g_0 g}{c^2}}$$

Klassik mexanikaning qo'llanilish chegarasi:

Makroskopik jismlarning yorug'lik tezligiga juda kichik tezlik bilan harakatlanishiga asoslanagn jismlarning harakat qonunlari Galiley-Nyuton mexanikasiga bo'ysunadi, shuning uchun u klassik mexanika deyiladi. Klassik mexanikada jism massasi harakat davomida o'zgarmadi. Atom va elementar zarralarning (elektron, proton) harakatini klassik Mexanikaga qonunlari orqali tushuntirib bo'lmadi.

Klassik Nyuton Mexanikasining:

1. Yorug'lik tezligi va unga yaqin tezlik bilan harakatlanuvchi jismlarga
2. Elementar zarralarga, mikroskopik jismlarga.
3. O'lchamlar va massalari juda kichik bo'lgan jismlarga qo'llab bo'lmas ekan.

Demak, Nyuton klassik Mexanikasining faqat makroskopik jismlarning harakat qonunlarini o'rganishga tatbiq qilish mumkin.

Uzunlik va vaqt oralig'ining nisbiyligi. Tezliklari ko'ishining relyativistik qonuni.



*Massaning tezlikka bog'liqligi.* Klassik Mexanikaning bog'liqligi.

Jismning relyativistik massa uning harakt tezligiga bog'liq. Harakat tezligi " $v$ " yorug'lik tezlik " $c$ " ga yaqinlashganda relyativistik effek keskinroq namo 1 n bo'ladi, jism massasi nihoyat tez ortib boradi.  $v=c$  bo'lganda massaning qiymati cheksiz katta bo'ladi.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad \beta = \frac{v}{c};$$

Bunda:  $m$ -relyativistik massa (harakatlanayotgan jism massasi)  $m_0$ - tinch holatdagi jism massasi.

Bunga misol sifatida, zamonaviy tezlatgichlarda juda katta tezliklargacha tezlatilgan zarralar misolida tekshirilgan va tasdiqlangan ma'lumotlari keltirish mumkin.

Relyativistik Mexanikada nisbiylik nazariyasidan foydalanib, energiya bilan impuls orasidagi bog'lanish ham keltirib chiqarilgan.

*Maxsus nisbiyat nazariyasida energiya va impuls orasidagi bog'lanish.*

Jismning energiyasi  $W=mc^2$  jismning impulsi  $P=mv$  va  $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}$

Ekanligini hisobga olib, ikkala tenglamadan energiyasi bilan impulsorasiidagi quyidagi munosabatni olamiz:

$$W = \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4}$$

Vaqtning sekin o'tishi: qo'zg'almas va harakatdagi kuzatuvchilar bitta jism uzunligini o'lchashda 2 xil natijada olishdan tashqari 2 hodisa orasidagi vaqtini o'lchashda ham turli natijalar olishadi. Agar  $K^1$  sistemasida soatning ko'rsatishi  $t'$ ;  $K$  sistemasida soat ko'rsatish  $t$  bo'lsa  $t^1$  o'rtasida

$$t' = \frac{t}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

bog'lik mavjudligini keltirib chiqarish mumkin.

Bu formuladan ko'rinib turibdiki, harakatdagi  $K^1$  sistemada tinch turgan  $K$  sistemaga nisbatan vaqt sekinroq o'tadi, ya'ni undagi soat sekin yuradi (soatlar sinxron). Bu hodisa uzunlikning qisqarishi bilan uzviy bog'liq bo'lib, vaqtning sekinlashuvi relyativistik effektning ikkinchi tomonidir.

**5. Umumiy nisbiyat nazariyasining asosiy tasavvurlari. Ekvivalentlik prinsipi. Koinot modeli. Qizil siljish.**

*Umumiy nisbiyat nazariyasining asosiy tasavvurlari.* Nisbiylik nazariyasining asosiy ifodalaridan biri energiya va massaning o'zaro bog'lanish qonuni ( $W = mc^2$ ) ustida mulohaza yurgizib moslik prinsipining bajarilishini ko'rsataylik. Masalan, Oy tomon ikkinchi kosmik tezlik (11, km/c) bilan harakatlanayotgan 1500 kg massali raketaning energiyasi

$$\Delta W = \frac{1500 \text{ kg} (11200 \text{ m / c})^2}{2} \approx 9,4 \cdot 10^{10} \text{ J}$$

ga ortadi. Raketa massasi esa

$$\Delta m = \frac{9,4 \cdot 10^{10} \text{ J}}{(3 \cdot 10^8 \text{ m / c}^2)} \approx 1,05 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$$

ga ortadi. Demak, ikkinchi kosmik tezlik bilan harakatlanayotgan raketa massasi shu raketaning tinch holatdagi (tinchlikdagi) massasining

$$\frac{\Delta m}{m_0} = \frac{10^{-6} \text{ kg}}{1500 \text{ kg}} \approx 6,96 \cdot 10^{-10}$$

ulushi qadar ortiq bo'lar ekan, xolos. Shuning uchun klassik mexanika tekshiradigan hodisalarda jism massasini o'zgarmas kattalik deb hisoblash mumkin.

*Ekvivalentlik prinsipi* Shunday qilib, nisbiylik nazariyasi Galiley, N'yuton va boshqa olimlar tomonidan asoslangan klassik mexanikaning qonun va tasavurlarini bekor qilmaydi, aksincha, ularni rivojlantiradi va umumlashtiradi hamda ularni klassik mexanikaning qo'llanish chegaralarini belgilab beradi.

### **Mavzuni mustahkamlash uchun savollar:**

1. Inersial sanoq tizimi, noinersial sanoq tizimidan nimasi bilan farq qiladi.
2. Galileyning nisbiylik nazariyasi nimadan iborat.
3. Galiley nisbiylik nazariyasiga asosan material nuqta kordinatalari qanday aniqlanadi
4. Klassik mexanikada tezliklarni almashtirish qoidasi qanday ko'rinishga ega.
5. Eynshteyngning nisbiylik nazariyasi qanday ko'rinishga ega.
6. Lorens almashtirishlari qanday qonuniyatlarga bo'ysunadi.
7. Maxsus nisbiyat nazariyasiga ko'ra massa, uzunlik va vaqt qanday o'zgaradi.

### **Uyga vazifa:**

- 1) Koinot modeli va qizil siljishni internet saydlardan mustaqil o'rganing.
- 2) Klassik mexanikaning qo'llanish chegarasi

## 8 - MA'RUZA. YAXLIT MUHIT ELEMENTLARI. SUYUQLIK VA GAZLAR STATISTIKASI.

### Reja:

1. Suyuqlik va gazlarning umumiy xossalari.
2. Suyuqlikning muvozanatligi va uning tenglamasi.
3. Suyuqlik harakatining kinematik tavsiflash. Siqilmaydigan suyuqlikni statsionar harakati.
4. Ideal suyuqlikning statsionar harakati. Bernulli tenglamasi.

**Tayanch iboralar:** statika, qattiq jismning muvozanati, harakat tenglamasi, statik bosim, dinamik bosim, Bernulli tenglamasi, statik, dinamik bosimlar.

**Ko'rgazmali qurollar:** Suyuqliklar fizikasiga tegishli slaydlar, neft va gaz mashg'ulotlarining fizik tahlili elektron dasturi animatsiyalari.

### O'tilgan mavzuni takrorlash

1. Inersial sanoq tizimi, noinersial sanoq tizimidan nimasi bilan farq qiladi?
2. Galileyning nisbiylik nazariyasi nimadan iborat?
3. Galiley nisbiylik nazariyasiga asosan material nuqta kordinatalari qanday aniqlanadi?
4. Klassik mexanikada tezliklarni almashtirish qoidasi qanday ko'rinishga ega.
5. Eynshteynning nisbiylik nazariyasi qanday ko'rinishga ega.
6. Lorens almashtirishlari qanday qonuniyatlarga bo'ysunadi?

### Mavzuning borishi

**1. Suyuqlik va gazlarning umumiy xossalari.** Yaxlit muhit mexanikasida suyuq va gaz holatdagi jismlarning makroskopik nuqtai nazaridan suyuqlik va gazlarning aniq shaklga ega emas. Ular ma'lum oquvchanlikka ega va qanday shakldagi idishga solinsa, o'sha idish shaklini oladi. qattiq jismning atom va molekulalari orasidagi o'zaro taxsir kuchlari ularni muvozanat vaziyati holatlarida to'tib tursa, suyuqlik molekulalar orasidagi kuchlar anchagina kichik bo'lib molekula bir - biriga nisbatan ko'chib yura oladi. Suyuqlikni bir idishdan tikkinchi idishga quyish mumkin ya'ni u oquvchanlikka ega.

Gazlarda esa normal sharoitda molekulalar orasidagi o'zaro bog'lanish kuchi juda kichik va ular o'zi solingan har qanday idishning butun hajmini egallaydi. Gazning holat uning bosimi ( $P$ ) hajmi ( $V$ ) va temperaturasi ( $T$ ) bilan aniqlanadi. Suyuqliklarning harakatini o'rganish uchun Eyler metodidan foydalaniladi.

### 2. Suyuqlikning muvozanatligi va uning tenglamasi.

Arximed qonuniga binoan, suyuqlik va gazga botirilgan har qanday jismga u siqib chiqargan suyuqlik yoki gaz og'irligiga teng gidrostatik ko'tarish kuchi ta'sir qiladi. Bu kuch tik ravishda yuqoriga yo'naladi. Jismning og'irligi ko'tarish kuchidan katta bo'lsa, jism cho'kadi, kichik bo'lsa qalqiydi. Bu so'ngi xususiyat jismlarning suyuqlik va gazlarda suzish qonunining asosini tashkil etadi.

$$P = mg = \rho g Sh. \quad (8.1)$$

Bu yerda:  $m$  – suyuqlik ustunining massasi,  $g$  – erkin tushish tezlanish,  $\rho$  – suyuqlik ustunining hajmi,  $\rho$ -suyuqlik zichligi.

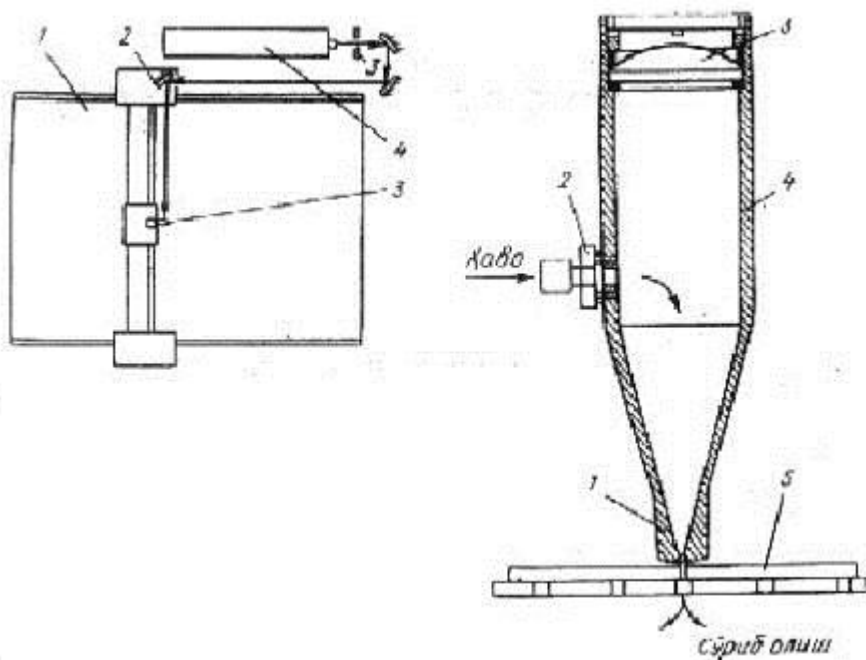
Suyuqlikni idish tubiga boradigan bosimi

$$p = \frac{P}{S} = \frac{\rho g Sh}{S} = \rho gh \quad (8.2)$$

Demak, suyuqlik asosidagi bosim sathning balandligiga bog'liq ekan. Ya'ni suyuqlikning pastki qatlamidagi bosim yuqori qatlamdagidan ko'ra kttaroq bo'ladi va shuning uchun ham suyuqlikka botirilgan jismga itarib chiqaruvchi kuch ta'sir etadi. Bu kuchga Arximed kuchi deyiladi: *Suyuqlikka botirilgan jismga suyuqlik tomonidan yuqoriga yo'malgan va jism siqib chiqargan suyuqlik vazniga teng bo'lgan itaruvchi kuch ta'sir etadi:*

$$F_A = \rho_s g V. \quad (8.3)$$

**Paskal qonunni.** Harakatsiz suyuqlikning istalgan joyidagi bosim hamma yo'nalishlarda bir xil va harakatsiz suyuqlik egallangan hajm bo'ylab o'zgrishiz uzatiladi. Paskal qonuni gazlar uchun ham o'rinli.



Mutaxassislik fani bilan bog'liqligi.

Agar biror idishga solingan suyuqlikning ixtiyoriy  $\Delta S$  yuziga  $\Delta F$  kuch bilan ta'sir etsak bu ta'sir bosim  $P$  bilan aniqlanadi.

$$P = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta S} \quad (8.4)$$

SI tizimida bosim birligi: a) 1Paskal =  $1 \frac{H}{m^2}$

b) Millimetr simob ustini (mm.sm.us.) 1mm sm.us.=133 Pa

Gaz bosimi qattiq jism va suyuqliklar bosimidan farq qilib, u gaz molekullarning idish devorlariga urilishi natijasida vujudga keladigan bosimdan

iborat. Suyuqliklarga va gazlarga berilgan bosim qattiq jismlar darajasidek faqat kuch ta'sir qilgan yo'nalishdagi emas, balki hamma yo'nalishlarda uzatilishi shu suyuqlik va gazlar zarralarning erkin harakatlanishidan kelib chiqadi. Bu xususiyatdagi kelib chiqadigan asosiy natija Paskal qonunidan iborat: suyuqlik va gazga ta'sir etayotgan tashqi bosim suyuqlik yoki gazning har bir nuqtasiga o'zgarishsiz uzatiladi. Bu qonundan texnikada pnevmatik asboblarni yasashda foydalaniladi.

Og'irlik kuchi ta'sir qilayotgan suyuqlik ichidagi bosim uning balanligiga bog'liq.

Yuqoridan pastga qarab bosim ortib boradi.

$$P = pgh \quad (8.5)$$

Agar suyuqlik og'irlik maydonida bo'lsa, u holda,  $f = gd$ . Bu kuchni  $Z$  o'qi bo'ylab yo'nalgan deb hisoblasak, muvozanatdagi suyuqlikning asosiy tenglamasi quyidagicha:

$$\frac{dP}{dx} = \frac{dP}{dy} = 0 \quad (8.6) \quad \frac{dP}{dz} = -\rho g$$

(8.7)

Demak, muvozanatda bo'lgan suyuqlikda bosim  $x$  va  $y$  o'qlarga bog'liq bo'lmasdan faqat  $z$  ga bog'liq bo'ladi.  $z$  ga tik tekisliklar esa bir xil bosimli tekisliklar bo'ladi va bundan suyuqliklarning zichligi faqat balanlikka bog'liq, degan xulosa kelib chiqadi.

Endi faraz qilaylik, suyuqlik bir jinsli va siqilmaydigan ( $p = \text{const}$ ) bo'lsin, hamda erkin tushishi tezlanishi hamda balandlikni hisobga olgan holda tenglamaning integrali quyidagini beradi.

$$P = P_0 - \rho g z \quad (8.8)$$

Integrallar doimiysi  $R_0$  ma'no jihatidan  $z = 0$  dagi suyuqlikning bosimdan iborat. Idishdagi suyuqlikning tagiga va devorlariga hamda suyuqlikka botirilgan jismning sirtiga ta'sir etuvchi kuchlarni ham aniqlash imkonini beradi.

Suyuqlikning quyida kesimi turlicha bo'lgan oqim nayida oqish jarayonini ko'rib chiqamiz. Suyuqlik oqimining uzluksizligidan ya'ni suyuqlik tezligining oqim nayining ko'ndalang kesimiga ko'paytmasining o'zgarmas ekanligi kelib chiqadi.

$$Q_1 S_1 = Q_2 S_2 \quad \text{yoki} \quad QS = \text{const} \quad (8.9)$$

Og'irlik kuchi ta'sirida ro'y beruvchi suyuqlikning harakatiga turg'un (statsionar) harakat deyiladi.

### 3. Suyuqlik harakatining kinematik tavsiflash. Siqilmaydigan suyuqlikni statsionar harakati.

*Suyuqlik harakatining 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 (rasm – 8.1). Bunday nay ichidagi suyuqlik zarrachalari undan tashqariga chiqa olmaydi va nay tashqarisidagi zarralar uning ichiga kira olmaydi. Odatda, oqim nayining ko'ndalang kesimi etarlicha kichik qilib olinadiki, natijada mazkur kesimning barcha nuqtalaridan o'tayotgan suyuqlik zarralarining tezliklarini birday deb hisoblash mumkin. Oqim nayi ichidagi suyuqlik sharra deb ataladi. 8.1 - bu oqim nayining  $S_1$  va  $S_2$  kesimlaridagi suyuqlik oqimining tezliklari mos ravishda  $g_1$  va  $g_2$ , suyuqlikning zichliklari esa  $\rho_1$  va  $\rho_2$  bo'lsin.

Oqim nayining  $S_1$  va  $S_2$  kesimlaridan 1 s davomida statsionar ravishda oqib o'tayotgan suyuqlik massalari  $m_1 = \rho_1 g_1 S_1$  va  $m_2 = \rho_2 g_2 S_2$  o'zaro teng bo'lishi kerak ( $m_1 \neq m_2$  bo'lgan holda suyuqlikni oqishi statsionar bo'lmaydi).

Shuning uchun

$$\rho_1 g_1 S_1 = \rho_2 g_2 S_2 \quad (8.10)$$

munosabat o'rinli. Siqilmas suyuqliklar uchun  $\rho_1 = \rho_2$  bo'ladi. Natijada (8.10) quyidagi ko'rinishga keladi:

$$g_1 S_1 = g_2 S_2 \quad (8.11)$$

(8.10) ifoda siqiluvchan suyuqliklar uchun, (8.10) esa siqilmas suyuqliklar uchun uzilmaslik tenglamasidir. (8.11) 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 kattalikdir.

$$S \cdot g = \text{const} \quad (8.12')$$

Suyuqliklar siqiluvchanlik va ichki ishqalanish hossalari ega. Suyuqlik harakatini o'rganish chog'ida bu hossalarning 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.

Suyuqlikning harakatini tushuntirish uchun suyuqlikning har bir zarrasi uchun trayektoriya bilan tezlikni vaqtning funksiyasi sifatida yozish kerak.

Fazoning barcha nuqtalari uchun berilgan  $\rho$  vektorala  $r$  to'plami tezlik vektori maydonini hosil qiladi. Bu maydonni quyidagicha tasvirlash mumkin. Harakatlanayotgan suyuqlikda shunday chiziqlar o'tkazamizki, ularning urinmalari har bir nuqtada yo'nalishi  $\rho$  vektor yo'nalishi bilan ustma-ust tushsin. Bu chiziqlar oqim chiziqlari deyiladi.

Agar tezlik vektori fazoning har bir nuqtasida birdek qolsa, u holda oqim qaror topgan yoki statsionar deyiladi.

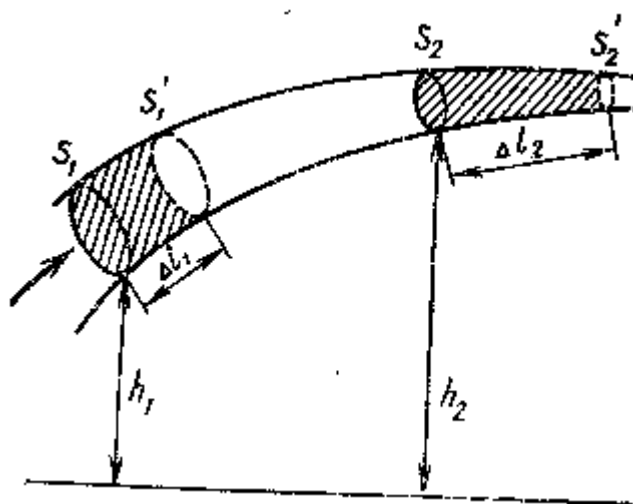
Suyuqlikning oqim chiziqlari bilan chegaralangan qismi oqim nayi deb ataladi.

Oqim nayining tezlik yo'nalishiga perpendikulyar  $S$  kesimini olaylik. Suyuqlik zarralarning harakat tezligi bu kesimning hamma nuqtalarida bir xil bo'lsin.  $\Delta t$  vaqt ichida  $S$  kesim orqali boshlang'ich momentda  $S$  dan  $\rho \Delta t$  masofada katta bo'lmagan masofada yotgan barcha zarralar o'tadi.

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

#### **4. Ideal suyuqlikning statsionar harakati. Bernulli tenglamasi. Suyuqlik harakatiga impul'sni saqlanish qonuni.**

Ideal suyuqlik deganda qovushqoqlikka ega bo'lmagan (ya'ni qatlamlari orasida ishqalanish kuchlari ta'sir etmaydigan) siqilmas suyuqlik tushuniladi. Ideal suyuqlik uchun hosil qilingan xulosalarni siqiluvchanligi va qovushqoqligi kuchsiz namoyon bo'ladigan real suyuqliklarga ham qo'llash mumkin.



(rasm8.1)

**Bernulli tenglamasi.** Oqim turg'un bo'lganligidan nayning ajratib olingan qismlarida energiya to'planmaydi ham, sarf bo'lmaydi ham. Demak  $\Delta t$  vaqt ichida,

$S_1$  kesim orali uzatilayotgan energiya xududi shu vaqtda  $S_2$  kesim orqali uzatilayotgan energiyaga teng bo'lishi kerak. Shunday qilib  $S_1$  orqali uzatiladigan umumiy energiya miqdori quyidagiga teng bo'ladi:

$$E = \frac{m g_1^2}{2} + mgh_1 + P_1 S_1 g_1 \Delta t \quad (8.13)$$

Bunda:  $\frac{m g_1^2}{2} - m$  massali suyuqlikning kinetik energiyasi

$mgh_1$  -suyuqlikning potensial energiyasi

$P_1 S_1 g_1 \Delta t = A$  suyuqlikni siljitish uchun bajarilgan ish. Demak,  $S_2$  kesim orqali ham uzatiladigan umumiy energiya  $S_1$  orqali uzatiladigan umumiy energiyaga teng bo'ladi.

$$\frac{m g_1^2}{2} + mgh_1 + \rho_1 S_1 g_1 \Delta t = \frac{m g_2^2}{2} + mgh_2 + p_2 S_2 g_2 \Delta t \quad (8.14)$$

Yoki suyuqlikning zichlikni hisobga olsak.

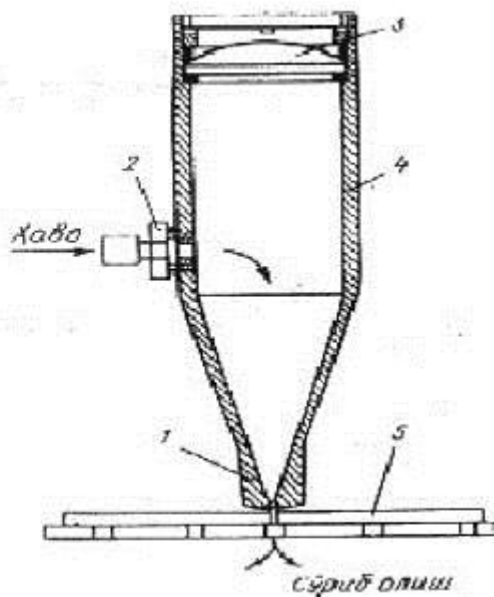
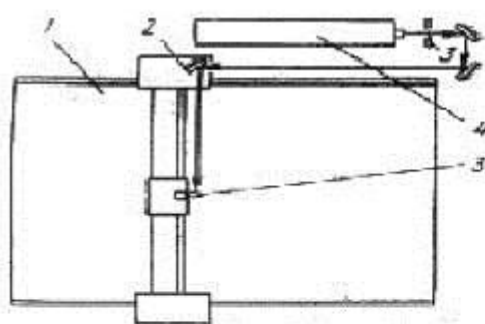
$$\frac{\rho g_1^2}{2} + P_1 + \rho gh_1 = \frac{\rho g_2^2}{2} + P_2 + \rho gh_2 \quad \text{yoki} \quad (8.15)$$

$$\frac{\rho g^2}{2} + P + \rho gh = \text{const}$$

(8.16)

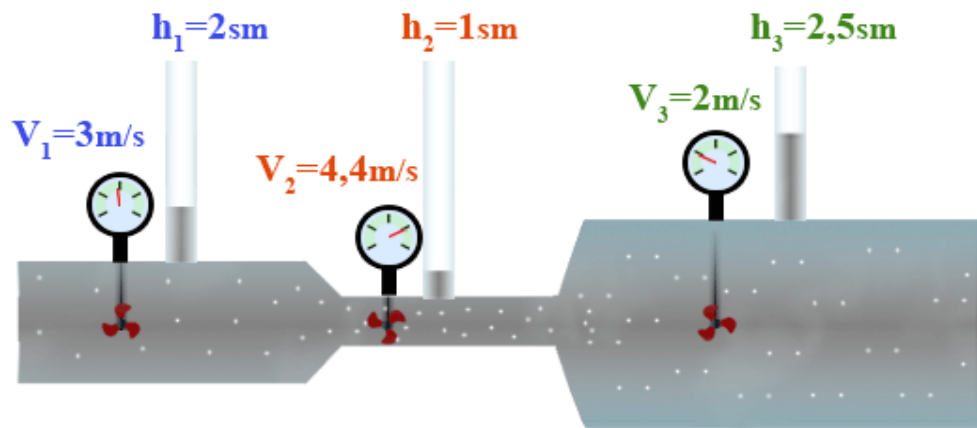
Bernulli tenglamasi deyiladi.

Mutaxislik fani bilan bog'liqligi.





# Animatsiyadan fragment



$$P_{UM} = \text{const}$$

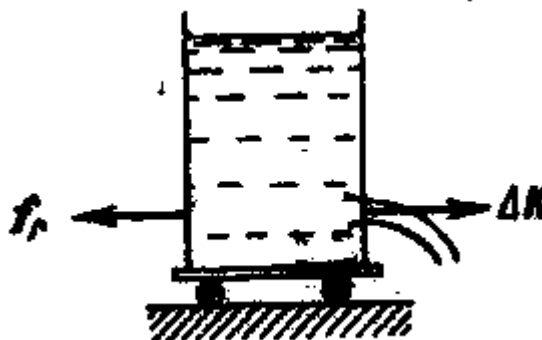
(rasm 8.2)

Bernuli tenglamasidan kelib chiqadigan xulosalardan biri shunday: oqim nayining ingichka qismida suyuqlikning tezligi boshqa qismlardagiga qaraganda katta bo'ladi. Demak, oqim nayning tor joylardagi bosim keng joylardagiga qaraganda pastroq bo'ladi.

*Suyuqlik zarakatidagi impulsni saqlanish qonuni.* Idishdagi teshikdan oqib chiqayotgan suyuqlik sharrasi  $\Delta t$  vaqt ichida o'zi bilan birga  $\Delta K = \rho S \vartheta \Delta t$  ( $\rho$  – suyuqlikning zichligi,  $S$  – teshikning yuzi,  $\vartheta$  – sharraning oqib chiqish tezligi) impul's olib ketadi. Bu impul'sni oqib chiqayotgan suyuqlikka idish beradi. N'yutonning uchinchi qonuniga binoan idish oqib chiqayotgan suyuqlikdan  $\Delta t$  vaqt ichida –  $\Delta K$  impul's oladi, ya'ni unga

$$f_r = - \frac{\Delta K}{\Delta t} = - \rho S \vartheta \quad (8.17)$$

kuch ta'sir ko'rsatadi.



(rasm 8.3)

Bu kuch oqib chiqayotgan suyuqlik sharrasining reaksiyasi deyiladi. Agar idishni aravachaga o'rnatsak, u holda  $f_r$  kuch ta'siri ostida u sharraning yo'nalishiga teskari yo'nalishda harakatga keladi.

Suyuqlikning teshikdan oqib chiqish tezligi uchun  $f_r$  kuchning kattaligini topamiz:

$$f_r = pS \vartheta^2 = 2gh\rho S \quad (8.18)$$

Agar  $f_r$  kuch teshikni berkitib turgan po'kakka suyuqlik ko'rsatadigan gidrostatik bosim kuchiga teng bo'lganda (birinchi qaraganda shunday tuyulishi mumkin),  $f_r$  kuch  $gh\rho S$  ga teng bo'lar edi. Aslida esa  $f_r$  kuch ikki marta katta ekan. Bunga sabab shuki, sharra oqib chiqayotganda suyuqlikning yuzaga keladigan harakati bosimning qayta taqsimlanishiga olib keladi, bunda teshikning qarshisida yotgan devor yonidagi bosim teshikli devor yonidagi bosimdan kattaroq bo'ladi.

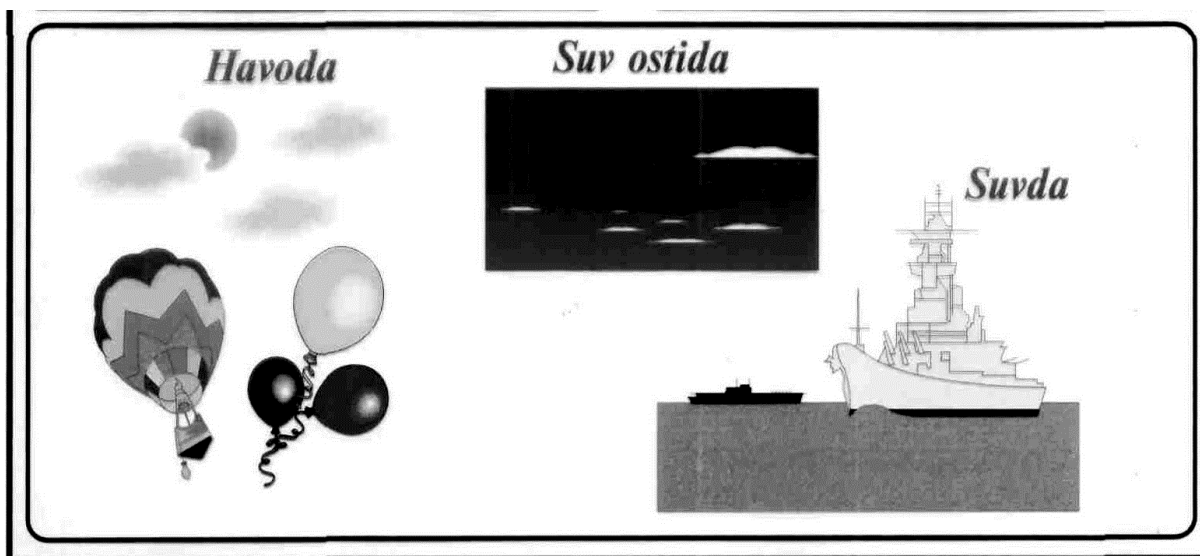
### **Mavzuni mustahkamlash uchun savollar.**

1. Gazlarning hajmi qanday aniqlanadi?
2. Suyuqliklar bosimi deb nimaga aytiladi va uning birligi qanday?
3. Paskal qonuni nima gazlar uchun o'rinlimi?
4. Gidrostatik bosim nima?
5. Arximed kuchi nima?
6. Suyuqliklarning sotsional oqimi qaysi vaqtda keladi.
7. Bernuli tenglamasida suyuqlik va gazlarda vujudga keladigan qanday bosimlar hisobga olingan?

### **Uyga vazifa**

1. Internet saytidan suyuqlik va gazlar statistikasi mustaqil o'rganish.
2. Jismlarning suyuqlikda suzish shartlarni o'rganish.
3. Yaxlit muhit elementlarining axborot texnologiyasida o'rnini o'rganish.

## 8-MA'RUZANING ILOVALARI

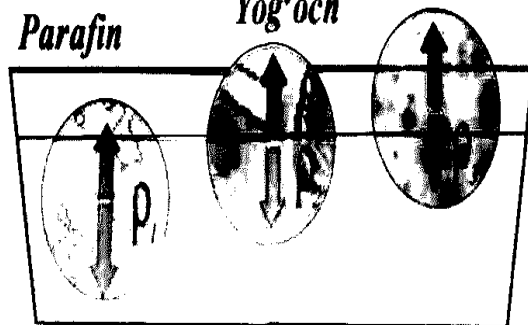


### Jismlarning suzishi

Parafin

Yog'och

Po'kak

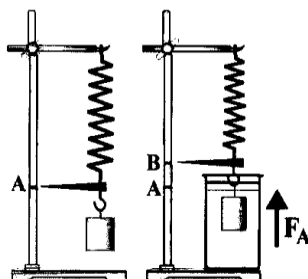
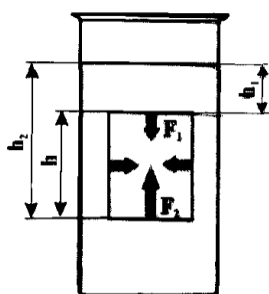


$$\rho_l > \rho_p > \rho_s$$

### Jismlarning suzish shartlari

1.  $F_{og'ir} > F_A$  *jism cho'kadi*
2.  $F_{og'ir} = F_A$  *suyuqlik ichida*
3.  $F_{og'ir} < F_A$  *suyuqlik yuzasida bo'ladi.*

## ARXIMED QONUNI



$$F_A = \rho g V$$

$F_A$  - arximed kuchi

$\rho$  - suyuqlik yoki gazning zichligi

$g$  -  $9,8 \frac{m}{s^2}$

$V$  - jismning hajmi

*Suyuqlikka (yoki gazga) botirilgan jism siqib chiqarilgan suyuqlik (gaz) og'irligiga teng og'irligini yo'qotadi.*

## 9-MA'RUZA. YOPISHQOQ SUYUQLIK VA UNING GIDRODINAMIKASI.

### **Reja:**

1. Yopishqoq suyuqliklar. Yopishqoqlik koeffitsiyenti.
2. Suyuqlikni quvur orqali oqishi. Puazeyl formulasi. Suyuqlikni o'ta oquvchanlik nazariyasi.
3. Laminar va turbulent oqim. Reynolds soni.
4. Qattiq jismlarni suyuqlikda harakati. Stoks formulasi. O'xshashlik qonuni. Hidrodinamik barqarorlik.

**Tayanch iboralar:** yopishqoqlik, suyuqlikni o'ta oquvchanligi, laminar va turbulent oqim, gidrodinamik barqarorlik.

**Ko'rgazmali qurollar:** Stoks tajribasi, Turbulent oqimining animatsiyasi, suyuqlik va gazlarning harakatiga bog'liq silaydlar, suyuqlik va gazlarning harakatiga bog'liq animatsion dasturi, suyuqlik va gazlarning harakatiga bog'liq plakatlar.

### **O'tilgan mavzuni takrorlash**

1. Gazlarning hajmi qanday aniqlanadi?
2. Suyuqliklar bosimi deb nimaga aytiladi va uning birligi qanday?
3. Paskal qonuni nima gazlar uchun o'rinlimi?
4. Hidrostatik bosim nima?
5. Arximed kuchi nima?
6. Suyuqliklarning sotsional oqimi qaysi vaqtda keladi.
7. Bernuli tenglamasida suyuqlik va gazlarda vujudga keladigan qanday bosimlar hisobga olingan?

### **Mavzuning borishi:**

**1. Yopishqoq suyuqliklar. Yopishqoqlik koeffitsiyenti.** Real suyuqliklarda harakat ideal suyuqliklardagidan farqli bo'lib ularda ichki ishqalanish kuchlari vujudga keladi. Bunday suyuqliklarda ichki ishqalanish kuchlari qatlamlarning harakatiga va demak, undagi jismlarning harakatiga ham qarshilik ko'rsatuvchi kuch sifatida namoyon bo'ladi. Suyuqlik qatlamlari orasida mavjud bo'lgan ishqalash kuchi  $F$  uchun Nyuton quyidgi qonuniyatni aniqladi:

$$F = \eta \left| \frac{d\vartheta}{dz} \right| \cdot S \quad (9.1)$$

Bunda  $\eta$  – suyuqlikning yopishqoqlik koeffitsiyenti.

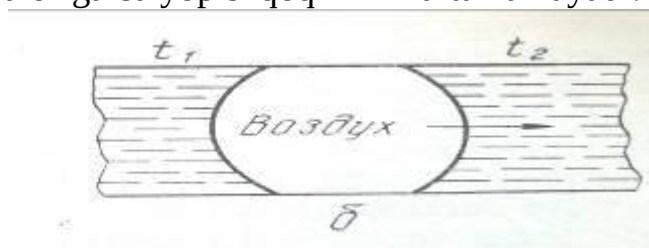
$S$  – qatlamlar yuzasi.  $\frac{d\vartheta}{dz}$  - kattalik (tezlik gradienti) bir qatlamdan ikkinchi qatlamga o'tganida suyuqlik qatlamlari tezliklarining o'zgarish jadvallini ifodalaydi.

$\vec{F}$  ishqalanish kuchi ikki "qo'shni" qatlamning tezroq harakatlanayotganini to'xtatishga, sekinroq harakatlanayotganini esa tezlatishga intiladi.

$\eta$ - yopishqoqlikning SI dagi birligi qilib shunday suyuqlikning yopishqoqligi olinadiki, bunda tezlik gradienti 1 metr ga 1m/s bo'laganda, suyuqlikning ikki "qo'shni" qatlamlari orasidagi  $S=1\text{m}^2$  sirt mavjud bo'lgan ishqalashi kuchi 1N ga

teng bo'ladi. Bu birlik paskal sekund  $\frac{NS}{m^2} = P_a S$  deb ataladi. (9.2)

Suyuqlikning yopishqoqligi temperaturaga bog'liq bo'lib, temperatura oshishi bilan uning kamayishi kuzatiladi. Masalan, kastor yoqri temperatura  $18^\circ\text{S}$  dan  $40^\circ\text{S}$  gacha o'zgarsa yopishqoqlik 4 marta kamayadi.



Mutaxassislik fani bilan bog'liqligi.

**2. Suyuqlikni quvur orqali oqishi. Puazeyl formulasi. Suyuqlikni o'ta oquvchanlik nazariyasi.** Agar suyuqlik silindr ko'rinishidagi quvurda harakat qilayotgan bo'lsa, 1 s vaqt ichida undan o'tuvchi suyuqlik hajmi Puazeyl qonuniga ko'ra aniqlanadi. Bu qonunga ko'ra suyuqlik miqdori suyuqlikni quvurga kiradigan va undan chiqadigan nuqtalardagi bosim farqiga va quvur diametrining to'rtinchi darajasiga to'g'ri proporsional

$$Q = K \frac{P - P_0}{l} d^4 = \frac{\pi}{128} \frac{P - P_0}{l} \frac{d^4}{4} \quad (9.3)$$

bu yerda  $P$  va  $P_0$  mos ravishda suyuqlikni quvurga kiruvchi va chiquvchi qismlardagi bosim;

$d$  – quvur diametri;  $l$  – quvur uzunligi;  $\mu$  – suyuqlikni yopishqoqlik koeffitsiyenti

Puazeyl – qonuni faqatgina laminar oquvchi suyuqliklarda o'rinli bo'ladi. Shuning uchun ham bu qonun Puazel qonuni deb ataladi. Nay uchun

$$S = \pi R^2 \quad \text{va} \quad \vartheta_H \cdot S \quad (9.4)$$

Ekanligini hisobga olib, Puazeyl qonunini quyidagicha yozish mumkin:

$$M = \frac{P_1 - P_2}{1} \cdot \frac{\pi R^4}{8\eta} \quad (9.5)$$

*Suyuqlikni o'ta oquvchanlik nazariyasi to'g'risida tushuncha.* Suyuqliklar oqimi – kvantlangan oqim ma'lum porsiyalar oqimi ko'rinishida bo'ladi. Kvantlangan suyuqliklarni kichik tirqishlari yoki kapilyardan oqib o'tishida qarshiliksiz o'tishiga, o'ta oquvchanlik deyiladi. O'ta oquvchanlik nazariyasini 1941 yilda Landau beradi. Bu nazariyaga ko'ra harorat  $T \approx 0$  K suyuqlikni normal zichligi  $\rho_n = 0$  bo'ladi va o'ta oquvchanlik xossasiga ega bo'ladi. Masalan,  $^4\text{He}$   $T = 2,17$  K va bosim  $38,8$  mm Hg o'ta oquvchanlik xususiyatiga ega bo'ladi.

*O'ta oquvchanlik* bu kvant suyuqlikni shunday xususiyati kim bunga suyuqliklar kichik tirqishlardan va kapilyar naydan qarshiliksiz o'ta oladi. Suyuq geliyning o'ta oquvchanlik xossasi quyidagi sharoitlarda sodir bo'ladi.  $T_R = 2,17$  K da past haroratda to'yingan bug' bosimi  $P_s = 38,8$  MM Hg

$\text{He}^3$  uchun  $T = 2,6 \cdot 10^{-3}$  K va bosim  $2,58 \cdot 10^4$  MM Hg (34atm)

Suyuqliklarni o'ta oquvchanligini – qovushqoqlik koeffitsienti nolga teng bo'lgan suyuqliklarda hosil bo'ldi deb tushunmaslik lozim. Tajribalar shuni ko'rsatadiki, o'ta oquvchan suyuqliklarda  $\eta \neq 0$  qovushqoqlik koeffitsientinolga teng emas.

O'ta oquvchan suyuqliklar nazariyasi 1941 yilda L.D. Landau isbotlab berdi. Bu nazariyaga ko'ra past haroratda suyuqlik tizilishida kuchsiz uyg'ongan kvantli zarrachalar hosil bo'ladi va bu zarrachalar kichik tirqish va kapilyar paylar devori bilan ta'sirlashmasdan o'tish ehtimoliga ega bo'ladi. Bunday past uyg'ongan zarrachalar o'zaro kirish va tunel effektiga ham ega bo'ladi. Harorat  $T_1$  dan katta haroratda zarralar uyg'onish darajasi nolga teng va  $T_1$  haroratda uyg'ongan kvant zarrachalar hosil bo'ladi va bunday zarralar uchun zichlik  $\rho_s = \rho + \rho_n$

P- suyuqlik zichligi  $T=0$  haroratdan yuqori haroratda  $\rho_s$  kamayadi va  $T = T_1$  haroratda  $\rho_s$  kamayib borib nolga teng bo'ladi va o'ta oquvchanlik xossasi vujudga keladi.

### 3. Laminar va turbulent oqim. Reynolds soni.

Gazning temperaturasi oshishi bilan uning yopishqoqligi ham ichki ishqalanish mexanizmi ham turlicha bo'lar ekan. Yopishqoqlikka ega bo'lgan suyuqliklarda oqim 2 xil bo'lishi mumkin.

I Laminar oqim

II Turubulent oqim

*Laminar oqim deb* - suyuqlik oqimi qatlamlarda aralashmay, bir qatlamning ikkinchiga nisbatan siljishiga aytiladi. Ungacha katta oqimining tezligi parabola qonuni bo'yicha taqsimlangan. Tezlik ortishi bilan suyuqlik qatlamlarining aralashshib oqishi vujudga keladi. Bunday oqim turbulent oqim deyiladi. Bunda toza va bo'yalgan suyuqliklar orasidagi keskin chegara yo'qolib, nayning (quvurning) hamma joylarida tartibsiz uyurmaviy harakatlar yuzaga keladi.

Laminar oqim turubulent oqimga aylanish paytidagi tezlik kritik tezlik deyiladi. Ingliz olimi Peypolde suyuqliklar oqimini quyidagicha xarakterladi.

$$R_e = \frac{\rho g l}{\tau} \quad (9.6)$$

$\rho$ -suyuqlik zichligi,  $g$  -oqimning o'rtacha tezligi,  $l$ - nayning ko'ndalang kesimi xarakterlovchi kattalik (radius yoki diametr)  $\tau$ -suyuqlik qovushoqligi,  $R_e$  – Heypoldi soni. Silindrsimon naylarda  $R_e < 2300$  bo'lsa, oqim laminar va  $R_e > 2300$  bo'lganda turbulent oqim vujudga keladi.

Turbulent harakatda suyuqlik yoki gazning gidrodinamikaviy xossalari (tezlik, bosim, zichlik, harorat) tez va tartibsiz suvning harakati tez suzuvchan kemandagi suvning harakati, misol bo'ladi. Bunday harakatlarning hammasi gidrodinamikaviy turbulent oqimda suyuqlik zarralarining traektoriyalari nay o'qiga parallel bo'lmasdan, murakkab egri chiziqlardan iborat bo'ladi. Shunday qilib tabiatan noturg'unlik, tezlikning suyuqlikning asosiy ko'chma harakati yo'nalishiga tik bo'lgan tashkil etuvchilari majudligi turbulent oqimni laminar oqimdan farqlab turuvchi muhim belgilar hisoblanadi. Quvur va ariqlarda laminar oqimdan Turbulent oqimga o'tishda Reynolds soni o'xshashlik qonunining mezoni bo'lib xizmat qiladi.

#### **4. Qattiq jismlarni suyuqlikda harakati. Stoks formulasi. O'xshashlik qonuni. Gidrodinamik barqarorlik.**

Real suyuqlik yoki gazlarda ishqalanish kuchlarining mavjudligi tufayli ularda harakatlanuvchi jismlarga ta'sir etuvchi qarshilik kuchlari paydo bo'ladi. Bu kuchlarning miqdori asosan jismlarga harakat tezligiga bog'liq bo'ladi. Stoks katta bo'lmagan  $g$  - tezliklar bilan harakatlanuvchi  $r$ - radiusli sharsimon jismlarga muhit tomondan ta'sir etuvsi qarshilik kuchi  $F$  jismning tezligi va o'lchamlariga ham muhitning yopishqoqlik koeffitsienti  $\eta$  ga to'g'ri proportsional ekanligini ko'rsatadi va unga Stoks formulasi deyiladi.

$$F = 6 \pi \eta r g \quad (9.7)$$

Bu yerda  $\eta$  – suyuqlikning qovushqoqlik koeffitsiyenti;  $r$  – suyuqlikda harakat qilayotgan jismning radiusi;  $g$  - uning tezligi

Bu formulaning amaliy ahamiyati shundan iboratki, u jismning yopishqoq muhitda erkin tushish tezlanishini aniqlashda, har xil zichlikka ega bo'lgan muhitlarda tomchi yoki kichik zarralarning radiuslarini ularning bu muhitlarda erkin tushishini kuzatish orqali aniqlashda va shu kabi vazifalarni hal qilishda qo'llaniladi.

*O'xshashlik qonuni.* Suyuqlikning ikki qatlami orasidagi ichki ishqalanish kuchi qatlamlarning soha yuzasi  $S$  va tezlik gradientiga to'g'ri proportsional bo'ladi va bu qiymat birinchi va ikkinchi qatlamlar orasida hamda ikki va uch qatlamlar orasida ham hosil bo'ladi, ya'ni qatlamlar orasidagi ishqalanish kuchi bir xil qoladi va unga o'xshashlik qonuni deyiladi. Kuchning kattaligi esa N'yuton formualsi bilan topiladi.

$$F = \eta S \frac{\Delta v}{\Delta x}$$

(9.8)

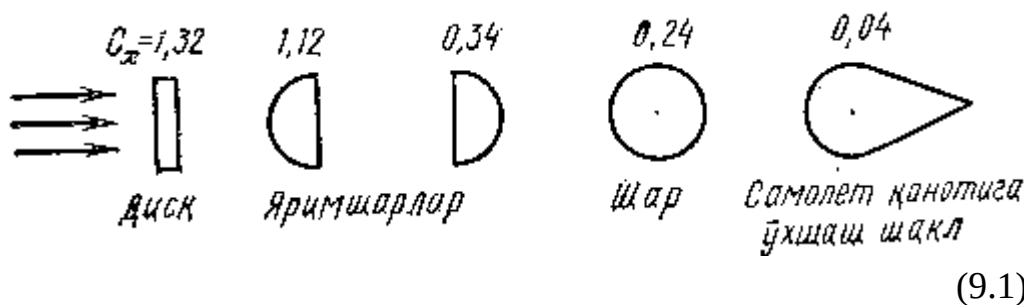
Suyuqlik va jismning bir-biriga nisbatan harakat tezligini orttirib borsak, biror paytda manzara o'zgaradi. Jsimning orqa tomonida uyurmalar vujudga kelib, ular vaqt-vaqti bilan uziladi. Oqim bu uyumlarni olib ketishi tufayli

uyurmalaridan iborat yo'l hosil bo'ladi. Jismdan ancha uzoqlikdagi uyurmalar yo'qolib, yana oqish qatlamsimon shaklini tiklaydi.

**Gidrodinamik barqarorlik.** G'layonlanmagan suyuqlikning bosimini  $p$  deb belgilasak, jismning orqa tomonida vujudga kelayotgan uyurmalar sohasidagi bosim –  $p_B < p$ . Jismning old qismidagi bosim esa, Bernulli tenglamasiga asosan,  $p_A < p$ . Shuning uchun suyuqlik tomonidan jismga ko'rsatiladigan natijaviy bosim kuchi ( $F_b$ ) oqish yo'nalishida ta'sir etadi. Ining qiymati oqish tezligi ( $\vartheta$ ) ga, suyuqlik zichligi ( $\rho$ ) ga va jism orqasida hosil bo'ladigan uyurmalar sohasining kattaligiga bog'liq bo'lib

$$F_b = C_x S \frac{\rho \vartheta^2}{2} \quad (9.9)$$

ifoda bilan aniqlanishi mumkin. Bunda  $S$  – jismning oqishga perpendikulyar bo'lgan yo'nalishga proyeksiyasining yuzi. Jismning shakli ro'baru qarshilik koeffitsiyenti ( $C_x$ ) da hisobga olingan. Shuni alohida qayd qilmoq lozimki, jism shaklining bosim qarshiligiga hissasi juda sezilarli bo'ladi. Misol tariqasida rasmda turli shakldagi jismlar (ularning  $S$  lari bir xil) uchun  $C_x$  qiymatlari keltirilgan.



Demak, yuzma-yuz qarshilik ishqalanish qarshiligi va bosim qarshiligidan iborat. Re ning kichik qiymatlarida ishqalanish qarshiligi asosiydir. Re ning qiymati oshgan sari bosim qarshiligining hissasi ham ortib boradi, chunki  $F_{\text{ishq}} \sim \vartheta$  va  $F_b \sim \vartheta^2$ . Shuning uchun  $Re$  ning ancha katta qiymatlarida bosim qarshiligining hissasi asosiy bo'ladi.

### **Mavzuni mustahkamlash uchun savollar.**

1. Suyuqliklarning sotsional oqimi qaysi vaqtda keladi.
2. Bernulli tenglamasida suyuqlik va gazlarda vujudga keladigan qanday bosimlar hisobga olingan?
3. Qovushqoq suyuqliklar deb nimaga aytiladi?
4. Suyuqliklarning qovushqoqlik koeffitsienti qanday fizikaviy parametrlarga bog'liq bo'ladi.
5. Stoks qonuning fizikaviy ma'nosini tushuntiring.
6. Puazeliy tenglamasini qanday ko'rinishga ega?
7. Renoldus soni nimani xarakterlaydi?
8. Kinematik qovushqoqlik bilan dinamik qovushqoqlik orasida qanday bog'lanish mavjud.



### **Uyga vazifa**

- 1) Axborot va ma'lumotlarni suyuqliklarning tarqalishi tabiatdagi roli.
- 2) qattiq jismni gazlarda harakati.
- 3) Samolyot qanotini ko'taruvchi kuch.

## **MOLEKULYAR FIZIKA ASOSLARI.**

### **10-MA'RUZA. STATISTIK FIZIKA VA TERMODINAMIKA.**

#### **Reja:**

1. **Makroskopik holat. Fizikaviy hodisalarni o'rganishda tadqiqotning ikki usuli. Issiqlik harakati.**
2. **Makroskopik parametrlar. Temperaturaning molekulyar kinetik talqini. Intensiv va eksintensiv parametrlar.**
3. **Gaz bosimini molekulyar kinetik nazariya asosida tushuntirish. Gaz molekulasi ilgarilanma harakatining o'rtacha kinetik nazariyasi.**

**Tayanch iboralar:** makroskopik holat, issiqlik harakati, makroskopik parametrlar, intensiv va eksintensiv parametrlar, ideal gaz, gaz bosimi.

**Ko'rgazmali qurollar:** Ideal gaz modeliga oid slaydlar, animatsion dasturlar, diaproyektor va kompyuter.

#### **O'tilgan mavzuni takrorlash:**

1. Suyuqliklarning stasionar oqimi qaysi vaqtda keladi.
2. Bernuli tenglamasida suyuqlik va gazlarda vujudga keladigan qanday bosimlar hisobga olingan?
3. Qovushqoq suyuqliklar deb nimaga aytiladi?
4. Suyuqliklarning qovushqoqlik koeffitsienti qanday fizikaviy parametrlarga bog'liq bo'ladi.
5. Stoks qonuning fizikaviy ma'nosini tushuntiring.
6. Puazeliy tenglamasini qanday ko'rinishga ega?
7. Renoldus soni nimani xarakterlaydi?
8. Kinematik qovushqoqlik bilan dinamik qovushqoqlik orasida qanday bog'lanish mavjud.

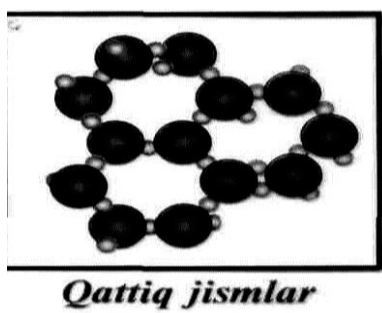
#### **Ma'ruzaning borishi:**

1. **Makroskopik holat. Fizikaviy hodisalarni o'rganishda tadqiqotning ikki usuli. Issiqlik harakati.**

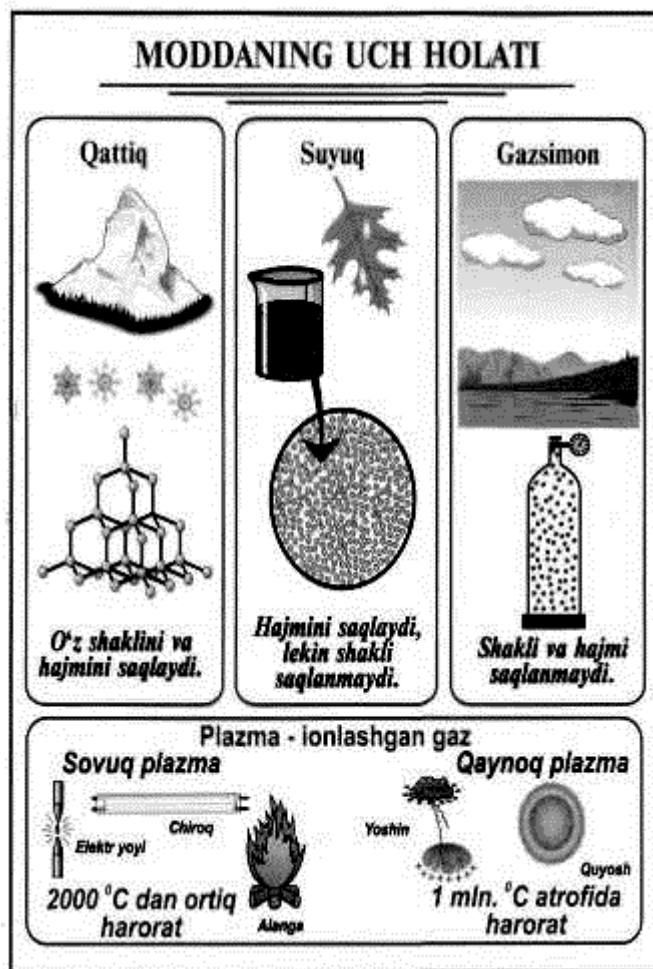
*Makroskopik holat.* Molekulyar fizikada esa nihoyat ko'p zarralar ta'sirida vujudga keladigan hodisalarni tekshirishga to'g'ri keladi. Xususan, bir kub santimetr hajmdagi gazda (normal sharoitlarda)  $2,7 \cdot 10^{19}$  dona molekula mavjud bo'lib, larning har biri bir sekund davomida boshqa molekulalar bilan taxminan

$10^{10}$  marta to'qnashadi. Binobarin, molekulaning trayektoriyasi nihoyat chigal siniq chiziqli bo'ladi.

*Hamma moddalar zarralardan tuzilgan. Bu molekulalar, atomlar va ionlar.*



(rasm 10.1)



(rasm

10.2)

*Fizikaviy hodisalarni o'rganishda tadqiqotning ikki usuli.* Molekulyar fizika qonunlarini mexanika qonunlariga keltirib bo'lmaydi. Bunday masalalarni alohida matematik usulga – statistik usulga asoslanib hal qilishga to'g'ri keladi. Statistik usul bir-biriga o'xshagan nihoyat ko'p, lekin bir-biridan mustaqil bo'lgan hodisalar to'plamini tekshirish uchun qo'llaniladi.

Statistik usul yordamida tabiat hodisalari yetarlicha chuqur va aniq tekshiriladi. Masalan, suyuqlik yoki gazsimon muhit ichida biror qattiq jism  $\vartheta$  tezlik bilan harakatlanayotgan bo'lsin. Mazkur harakat N'yuton mexanikasida  $F = r \vartheta$  (bundan  $r$  – ishqalanish koeffitsiyenti) ifoda bilan aniqlanadigan ishqalanish kuchi yordamida tavsif etiladi.

Statistik usul yordamidagi tekshirishlar ishqalanish kuchining vujudga kelishiga sababchi bo'lgan jarayonning mohiyatini ochib beradi. Bundan tashqari kuchning o'rtacha qiymatini va bu o'rtacha qiymatdan chetga chiqishlarni ham hisoblash mumkin.

Shunday qilib, statistik usul makrojismlarning molekulyar tuzilishi va ayrim molekulalarning o'zaro ta'sirini o'rganish asosida makrojismlardagi jarayonlarning sodir bo'lishiga oid qonuniyatlarni aniqlaydi. Lekin makroskopik jismlar xossalari ularning ichki tuzilishlarini e'tiborga olmasdan ham tekshirish mumkin. Bunda makrosistemalarning energetik xarakteristikalari va turli makroskopik kattaliklar orasidagi bog'lanishlar o'rganiladi. Bunday usul *termodinamik usul* deb ataladi. Termodinamik usulni qo'llash imkoniyati – jismlarning ko'pchilik xossalari ularda energiyaning bir turdan boshqa turlarga aylanish jarayonlari bilan bog'liqligidir. Ko'p kuzatishlar natijalarini umumlashtirish tufayli termodinamika soslari deb nom olgan energetik aylanishlarni ifodalovchi asosiy qonunlar aniqlangan. Mazkur qonunlarni qo'llab temodinamikada umumiy xarakterli talaygina natijalar olishga muvaffaq bo'lindi.

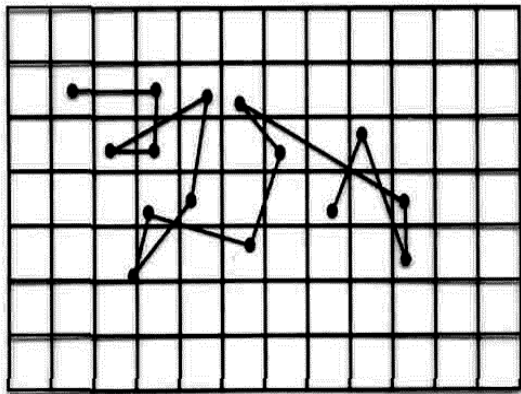
Molekulyar fizikaga oid tadqiqotlarda ikkala usul ham keng qo'llaniladi va ular o'zaro bir-birini to'ldiradi. Keyingi paragraflarda gazsimon jismlarning xossalari va gazlarda sodir bo'ladigan jarayonlarni o'rganishda statistik va termodinamik usullar bir-biri bilan uzviy bog'liqligiga ega.

### ***Issiqlik harakati.***

*Atomlar, molekula uzluksiz va xaotik harakatda bo'ladi.*

*Suyuqlik va gaz zarrachalarining issiqlik va xaotik harakatiga Broun harakati deyiladi.*

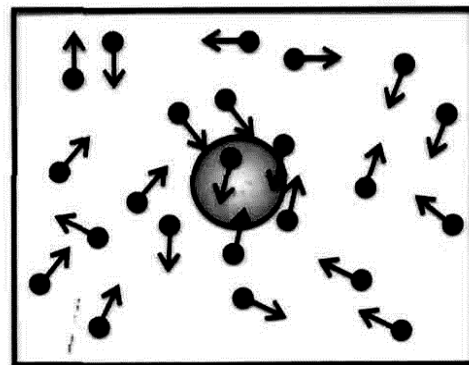
*Zarra Broun harakatining trayektoriyasi. Suyuqlik va gaz molekula uringilish sabablari*



(10.4)

(10.3)

(10.5)



(10.6)

## **2. Makroskopik parametrlar. Temperaturaning molekulyar kinetik talqini. Intensiv va eks intensiv parametrlar.**

*Makroskopik parametrlar.*

*Hajm.* Sistema hajmi deganda idishning hajmini tuhsunishimiz lozim.

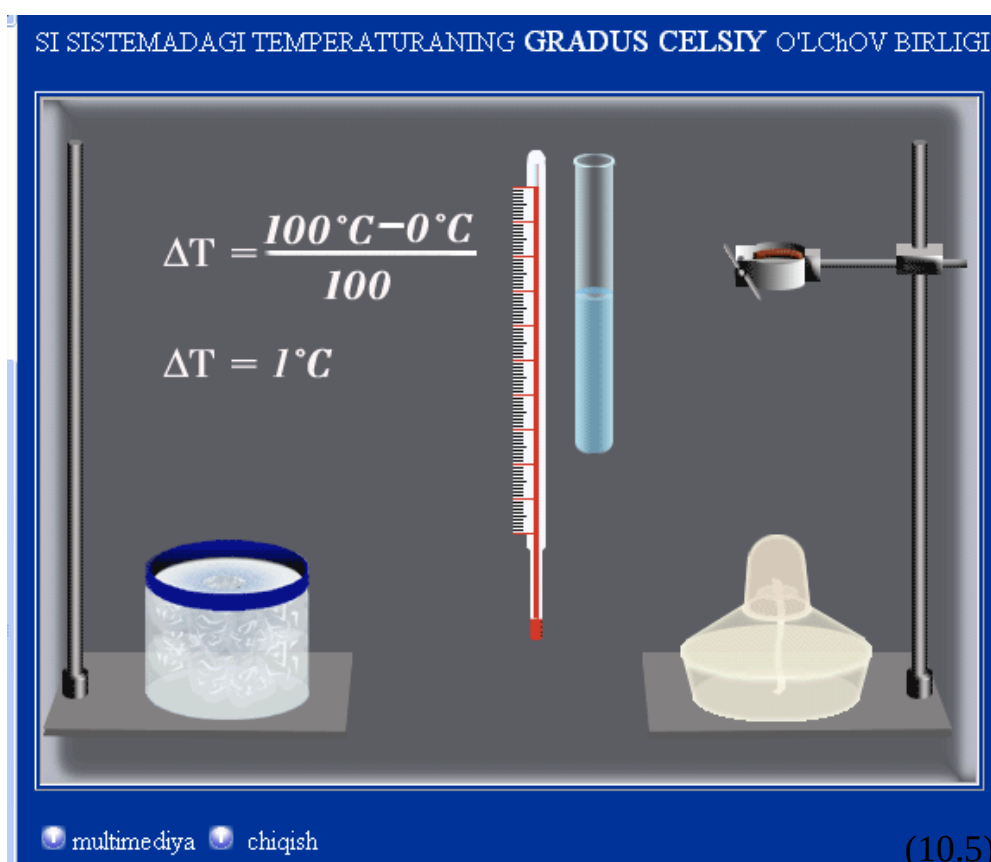
SI da hajm  $m^3$  (metr kub)larda o'lchanadi. Hajmning SI birliklari bilan baravar foydalaniladigan *litr* deb ataluvchi sistemadan tashqari birligi ham mavjud:

$$1 \text{ l} = 10^{-3} m^3 \quad (10.1)$$

*Temperatura.* SI da temperaturalarning absolyut termodinamik shkalasi (Kelvin shkalasi) dan foydalaniladi: suvning uchlanma nuqtasini xarakterlovchi termodinamik temperaturaning  $1/273,16$  ulushi 1 kel'vin (K) deb qabul qilingan. SI da shved fizigining nomi bilan ataladigan *Sel'siy shkalasi* ham qo'llaniladi: normal bosim ostidagi muzning erish temperaturasi va normal bosim ostidagi suvning qaynash temperaturasining farqi 100 teng qismga bo'lingan va unga (ya'ni shkalaning 0,01 qismiga) *sel'siy gradusi* ( $^{\circ}\text{C}$ ) deb nom berilgan. Sel'siy gradusi miqdoriy jihatdan kel'vinga teng.

Makur shkalada muzning erish va suvning qaynash normal nuqtalari mos ravishda 273,15 K va 373,15 K ga teng.

Demak, 
$$T = t + 273,15 \quad (10.2)$$



(10.5)

*Temperaturaning molekulyar kinetik talqini.* Temperatura - bu termodinamik muvozanatda bo'lgan makroskopik tizimning holatini xarakterlovchi parametr va bu parametr berilgan tizimga boshqa tizimlar ta'sir etmaganda ushbu tizimning barcha nuqtalarida temperatura bir xil qiymatga ega bo'ladi.

Temperatura 1 jinsli tizimda mavjud bo'lgan zarrachalarning o'rtacha kinetik energiyasiga to'g'ri proporsional. Tizimda temperaturali muvozanat bo'lmaganda zarrachalar energiyasining ko'chishi natijasida tizimning barcha nuqtalarida bu parametr bir xil qiymatga ega bo'ladi. Tizimdagi zarrachalar energiyasining ko'chishi issiq nuqtadan tizimning sovuq qismiga o'z-o'zidan uzatiladi. Bunday xulosa termodinamikaning I-postulatasi hisoblanadi.

*Bosim* – yuz birligiga normal ravishda ta'sir etuvchi kuch bilan xarakterlovchi kattalik. SI da bosim birligi tarzida qabul qilingan va unga *paskal'* (Pa) deb nom berilgan.

$$1 \frac{kg - kuch}{sm^2} = 98066,5 Pa \quad (10.3)$$

$$1 mm sim. Ust. = 133,322 Pa \quad (10.4)$$

*Modda miqdori*. SI da modda miqdorini o'lchash uchun asosiy birlik sifatida mol' qabul qilingan: 1 mol'-uglerod-12 ning 0,012 kg massasidagi atomlar soniga teng strukturaviy element (masalan, atom, molekula, ion, ...)lardan tashkil topgan moddaning miqdoridir. 1 mol' moddadagi molekular miqdorini *Avogadro soni* deb ataldi va, odatda  $N_A$  deb belgilanadi. Tajribalar asosida

$$N_A = 6,0222 \cdot 10^{23} \frac{1}{mol} \quad (10.5)$$

ekanligi aniqlangan.

Yuqoridagi parametrlar intensiv va eksentensiv parametrlarga bo'linadi.

*Intensiv parametr*. Bu parametr termodinamik bir jinsli va muvozanatda bo'lgan tizimdagi mikro zarrachalarning barchasida bir xil qiymatga ega bo'lgan parametr hisoblanadi. Bu parametrlarga temperatura (T), bosim (P), konsentratsiya (C). Bunday parametrlar tizimdagi zarrachalar massasiga bog'liq emas.

*Eksintensiv parametr*. Bu termodinamik parametr bo'lib, tizimda mavjud bo'lgan zarrachalar masasiga va hajmiga bog'liq. Bunday parametrlarga hajm ( $\vartheta$ ), ichki energiya (U), entropiya (S) lar kiradi. Bu parametrlar, shu tizimda mavjud bo'lgan zarrachalar parametrlari yig'indisiga teng. Masalan, tizimning to'liq ichki energiyasi

$$u = \sum_{i=1}^n u_i \quad (10.6)$$

bu yerda  $u_i$  –  $i$  zarrachaning ichki emergiyasi

### **3. Gaz bosimini molekulyar kinetik nazariya asosida tushuntirish. Gaz molekulari ilgarilanma harakatining o'rtacha kinetik nazariyasi.**

*Gaz bosimini molekulyar kinetik nazariya asosida tushuntirish*. Ideal gaz molekulyar - kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi.

Molekulalar – kinetik nazariyasining asosiy tenglamasini chiqaramiz.

$$P = \frac{1}{3} nm_0 < \mathcal{G}_{kb}^2 > \quad (10.7)$$

Bu ifoda ideal gaz molekulyar - kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi deyiladi.

$n=N/\vartheta$  ekanligini hisobga olsak

$$P = \frac{1}{3} nm_0 < \mathcal{G}_{kb}^2 > \quad (10.8)$$

yoki

$$P \mathcal{E} = \frac{2}{3} N \frac{m_0 < \mathcal{E}_{kb}^2 >}{2} = \frac{2}{3} E \quad (10.9)$$

Bunda  $E$  – gazdagi barcha molekular ilgarilanma harakatining yig'indi kinetik energiyasi. Gazning to'la massasi  $m = Nm^0$  bo'lgani uchun tenglamani quyidagicha yozish mumkin.

$$P \mathcal{E}_m = \frac{1}{3} m < \mathcal{E}_{kb}^2 > \quad (10.10)$$

Bunda

$$< \mathcal{E}_{kb} > = \sqrt{\frac{2 RT}{M}} \quad (10.11)$$

Agar  $M = m_0 N_A$  bunda  $m_0$  - bitta molekula massasi,  $N_A$  - Avagadro sonini hisobga olsak, u holda

$$< \mathcal{E}_{kb} > = \sqrt{\frac{3 RT}{m_0 N_A}} = \sqrt{\frac{3 kT}{m_0}} \quad (10.12)$$

bo'ladi.

Bunda  $k=R/N_A$  Bol'tsman doimiysi. Bundan uy haroratida kislorod molekularining o'rtacha kvadratik tezlik 480 mFs, vodorod molekulari uchun 1900 mFs, ga tengligini topaimz. Suyuq geliy haroratida esa o'sha tezliklar mos holda 40 va 100 m/s bo'ladi.

*Gaz molekulyarining energiyasi haroratga bog'liqligi.* Termodinamik harorat shkalasi suvning uchlama nuqtasi sifatida olingan bitta tayanch (renor) nuqtasi (bosim 609 Pa bo'lganda muz suv va to'yingan bug' haroratida termodinamik muvozanatda bo'ladi.)

Termodinamik va tselsiy shkalasi orasida quyidagicha bog'lanish mavjud

$$T=273,15+t^0 \quad (10.13)$$

Ideal gaz bitta molekulasini ilgarilanma o'rtacha kinetik energiyasi.

$$< \varepsilon_0 > = E/N = m_0 < \mathcal{E}_{kb}^2 > / 2 = 3/2 kT \quad (10.14)$$

formula bilan aniqlanadi.

Energiyaning erkinlik darajalari bo'yicha tekis taqsimlash qonuni.

Sistemaning fazodagi holatini to'la aniqlay oladigan o'zaro bog'liq bo'lmagan o'zgaruvchilar (koordinatalar) soni erkinlik darajalari soni haqidagi tushuncha. Bir qator masalalarda bir atomli gaz molekulasini moddiy nuqta deb qaraladi va ilgarilanma harakatning uchun erkinlik darajasiga ega. Uchta erkinlik darajasidan tashqari yana ikki atomli gaz beshta erkinlik darajasiga ega bo'ladi (1=5). Uch atomli va ko'p atomli bo'lgan molekular uchta ilgarilanma va uchta aylanma harakatlarga taluqli bo'lgan oltita erkinlik darajasiga ega bo'ladilar. Molekular energiyasi tenglamasiga asosan

$$< \varepsilon_1 > = \frac{< \varepsilon_0 >}{3} = \frac{1}{2} kT \quad (10.15)$$

Shunday qilib, molekulaning o'rtacha energiyasi  $\langle \epsilon \rangle = \frac{i}{2} kT$  bunda  $i$  molekula ilgarilanma, aylanma va tebranish erkinlik darajalari sonlarining yig'indisi:  $i = i_{ilg} + i_{ayl} + 2i_{tebr}$ . Klassik nazariyada molekulalardagi atomlar o'zaro qattiq bog'lanishga ega deb qaraladi, ular uchun  $i$  molekula erkinlik darajasi soni bilan mos keladi. Ixtiyoriy  $m$  – massali gaz uchun ichki energiya

$$W = \frac{m}{M} \frac{i}{2} RT = \nu \frac{i}{2} RT \quad (10.16)$$

bunda  $M$  - molyar massa,  $\nu$ - modda miqdori.

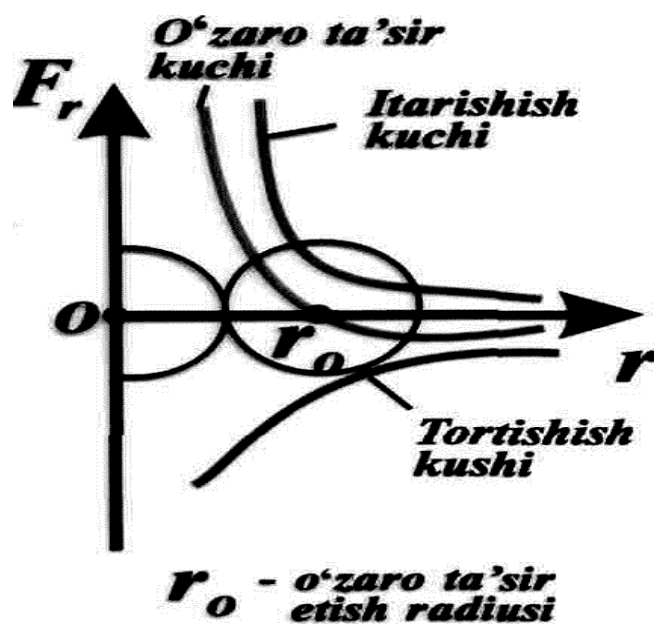
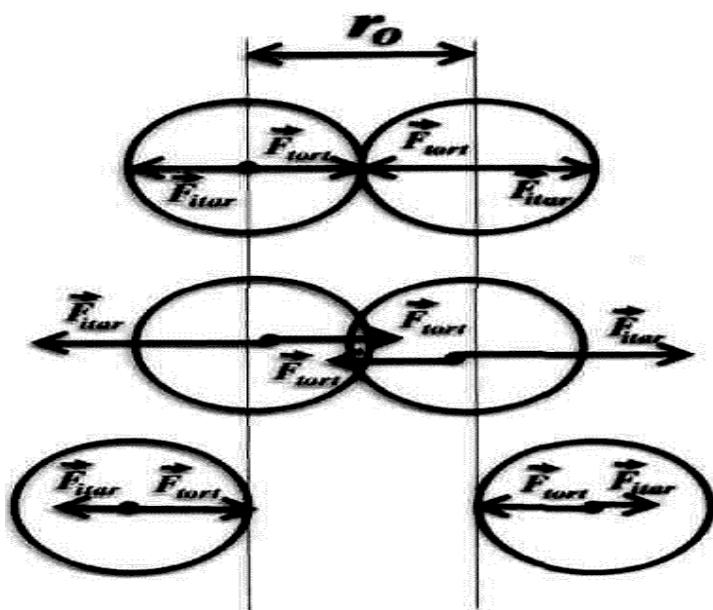
### Mavzuni mustahkamlash uchun savollar

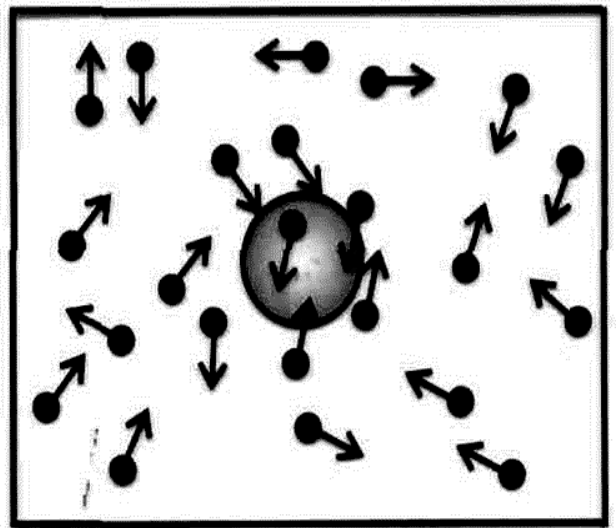
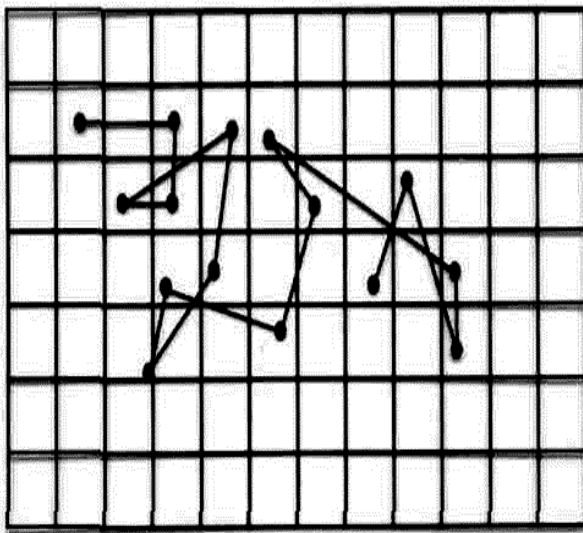
1. Qanday gaz ideal gaz deyiladi?
2. Gazning bosimi va uning birligi.
3. Gaz molekular – kinetik nazariyasining asosiy tenglamasini keltirib chiqaring.
4. Molekulararo o'zaro ta'sir potensial energiyasining ular orasidagi masofaga bog'liqligi nimadan iborat?
5. Qachon potensial energiya uining eng kichik qiymatiga ega bo'ladi?

### Uyga vazifa

1. Ideal gaz qonunlari.
2. Ideal gaz tenglamalarni keltirib chiqaring

### 10 - Ma'ruzaning ilovalari.





## 11 MA'RUZA. STATISTIK TAQSIMOTLAR. MOLEKULALARNING O'RTACHA KINETIK ENERGIYASI.

### Reja:

1. Energiyaning erkinlik darajalari bo'yicha taqsimot qonuni.
2. Statistik taqsimot. Ehtimollik va fluktatsiyalar. Klassik statistikasining asosiy qonuni. Tashqi kuchlar ta'siri bo'lmaganda gaz molekulalarining hajm bo'yicha taqsimoti.
3. Zarralarning issiqlik harakat tezligi. Zarralarning tezlik va energiya bo'yicha taqsimoti. Maksvell taqsimoti.
4. Bol'tsman taqsimoti. Gibbs taqsimoti.

**Tayach iboralar:** statistik taqsimot, fluktatsiyalar, Bol'tsman taqsimoti, barometrik formulasi, tezlik bo'yicha taqsimlanishi, energiya bo'yicha taqsimlanishi, tezliklar bo'yicha taqsimoti, energiya bo'yicha taqsimoti, Maksvel taqsimoti, Gibbs taqsimoti.

**Ko'rgazmali qurollar:** mavzuga oid slaydlar, animatsion dasturlar, plakatlar.

### O'tilgan mavzuni takrorlash.

1. Qanday gaz ideal gaz deyiladi?
2. Gazning bosimi va uning birligi.
3. Gaz molekular – kinetik nazariyasining asosiy tenglamasini keltirib chiqaring.
4. Molekulararo o'zaro ta'sir potensial energiyasining ular orasidagi masofaga bog'liqligi nimadan iborat?
5. Qachon potensial energiya uining eng kichik qiymatiga ega bo'ladi?

### Mavzuning borishi:

1. **Energiyaning erkinlik darajalari bo'yicha taqsimot qonuni.** «Erkinlik darajasi» tushunchasi bilan tanishib olaylik. Molekulaning erkinlik darajasi deganda shu molekulaning fazodagi vaziyatini aniqlash uchun lozim bo'ladigan mustaqil koordinatalar soni tushuniladi.

Ikk atomli molekula harakat jarayonida aylanishi ham mumkin.



Ikki atomli qattiq molekulaning ilgarilanma harakati uch erkinlik darajasi bilan, aylanma harakati esa ikkierkinlik darajasi bilan ifodalanadi. Binobarin, ikki atomli qattiq molekula besh erkinlik darajasiga ega. Shuni alohida qayd qilaylikki, molekula nechta erkinlik darajasiga ega bo'lishidan qat'i nazar ularning uchtasi molekula ilgarilanma harakatini ifodalaydi.

Ideal gaz molekulasi ilgarilanma harakat o'rtacha kinetik energiyasi  $\frac{3}{2}kT$  ga teng. Har bir erkinlik darajasiga mos keladigan kinetik energiya miqdori  $\frac{1}{2}kT$  bo'ladi. Umumiy holda molekulaning erkinlik darajalari sonini  $i$  deb belgilasak, bir dona molekulaning o'rtacha energiyasi

$$\omega_{o'r.} = \frac{i}{2}kT \quad (11.1)$$

ifoda bilan aniqlanishi kerak. Mazkur munosabatdan farqi shundaki, ifoda ideal gazning faqat bir atomli molekulasi, aniqrog'i  $i = 3$  bo'lgan molekula uchun o'rinli. (11.1) ifoda umumiy holni aks ettiradi.

Molekulalar energiyalarning yig'indisini ifodalovchi quyidagi munosabatni hosil qilamiz:

$$U_M = N_A \omega_{o'r.} = N_A \frac{i}{2}kT = \frac{i}{2}RT \quad (11.2)$$

Ixtiyoriy  $m$  massali gaz uchun mazkur ifoda

$$U = \frac{m}{M}U_M = \frac{m}{M} \frac{i}{2}RT \quad (11.3)$$

ko'rinishida yoziladi. (11.2) ifoda *1 mol' ideal gazning ichki energiyasi* deb ataladi. (11.3) munosabat esa ixtiyoriy  $m$  massali ideal gazning ichki energiyasini ifodalaydi.

## **2. Statistik taqsimot. Ehtimollik va fluktatsiyalar. Klassik statistikasining asosiy qonuni. Tashqi kuchlar ta'siri bo'lmaganda gaz molekulalarining hajm bo'yicha taqsimoti.**

*Klassik statistika qonunlari.*

1. Statistik fizikaning qoidalari o'rganiladigan tizimda barcha saqlanish qonunlari o'rinli (massa, impuls, inersiya momenti, impuls momenti, zaryad)

2. Barcha zarrachalar bir xil xossalarga ega va ular hamma vaqt harakatda.

3. Statistika qonunlari o'rganilayotgan tizimda barcha jarayonlar uzluksiz o'zgaradi.

4. Tizimdagi har qaysi zarra ixtiyoriy koordinatalarni ola bilish qobiliyatiga ega.

Ayni bir xil sharoitda amalga oshirilgan tajribalarda muntazam ravishda takrorlanadigan egri chiziqlar biror statistik qonuniyatning ifodasi bo'lib xizmat qiladi. *Taqsimot egri chizig'i* qancha ko'proq voqealar asosida qurilgan bo'lsa, u statistik qonunni shunchalik aniqroq ifodalaydi. Mazkur bobda gazlardagi statistik

qonuniyatlar haqida mulohaza yurgizamiz. Har qanday kichik hajmda ham nihoyat ko'p molekulalar mavjud bo'lganligi sababli gaz molekulalari uchun qurilgan u yoki bi kattalikning taqsimot egri chizig'i juda katta aniqlik bilan takrorlanadi.

*Statistik ehtimollik.* Bu matematik ehtimollikdan farq qiladi.

Molekulyar fizikada fizikaviy tizimning holati quyidagi parametrlar bilan aniqlanadi: zichlik, bosim, harorat va boshqalar. Ammo zarrachalar bir xil zichlik va haroratda bo'lishiga qaramasdan ular idish qismining turli hajmlarda joylashib olishi mumkin. Bu vaqtda bu zarrachalar o'z impulsi va o'z energiyasi bilan farq etadi. Shuning uchun tizimning makro holat ehtimolligi  $w \geq 1$  bo'ladi, ammo matematik ehtimollik 1 dan katta bo'lolmaydi. Statistik ehtimollik makro holatlar yig'indisi qiymati bilan aniqlanadi. Shuning uchun uning ehtimolligi 1 dan katta.

Ehtimollik bu – termodinamik barqarorlik vaqtida tizimning statistik xossalarini aniqlaydi va bir xil xossani zarrachalarga bog'liq ravishdagi qonuniyatlar umumlashiriladi.

*Statistik fluktatsiya.* Bu fizik tizimni tashkil etgan zarrachalarning isiqlik, xaotik, harakati natijasida vujudga keladi. Bu vaqtda zarrachalarning eksintensiv parametrlari hajm va energiya qiymati taxminan barcha tizimdagi zarrachalar parametrlarning o'rtacha qiymatiga teng bo'ladi. Bunday holda fluktatsiya qiymati nihoyat darajada kichik bo'ladi va  $u \propto 1/\sqrt{N}$  ga proporsional bo'ladi. Bu yerda  $N$  – zarrachalar (molekulalar) soni. Ammo fluktatsiya qiymati ma'lum ajratib olingan hajmda (masalan kritik hajmda) katta qiymatga ega bo'lishi mumkin, bu vaqtda fluktatsiya qiymati hisobga olinadi.

*Tashqi kuchlar ta'siri bo'lmaganda gaz molekulalarining hajm bo'yicha taqsimoti.* Molekulyar fizikaning statistik uslubiyatda o'rganish vaqtida quyidagilar o'rinli bo'lishini hisobga olishimiz lozim.

1. Zarrachalar tizimida energiyaning saqlanish qonuni o'rinli bo'ladi. Zaryadli zarrachalar tizimida energiyaning saqlanish qonuni bilan birga zaryadning saqlanish qonuni o'rinli bo'ladi.

2. Zarrachalar bilan bog'liq bo'lgan tizimda, fizik jarayonlar uzluksiz holatda fazo va vaqt koordinatalarida sodir bo'ladi.

3. Tizimidagi barcha zarrachalar beto'xtov harakatda va bu zarrachalarning harakat trayektoriyasini oldindan aytib bo'lmaydi.

4. Tizimida boshqa zarrachalar parametrlarga bog'liq bo'lmagan holda tanlangan zarracha ixtiyoriy koordinata va impuls qiymatini olishi mumkin.

Agar  $x, y, z$  koordinata tizimida  $dx, dy, dz$  kichik hajm ichida mavjud bo'lgan zarrachalar soniga qaramasdan bu hajmda ixtiyoriy zarracha kirishi mumkin. Xuddi shunday  $dp_x, dp_y, dp_z$  impuls elementar hajmda, bu hajmda mavjud bo'lgan sonidan qat'iy nazar ixtiyoriy zarracha bu zarracha impulsiga kirishi mumkin.

Shunday qilib, zarrachalar ixtiyoriy vaqtda  $x+dx, y+dy, z+dz$  parametrdagi hajmni ichida bo'lishi mumkin. Zarrachalar (molekulalar) ixtiyoriy vaqtda  $p_x+dp_x, p_y+dp_y, p_z+dp_z$  impuls elementar hajmida ixtiyoriy zarracha kirishi mumkin.

### 3. Zaralarning issiqlik harakat tezligi. Zaralarning tezlik va energiya bo'yicha taqsimoti. Maksvell taqsimoti.

*Zaralarning issiqlik harakat tezligi.* Molekulyar kinetik nazariyasining asosiy qonuniga asosan gaz bosimi

$$\rho = \frac{2}{3} n \Sigma \quad (11.4)$$

bu yerda  $n$  - birlik hajmdagi gaz molekulalar soni;

$\Sigma$  - molekulalar kinetik energiya va u

$$\Sigma = \frac{3}{2} kT \quad (11.5)$$

aniqlanadi. Molekulalarni kinetik energiya

$$\Sigma = \frac{m \vartheta^2}{2} \quad (11.6)$$

$$\text{U vaqtda } \frac{1}{2} m \vartheta^2 = \frac{3}{2} kT \quad \text{bu yerda } \vartheta = \sqrt{\frac{3 kT}{m}} \quad (11.7)$$

bu yerda  $K$  – Bol'tsman doimiysi

Bu tenglamadan ko'rinadiki molekulalarning tezligi ularni issiqlik harakati tufayli vujudga keladi.

*Gaz molekulalarning tezlik taqsimoti.*

Gaz molekulalari juda xilma xil tezliklar bilan harakat qiladi; alohida olingan har bir molekula tezligi ham kattaligi jihatidan, ham yo'nalishi jihatdan molekulalarning bir – biriga to'qnashuvi tufayli muttasil o'zgarib turadi (keyinchalik biz ko'ramizki, normal sharoitlarda har bir molekula sekundiga taxminan  $10^9$  to'qnashuv duch keladi.)

Molekulalar tezligining  $\nu$  son qiymatiga kelganda ahvol boshqacharoq  $\nu$  ning noldan cheksizlikka bo'ldan sohadagi mumkin.

Istalgan miqdordagi gaz uchun quyidagi munosabat o'rinli bo'ladi.

$$f(\vartheta) = \frac{\rho(\vartheta)}{N} = \frac{1 \Delta N_{\vartheta}}{N \Delta \vartheta} \quad (11.8)$$

Shu tarzda aniqlangan  $f(\vartheta)$  funksiya gaz molekulalarining tezliklar bo'yicha taqsimlanishini xarakterlaydi va *taqsimot funksiyasi* deb ataladi.  $f(\vartheta)$  funksiyaning shaklini bilgan holda berilgan  $N$  dona molekuladan tezliklari  $\Delta \vartheta$  interval ichiga tushadigan molekulalar sonini, ya'ni tezliklarning qiymati  $\vartheta$  dan  $\vartheta + \Delta \vartheta$  gacha sohada yotadigan molekulalarning  $\Delta N_{\vartheta}$  sonini topish mumkin.

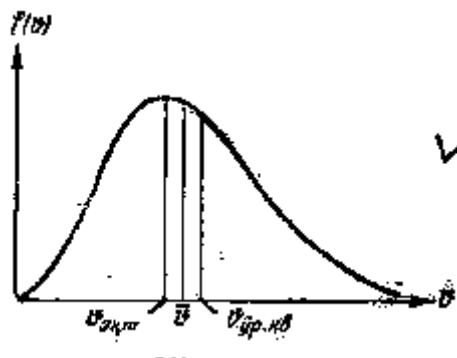
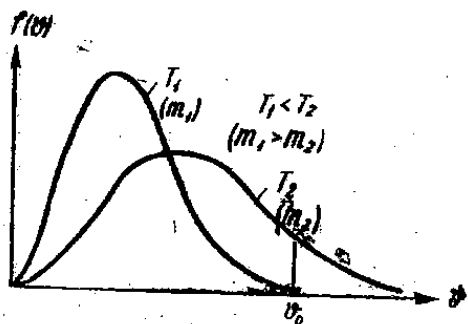
$$\frac{\Delta N_{\vartheta}}{N} = f(\vartheta) \Delta \vartheta \quad (11.9)$$

Aniqroq aytganda, shart quyidagicha yozilishi kerak:

$$\int_0^{\infty} f(g) dg = 1 \quad (11.10)$$

Taqsimot funksiyasining umumiy ta'rifidan kelib chiqib, bu funksiyaning konkret ko'rinishi qanday ekanligiga bog'liq emas.

Taqsimot funksiyasini nazariy yo'l bilan Maksvell topgan bo'liq, bu funksiya uning nomi bilan ataladi. Bu funksiyaning ko'rinishi quyidagicha



$$f(g) = Ae^{-\frac{mg^2}{2kT}} g^2 \quad (11.11)$$

bu yerda A- $v$  ga bog'liq bo'lmagan ko'paytuvchi,  $m$  – molekulaning massasi,  $k$  – Bol'tsman doimiysi.

$$f(g) = 4\pi \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{mg^2}{2kT}} g^2; \quad \frac{df(g)}{dg} = Ae^{-\frac{mg^2}{2kT}} g \left( 2 - \frac{mg^2}{kT} \right) = 0; \quad (11.12)$$

$$g_{eht} = \sqrt{\frac{2kT}{m}}; \quad f(g_{eht}) = \frac{4}{e} \sqrt{\frac{m}{2\pi kT}} \sim \sqrt{\frac{m}{T}}; \quad f(\varepsilon) = A'e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} \sqrt{\varepsilon};$$

$$(11.13) \quad \bar{g} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$$

(11.14)

**Gaz molekulalarning energiyasi bo'ycha taqsimoti.** Gaz molekulasi ilgarilanma harakatning o'rtacha kinetik energiyasi

$$p = \frac{2}{3} n \omega_{o'r}; \quad (11.15) \quad p g_m = RT; \quad (11.16)$$

$$\frac{2}{3} N_A \omega_{o'r} = Rt ; \quad (11.17)$$

$$\omega_{o'r} = \frac{3}{2} \frac{R}{N_A} T ; \quad (11.18)$$

$$\frac{R}{N_A} = k \quad (11.19)$$

$$K = \frac{8,314 \frac{J}{mol \cdot K}}{6,0222 \cdot 10^{23} mol^{-1}} = 1,3806 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K} ; \quad (11.20)$$

$$\omega_{o'r} = \frac{3}{2} kT ; \quad (11.21) \quad \frac{m_M g_{o'r.kv.}^2}{2} = \frac{3}{2} \frac{R}{N_A} ; \quad (11.22)$$

$$g_{or.kv.} = \sqrt{\frac{3RT}{m_M N_A}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}. \quad (11.23)$$

$$p = nkT; \quad (11.24) \quad \omega_{o'r} \cdot \frac{i}{2} kT ; \quad (11.25)$$

$$U_M = N_A \omega_{o'r} = N_A \frac{i}{2} kT = \frac{i}{2} RT ; \quad (11.26)$$

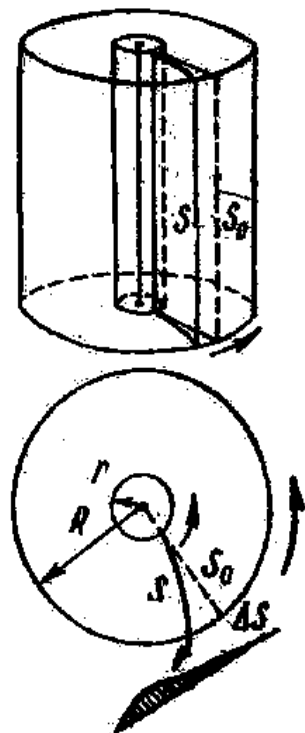
$$U = \frac{m}{M} U_M = \frac{m}{M} \frac{i}{2} RT \quad (11.27)$$

**Gaz molekulası ilgarılanma harakatning o'rtacha kinetik energiyasi**

$$p = \frac{2}{3} n W_{o'r} ; \quad (11.28)$$

$$\frac{2}{3} N_A W_{o'r} = RT \quad (11.29)$$

$$K = \frac{8,314 \frac{J}{mol \cdot K}}{6,0222 \cdot 10^{23} mol^{-1}} = 1,3806 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}.$$



(11.3)

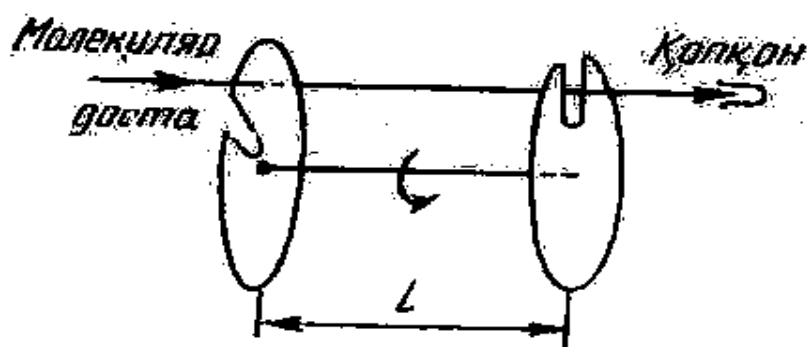
Maksvell taqsimotini tajribada tasdiqlash. Maksvel taqsimoti.

$$dN_g = N 4\pi \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{m g^2}{2kT}} g^2 dg \quad (11.30)$$

**Maksvell taqsimotini tajribada tekshirish.** Maksvel taqsimoti.

$$dN_g = N 4\pi \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{m g^2}{2kT}} g^2 dg$$

(11.31)



(11.4)

Molekulalarning tezligini birinchi marta 1920 yilda Shtern tajribada aniqladi. Dastlabki va surilib qolgan kumush tasmachalari orasidagi  $\Delta s$  masofani silindrlarning  $\omega$  burchak tezligi, asbobning geometriyasi va atomlarning  $v$  tezligi bilan bog'lash mumkin. Uchib o'tish vaqtini  $\Delta t$  orqali belgilab, quyidagi tenglikni yozish mumkin:

$$\Delta s = \omega R \Delta t; \quad (11.32) \quad \Delta t = \frac{R}{g}; \quad (11.33) \quad g = \frac{\omega R^2}{\Delta s}; \quad (11.34)$$

$$g = \frac{\omega l}{\varphi} \quad (11.35)$$

Bu holda eng katta ehtimolli tezlik

$$\overline{g'}_{eht.} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}, \quad (11.36)$$

O'rtacha tezlik esa

$$\overline{g'} = \sqrt{\frac{9\pi kT}{8m}} \quad (11.37)$$

#### 4. Bol'tsman taqsimoti. Gibbs taqsimoti.

**Bol'tsman taqsimoti.**  $p$  bosimni  $nkT$  bilan almashtirib hajm birligidagi molekulalar sonining balandlikka qarab o'zgarish qonunini topamiz;

$$n = n_0 e^{-\frac{\mu gh}{RT}} \quad (11.38)$$

bu yerda  $n_0$  – balanlligi nolga teng bo'lgan joyda hajm birligidagi molekulalar soni,  $n$ -h balandlikda hajm birligidagi molekulalar soni.

$$\varepsilon_p = mgh \quad (11.39)$$

$$n = n_0 e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} \quad \frac{n_1}{n_2} = e^{-\frac{\varepsilon_{p_1} - \varepsilon_{p_2}}{kT}} \quad (11.40)$$

Bol'tsman shuni isbot qildiki, taqsimot formulasi va undan kelib chiqadigan xatolik issiqlik harakati istalgan bir xil zarralar to'plami uchun faqat yer tortish kuchlarining potensial maydonidagina emas, balki kuchlarning har qanday potensial maydonida ham to'g'ri ekanligini isbot qildi. Shu munosabat bilan *taqsimot Bol'tsman taqsimoti* deyiladi. Maksvell – Bol'tsman qonuni.

$$n = n_0 e^{-\frac{\mathcal{E}_p}{kT}}$$

(11.41)

Energiyaning qiymatlari diskret o'lgan holga tegishli Bol'tsman taqsimotining uzil – kesil ifodasini topamiz;

$$N_i = \frac{N e^{-\frac{E_i}{kT}}}{\sum e^{-\frac{E_i}{kT}}}$$

(11.42)

**Borametrik formula.**  $h$  balandlikdagi bosimni  $p$  harfi bilan belgilaylik. U holda  $h+dh$  balandlikda bosim  $p+dp$  bo'ladi.

$$dp = -\rho g dh. \quad (11.43)$$

$$p = p_0 e^{-\frac{\mu gh}{RT}}$$

(11.44)

**Atmosferada havo molekulalarning balandlik bo'yicha taqsimoti.** Torrichelli tajribasi



(11.5)

$$p = \rho_s g h \quad (11.45)$$

$\rho_s = 13600 \text{ kg/m}^3$  simobning zichligi  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

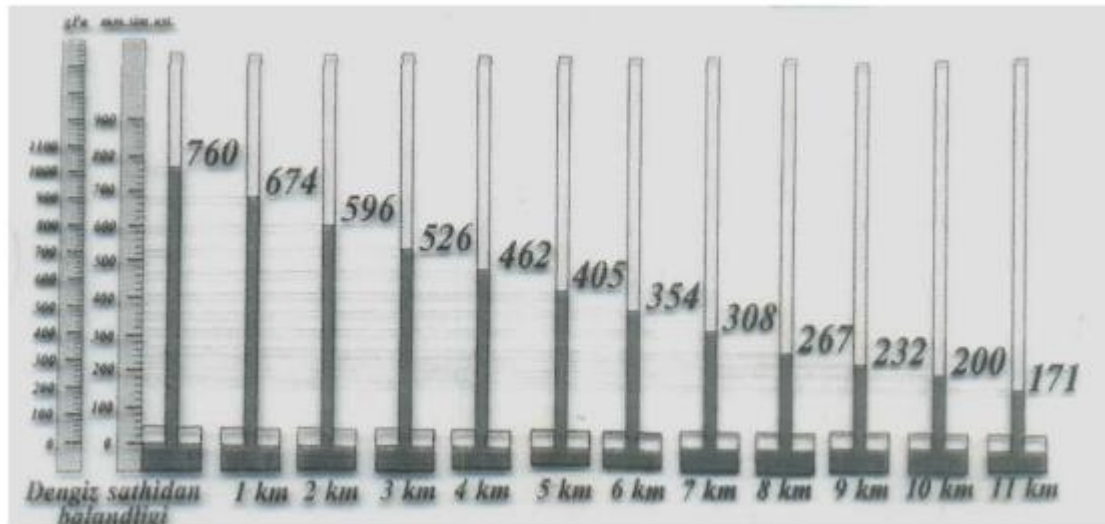
$h$  - simob ustuni balandligi.

Normal atmosfera bosimi 760 mm sim.ut.

$P = 760 \text{ mm sim.ust.} = 10^5 \text{ Pa}$

1 mm sim.ust. = 133,3 Pa

### Turli balandliklarda bosim



(11.6)

Bol'tsman taqsimoti Bir tomondan tortishish kuchlarining mavjudligi boshqa tomondan molekular issiqlik harakati ta'siri tufayli balandlikka qarab gazning bosimi kamayuvchi qandaydir barqaror holatga olib keladi. Tortishish maydoni bir jinsli, temperatura doimiy va barcha molekular massalar bir xil kabi soddalashtirishlarni kiritib balandlikka qarab bosim o'zgarishni qonunini chiqaramiz. Agar balandlikda atmosfera bosimi  $R$  bo'lsa,  $h-dh$  balandlikda u  $P+dP$  ( $dh > 0$   $dP < 0$  bo'lganda chunki balandlikka qarab bosim kamayadi) ga teng bo'ladi.  $P$  va  $P + dP$  bosimlar farqi, asosining yuzi birlik yuzaga, balandligi  $dh$  bo'lgan silindr hajmiga kamaygan gazning vazniga teng.

$$P - (P + dP) = \rho g dh \quad (11.46)$$

Bunda balandlikdagi gazning zichligi doimiy ( $dh$  - shunchalik kichikki, bu chegarada balandlik o'zgarganda gaz zichligini doimiy deb qarash mumkin). Binobarin

$$dP = -\rho g dh \quad (11.47)$$

ideal gaz holat tenglamasi  $PV = (m/\mu)RT$  dan foydalani b ( $m$  - gaz massasi,  $\mu$  - gazning molyar massasi).  $P = m/NV = PM/RT$  ni topamiz. Bu ifodani quyidagicha ko'rish mumkin.

$$dP = - \frac{Mg}{RT} P dh \quad \text{yoki} \quad \frac{dP}{P} = - \frac{Mg}{RT} dh \quad \text{ni olamiz.}$$

Balandligi  $h_1$  dan to  $h_2$  ga o'zgarishda doim  $P_1$  dan  $P_2$  gacha o'zgaradi, ya'ni



$$\int_{P_1}^{P_2} \frac{dP}{P} = - \frac{Mg}{RT} \int_{h_1}^{h_2} dh, \quad (11.48) \qquad \ln \frac{P_2}{P_1} = - \frac{Mg}{RT} (h_2 - h_1)$$

$$P = P_0 e^{-\frac{Mg(h_2 - h_1)}{RT}} \quad (11.50)$$

Ifodaga barometrik formula deyiladi. Uning yordamida balandlikka qarab atmosfera bosimini o'zgarishi yoki bosim o'lchanib, balandlikni aniqlash imkonini beradi. Bosim normal deb hisoblangan balandlik dengiz sathiga qarab olinadi, u holda bu formulani quyidagicha yozish mumkin.

$$P = P_0 e^{-Mgh / (RT)} \quad (11.51)$$

bunda R-h balandlikdagi bosim.

Yer sirtidan balandlikni o'lchash uchun ishlatiladigan asboboga balandlik o'lchagich (yoki voltmetr) deyiladi. Uning ishlashi  $P = P_0 e^{-Mgh / (RT)}$  ifodalanishga asoslangan. Bu formuladan ko'rinadiki, gaz qancha og'ir bo'lsa, balandlikka qarab bosim tezroq kamayadi.

Barometrik formula  $P = P_0 e^{-Mgh / (RT)}$  ni  $P = nkT$  ifodadan foydalanib boshqacha ko'rinishda yozish mumkin.

$$n = n_0 e^{-Mgh / (RT)} \quad (11.52)$$

Bunda n, h balandlikdagi molekular konsentratsiyasi,  $n_0$  ham h-balandlikdagi molekular konsentratsiyasi. Agar  $M = m_0 N_A$  ( $N_A$ - Avagadro doimiysi,  $m_0$  - bitta molekula massasi) va  $R = k N_A$  ekanligini hisobga olsak bunda  $m_0 g h = P$  tortilish maydonidagi molekularlarning potensial energiyasi, ya'ni

$$n = n_0 e^{-\Pi / kT} \quad (11.53)$$

Ifodaga tashqi potensial maydonida Bol'tsman taqsimoti deyiladi. Unda ko'rinadiki, harorat o'zgarmas bo'lganda, molekular potensial energiyasi kichik bo'lgan joyda gaz zichligi katta bo'ladi.

Agar zarralar bir xil massaga bo'lib tartibsiz issiqlik harakatida ishtirok etsalar, u holda Bol'tsman taqsimoti nafaqat og'irlik kuchi maydonida, istalgan tashqi potensial maydonda ham o'rinli bo'ladi.

**Gibbs taqsimoti.**

$$f(P, q) = \exp \left\{ \frac{\Omega - H(P, q) + \mu N}{kT} \right\}$$

(11.54)

$\mu$  – kimyoviy potensial

$H$  - Gamilton funksiyasi

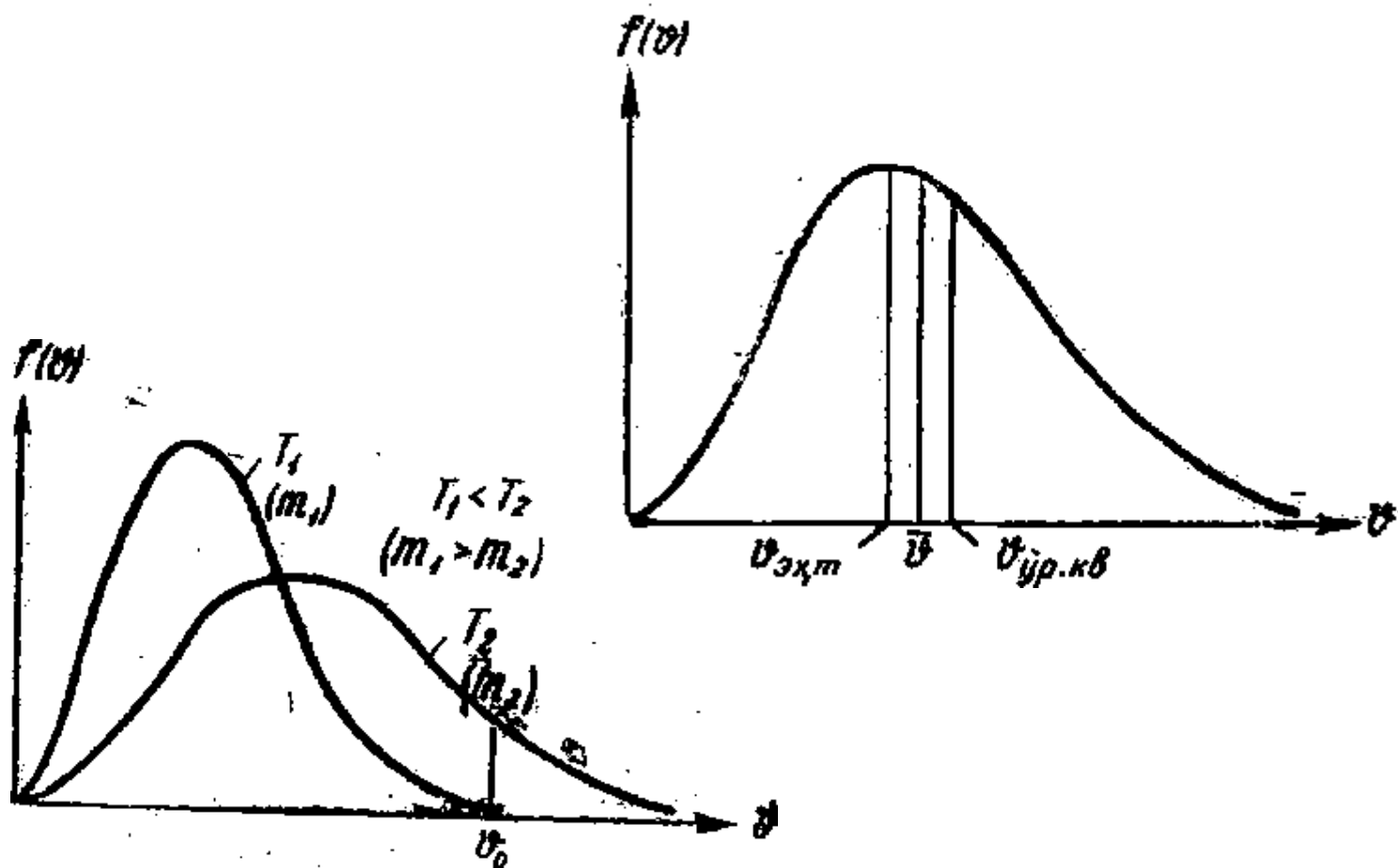
$\Omega$  – termodinamik potensial

### **Mavzuni mustahkamlash uchun savollar**

1. Bol'tsman taqsimotining mohiyati nimadan iborat?
2. Borametrik formulada gaz bosimi bilan balandlik orasida qanday munosabat mavjud?
3. Nima sababdan balandlik oshib borishi bilan atmosfera bosimi kamayib boradi.
4. Atmosfera bosimida Torrichela tajribasining mohiyati nimada?
5. Nima sababdan Torrichela o'z tajridasida simobdan foydalangan?
6. Bosimning Paskal o'lchov birligi bilan millimetr simob ustini bilan qanday bog'lanish mavjud?
7. Statistik fizikaning asoslari nima?
8. Maksvelning taqsimot qonunidan Bol'tsman taqsimot qonunidan qanday farq qiladi?
9. Gaz molekullarning taqsimot funksiyasi haroratga qanday bog'langan?
10. Taqsimot funksiyasi molekullar energiyasiga qanday bog'langan?
11. Gibbs taqsimat funksiyasi qanday mohiyatga ega.

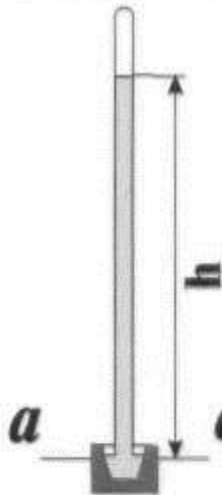
### **Uyga vazifa**

- 1) Molekular massa va uning o'lchov birligi.
- 2) Internet saytlarda molekular kinetik nazariya va statistik fizika qonunlarni mustaqil ravishda o'rganish.
- 3) Molekullarning xaotik harakati.
- 4) Gaz diffuziyasi va molekullar dastasi.



## ATMOSFERA BOSIMI

### Torrichelli tajribasi



$$p = \rho_s g h$$

$$\rho_s = 13600 \text{ kg/m}^3$$

simobning zichligi

Normal atmosfera  
bosimi -  
760 mm sim.ust.

$$g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P = 760 \text{ mm sim.ust} = 10^5 \text{ Pa}$$

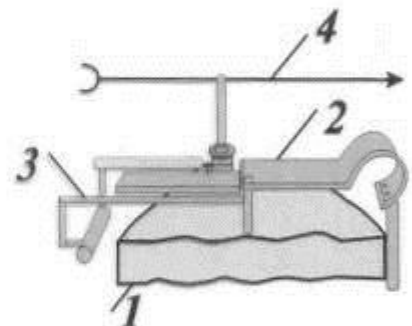
$h$  - simob ustuni  
balandligi

$$1 \text{ mm sim.ust.} = 133,3 \text{ Pa}$$

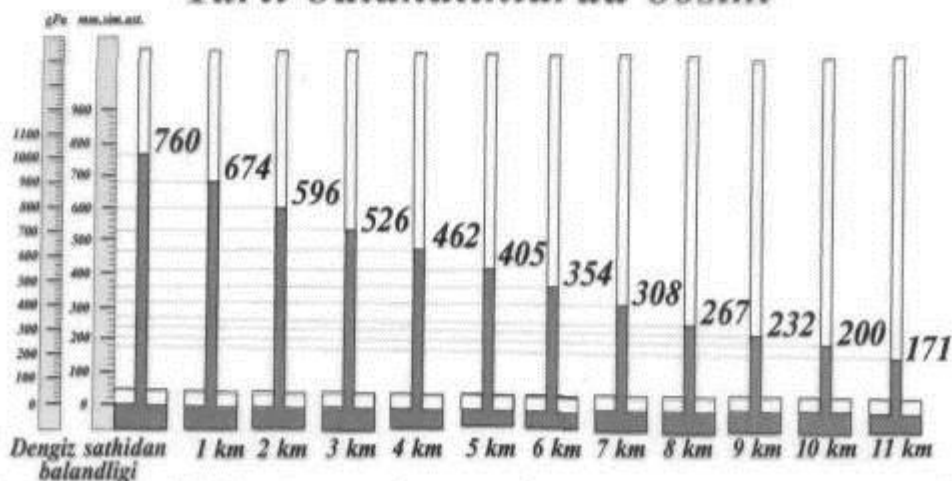


### Barometr-aneroid

1. Metall gofrirlangan membrana.
2. Prujina.
3. Uzatuvchi mexanizm.
4. Ko'rsatkich.



### Turli balandliklarda bosim



Har 12 m balandlikka ko'tarilganda bosim 1 mm sim.ust. ga kamayadi.

## 12-MA'RUZA.TERMODINAMIKA ASOSLARI.

### Reja:

**Gazning issiqlik sig'imi va uning jarayonlar turiga bog'liqligi. Adiabatik jarayon.**

**Ichki energiya va issiqlik.**

**Qaytar va qaytmas jarayonlar. Termodinamikaning I-qonuni.**

**Termodinamika I-qonunining gaz izojarayonlariga tadbiqu.**

**Klassik fizikadagi issiqlik sig'imi nazariyasining kamchiliklari.**

**Tayanch iboralar:** issiqlik sig'imi, Adiabatik jarayon, ichki energiya, termodinamikaning I – qonuni.

**Ko'rgazmali qurollar:** Gazning issiqlik sig'imiga oid slaydlar. Qaytar va qaytmas issiqlik jarayonlariga oid animatsiyalar, slaydlar. Termodinamikaning I-qonuniga oid slaydlar.

### Mavzuning borishi:

#### **1. Gazning issiqlik sig'imi va uning jarayonlar turiga bog'liqligi. Adiabatik jarayon.**

*Gazlarning issiqlik sig'imi va uning jarayonlar turiga bog'liqligi.* Bir kilogramm moddani 1<sup>o</sup> K isitish uchun kerak bo'lgan issiqlik miqdoriga teng bo'lgan kattalikka moddaning solishtirma issiqlik sig'imi deyiladi.

$$C = \frac{\delta Q}{mdT} \quad (12.1)$$

Molyar issiqlik sig'imi.

$$C_m = \frac{\delta Q}{\vartheta dT} \quad (12.2)$$

Bunda  $\nu = m/M$  mollar sonini ifodalaydigan moddaning miqdor.

Molyar issiqlik sig'imining o'lchov birligi - Jolul bo'lingan mol - Kelvinga (J/mol K) teng.

Solishtirma issiqlik sig'imi  $C_1$  molyar  $C_m$  bilan quyidagi munosabatda bog'langan

$$C_m = C_1 M \quad (12.3)$$

Biror jismning issiqlik sig'imi deb shu jismning temperaturasini bir gradusga ko'tarish uchun shu jismga berilishi zarur bo'gan issiqlik miqdoriga teng kattalikka aytiladi. Issiqlik sig'imi quyidagicha bo'ladi.

$$C_{jism} = \frac{d'Q}{dT} \quad (12.4)$$

O'lchov birligi J/grad bo'ladi.

Issiqlik sig'imi bilan solishtirma issiqlik sig'imi o'rtasida quyidagicha munosibat bor.

$$c = \frac{C}{\mu} \quad (12.5)$$

O'zgarmas hajm sharoitidagi issiqlik quyidagiga teng

$$C_v = \frac{dU}{dT} \quad (12.6)$$

*Adiabatik jarayon.* Sistema va tashqi muhit orasida issiqlik almashmasdan sodir bo'ladigan ( $\delta Q=0$ ) jarayonga adiabatik jarayon deyiladi.

Adiabatik jarayonlar ichdan yonar dvigatellarda (silindrdagi enlgi aralashmasining siqilishi va kengayishida); sovutgich mashinalarida va hokazolarda qo'llaniladi.

Adiabatik jarayoni uchun, termodinamika birinchi qonunidan ( $\delta Q = du + \delta A$ ) ko'rinadiki,

$$\delta A = -du \quad (12.7)$$

ya'ni tashqi ish sistema ichki energiyasining kamayishi hisobida bajariladi.

## 2. Ichki energiya va issiqlik.

Mexanikaviy energiyasi o'zgarmaydigan sistemalarda ish bajarilganda ular ichki energiyasi o'zgarishi hisobidan vujudga keladi. Bir jismdan ikkinchisiga energiya uzatilishning ikki: ish va issiqlik shakllari haqida gapirish mumkin. Mexanik harakat energiyasi issiqlik harakati energiyasiga va aksincha aylanish mumkin. Bunday aylanishlarda energiyaning aylanish va saqlanish qonunlariga rioya qilinadi: ko'p yillik tajribalar natijalarini umumlashtirish natijasida bu qonunni termodinamik jarayonlarga qo'llanilishi-termodinamikaning birinchi boshlanishi hisoblanadi.

Faraz qilaylik, ichki energiyaga ega bo'lgan qandaydir sistema (silindrdagi poshen ostida qamalgan gaz) qandaydir issiqlik miqdorini olgach, tashqi kuchlarga qarshi  $A$  ishini bajarib  $U_1$  ichki energiya bilan xarakterlanuvchi yangi holatga o'tsin. Agar sistemaga issiqlik miqdori berilsa, u musbat deb hisoblanadi. Tajribalar ko'rsatadiki, sistema boshlang'ich holatdan ikkinchisiga har qanday usul bilan o'tganida ham energiyaning, saqlanish qonuniga ko'ra ichki energiyaning o'zgarishi.

$$\Delta U = U_2 - U_1$$

SI sistemada issiqlik miqdori, ish va energiya bir xil birliklarda, ya'ni joullar (J) ifodalanadi.

Agar sistema davriy ravishda o'zining boshlang'ich holatiga qaytib tursa, u holda ichki energiyaning o'zgarishi  $\Delta U=0$  bo'ladi. U holda termodinamika birinchi boshlanishiga asosan,

$$A = Q \quad (12.11)$$

Ya'ni tashqaridan olingan energiyaga nisbatan ko'proq ish bajaruvchi davriy ishlaydigan dvigatel - birinchi tur abadiy dvigatel yasash mumkin emas (termodinamika birinchi boshlanishini ta'riflaridan biri).

### 3. Qaytar va qaytmas jarayonlar. Termodinamikaning I-qonuni.

*Qaytar va qaytmas jarayonlar.* Agar sistema bir necha holatlarni o'tib, yana o'zining boshlang'ich holatiga qaytib kelsa, unga aylanma jarayon deyiladi. Aylanma jarayonlar diagrammada yopiq egriliklar bilan tasvirlanadi. Ideal gaz tomonidan bajarilgan siklni gazning kengayishi (1-2) va siljish (2-) jarayonlariga bo'lish mumkin.

Binobarin sikl davomida gaz tomondan bajarilgan ish yopiq egrilik bilan chegaralangan yuz kattaligi bilan aniqlanadi. Agar sikl davomida musbat ish bajarilsa,  $A = \int P dV > 0$  (sikl soat strelkasi yo'nalishda o'tadi), unga to'g'ri sikl

deyiladi. Agar ikki davomida manfiy ish bajarilsa,  $A = \int P dV < 0$  (sikl soat strelkasi yo'nalishiga qarama - qarshi yo'nalgan), unga teskari sikl deyiladi.

To'g'ri sikl tashqaridan olingan issiqlik hisobida ish bajarib, davriy ravishda ishlovchi dvigatellarda - issiqlik dvigatellarida bajariladi.

Teskari sikl tashqi kuchlar hisobida harorat yuqoriroq bo'lgan jismga issiqlik ko'chiradigan davriy ishlovchi qurilmalar - sovutgich mashinalarida ishlatiladi.

Aylanma jarayon natijasida sistema o'zining boshlang'ich holatiga qaytadi, binobarin, gaz energiyasining to'la o'zgarishi nolga teng bo'ladi.

*Termodinamikaning birinchi qonuni.* Termodinamik sistemalarda o'tadigan muvozanatli jarayonlar orasida asosiy holat parametrlardan bittasi o'zgarmasdan qoladigan izojarayonlar ajralib turadi. Sistemaga berilgan issiqlik miqdori sistemaning ichki energiyasini oshirishga va sistemaning tashqi jismlar ustida ish bajarishiga sarflanadi.

$$\Delta'Q = \Delta U + \Delta'A \quad (12.15)$$

$$d'Q = dU + d'A \quad (12.16)$$

$$Q = (U_2 - U_1) + A \quad (12.17)$$

$$\int_1^2 d'A = A_2 - A_1 \quad (12.18)$$

Tizimga atrofdagi jismlar bergan issiqlik miqdori tizim ichki energiyasini o'zgartirishga va tizimning tashqi jismlar ustida ish bajarishiga sarflanadi.

$$Q = \Delta U + A, \quad (12.19)$$

$$A = -\Delta U = -(U_2 - U_1) = U_1 - U_2 \quad (12.20)$$

sistema olgan issiqlik miqdori  $Q$  va sistemaning tashqi kuchlarga qarshi bajargan  $A$  - ishning farqiga teng va bir xil bo'ladi:

$$\Delta U = Q - A \text{ yoki } Q = \Delta U + A \quad (12.8)$$

Tenglama termodinamika birinchi bosh qonunini ifodalaydi. Bu ifoda differentsial shaklda quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi.

$$dQ = dU + dA \quad (12.9) \qquad \delta Q = dU + \delta A \quad (12.10)$$

$dU$  elementar ichki energiyasining cheksiz kichik o'zgarishi,  $\delta A$  elementar ish  $\delta Q$  – cheksiz kichik issiqlik miqdori. Bu ifodada  $dU$  to'la differentsial bo'lib,  $A$  va  $\delta Q$  lar esa unday hisoblanmaydi. Bundan keyin termodinamika birinchi bosh qonuni shaklidagi ifodadan foydalanamiz.

#### 4. Termodinamika I-qonuning gaz izojarayonlariga tadbiqu.

*Termodinamika birinchi qonuning qo'llanilishi.*

*Izobarik jarayon:*

$$Q = \Delta U + A = U_2 - U_1 + p(V_2 - V_1) = \\ = (U_2 + p_2 V_2) - (U_1 + p_1 V_1).$$

**Izoxorik jarayon.** Bu protsess sodir bo'layotganda ideal gazning hajmi o'zgarmaydi ( $V = \text{const}$ ), bosimi esa o'zgaradi. Shu sababli izoxorik protsessning ( $p, V$ ) diagrammadagi grafifi ordinata o'qi ( $p$  o'qi) ga parallel bo'lgan to'g'ri chiziqdan iborat. Hajm o'zgarmaganligi tufayli izoxorik protsessda ish bajarilmaydi, ya'ni  $A = 0$ . Natija termodinamika birinchi bosh qonunining izoxorik protsess uchun

$$Q = \Delta U$$

ko'rinishga keladi. Demak, izoxorik protsessda ideal gazga beriladigan issiqlik miqdorining hammasi gazning ichki energiyasini o'zgartirishga sarflanadi.

**Izotermik protsess.** Mazkur protsess o'zgaras temperatura ( $T = \text{const}$ ) da amalga oshadi. Izotermik protsessning ( $p, V$ ) diagrammadagi grafifi – giperpolik egri chiziqdir. Izotermik protsessda temperatura o'zgarmaganligi tufayli ideal gazning ichki energiyasi ham o'zgarmaydi, ya'ni  $\Delta U = 0$ . Shuning uchun termodinamikaning birinchi bosh qonuni izotermik protsess uchun

$$Q = A$$

ko'rinishda yoziladi. Demak, izotermik protsessda ideal gaz olayotgan issiqlik miqdorining hammasi ish bajarishga sarflanadi.

Adiabatik kengayish protsessida 1 mol' ideal gaz bajargan ishning temperatura va hajm orqali ifodalangan formulasi

$$A = C_V T_1 \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right]$$

(12.21)

yoki temperatura va bosim orqali ifodalangan formualsi



$$A = C_{\vartheta} T_1 \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]$$

(12.22)

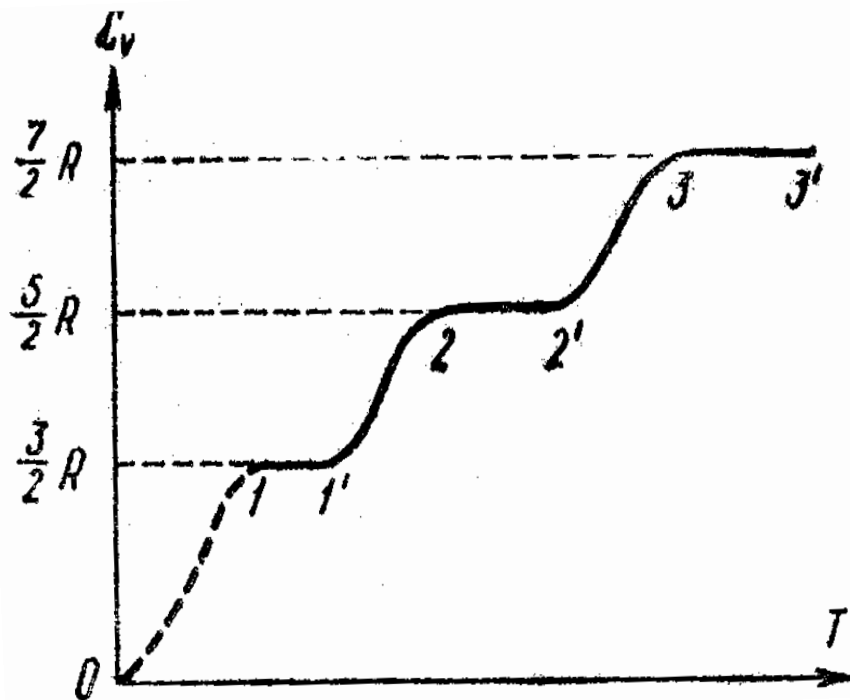
**5. Klassik fizikadagi issiqlik sig'imi nazariyasining kamchiliklari.** Klassik fizikada gazning solishtirma issiqlik sig'implari shu gazni tashkil etgan molekulalarni erkinlik darajasiga "i" bog'liq

$$C_{\vartheta} = \frac{i}{2} R \quad (12.23)$$

$$C_p = \frac{i+2}{2} R \quad (12.24)$$

Bu tenglamalardan ko'rinadikim, issiqlik sig'implar haroratga bo'g'liq emas.

Tajribada bir kilomol' vodorodni  $C_{\vartheta}$  issiqlik sig'imi bilan temperatura "T" orasidagi bog'lanishining tajribada topilgan qiymatlarini ko'rib chiqamiz.



(12.1)

Rasmdan ko'rinishicha  $C_{\vartheta}$  ni T ga bog'liq bo'lmagani faqatgina haroratni ma'lum intervaldagi qiymatlariga mos keladi. 1-1', 2-2', 3-3'.

1-1' qismida  $C_{\vartheta}$  issiqlik sig'imi  $3/2R$  ga teng. Demak, molekula o'zini faqat ilgari tanima erkinlik darajalariga ega bo'lgan sistema kabi tutadi. 2-2' qismida  $C_{\vartheta}$  issiqlik sig'imi  $5/2R$  ga teng. Binobarin, bu qismga tegishli temperaturalarda molekulada ancha pastroq temperaturalarda namoyyn

bo'ladigan uchta ilgarilanma erkinlik darajalariga yana ikkita aylanma erkinlik darajasi qo'shiladi. Nihoyat, yetarli darajada yuqori temperaturalarda  $C_v$  issiqlik sig'imi  $\frac{7}{2}R$  ga teng bo'lib qoladi, bu hol esa bunday temperaturalarda molekula tebranma harakat qilishidan dalolat beradi. Issiqlik sig'imi erkinlik darajalrining butun bo'lmagan o'zgaruvchi soniga mos kelganday bo'ladi.

Past temperaturalarda molekulalar faqat ilgarilanma harakat qiladi. Yuqoriroq temperaturalarda molekulalar ilgarilanma harakat qilishi bilan birga aylanadi ham. Nihoyat yanada yuqoriroq temperaturalarda harakatning oldingi ikkita turiga molekulalarning tebranma harakati ham qo'shiladi. Issiqlik sig'imi egri chizig'ining monoton yurishidan shu narsa ko'rinadiki, bunda aylanma, so'ngra esa tebranma harakat qilishga molekulalarning hammasi birdaniga kirishmaydi. Avval, masalan, molekulalarning ozroq qismi aylanma harakatga keladi. Temperatura ko'tarilishi bilan bunday molekulalar soni orta borib, ma'lum bir temperaturaga erishilgach, molekulalarning deyarli hammasi aylanma harakat qiladigan bo'ladi. Molekulalarning tebranma harakati uchun ham shunday hodisa sodir bo'ladi.

Issiqlik sig'imining xarakteri bunday bo'lishi sababini kvant mexanikasi sharxlab beradi. Kvant nazariyasining ko'rsatishicha, molekulalarning aylanma va tebranma harakatlari energiyasi kvantlangan bo'ladi. Buning ma'nosi shuki, molekulaning aylanma harakat energiyasi va tebranish energiyasi ixtiyoriy qiymatlarga emas, balki faqat diskret qiymatlarga (ya'ni bir-biridan chekli miqdorda farq qiluvchi alohida qiymatlarga) ega bo'ladi. Binobarin, harakatning bu turlariga tegishli bo'lgan energiya faqat sakrab o'zgarishi mumkin. Ilgarilanma harakat energiyasi uchun esa bunday cheklanish yo'q, ya'ni u uzluksiz o'zgaradi.

Shunday qilib, klassik fizikada keltirilgan issiqlik sig'imi tushunchalari faqatgina ayrim temperatura intervallari uchun o'rinli bo'ladi. Haroratni qolgan qismlardagi issiqlik sig'imini qiymatlar o'zgarishini Kvant nazariyasiga asosan tushuntirilishi mumkin.

### **Mavzuni mustahkamlash uchun savollar**

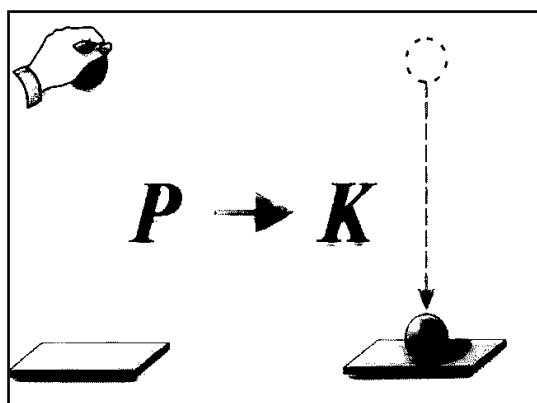
1. Termodinamika nimani o'rganadi?
2. Ichki energiya birligi qanday aniqlanadi.
3. Qaytar jarayon nima?
4. Qaytmas jarayon nima?
5. Qaytar jarayoni qatmas jarayonlarnidan nimasi bilan farq qiladi.

### **Uyga vazifa**

- 1) Internet saydlardan termodinamika bazasini to'ldirish.
- 2) issiqlik sig'imi noma'lum jismni issiqlik sig'imini aniqlash.

## 12-MA'RUZANING ILOVALARI

### Ichki energiyaning almashinishi

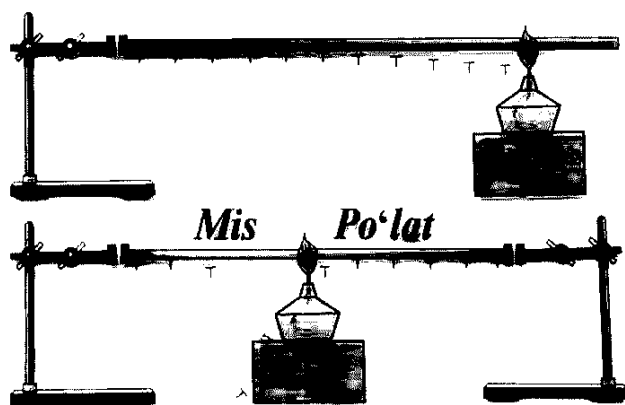


*Molekulalarning kinetik va potensial energiyalari yig'indisi moddaning ichki energiyasi deyiladi.*

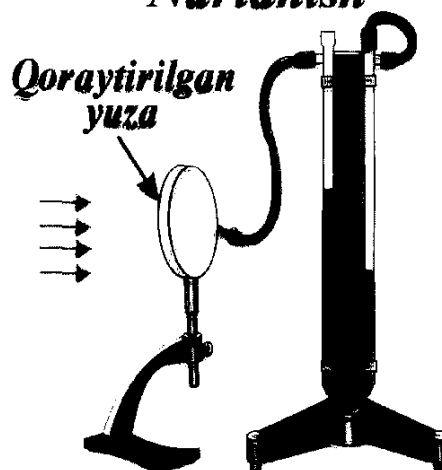
*Ichki energiyani ikki usul bilan o'zgartirish mumkin:*

*1) mexanik ish bajarib,*

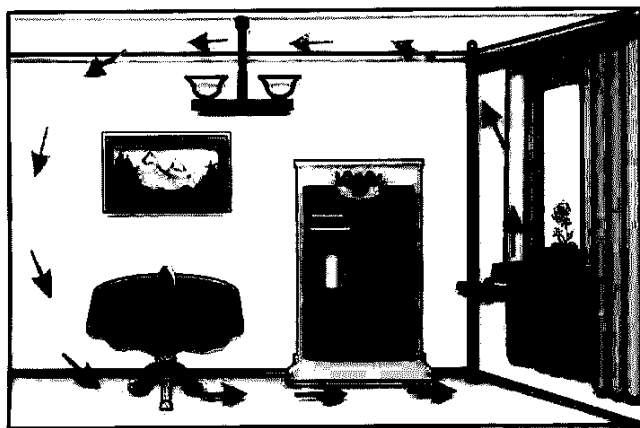
### *Issiqlik o'tkazuvchanlik*



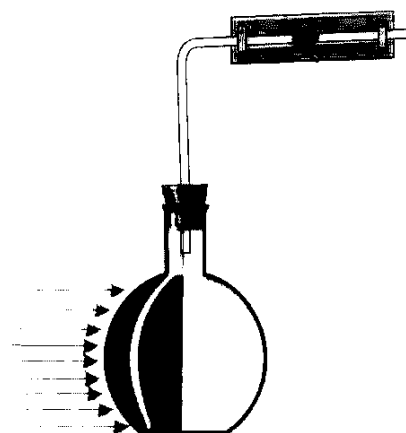
### *Nurlanish*



### *Konveksiya*



### *Nurlanish*



## 13-MA'RUZA. KO'P ATOMLI GAZLARNING ISSIQLIK SIG'IMI. TERMODINAMIKA II VA III QONUNI

1. **Termodinamika II qonuni. Karno sikli. Issiqlik mashinalarining foydali ish koeffitsiyenti.**

2. **Termodinamika III qonuni.**

3. **Entropiya. Entropiya o'sish prinsipi. Yakkalangan muvozanatsiz holatdagi**

**tizim. Entropiyasining makroholat statistik vazni orqali o'rganish.**

**Tayanch iboralar:** termodinamika qonunlari, termodinamikaning ikkinchi qonuni, karno sikli, entropiya, termodinamikaning uchinchi qonuni.

**Ko'rgazmali qurollar:** Termodinamika asoslariga oid slaydlar. Termodinamika asoslariga oid animatsion dastur. Termodinamika asoslariga oid plakatlar.

### **O'tilgan mavzuni takrorlash**

1. Termodinamika nimani o'rganadi?
2. Ichki energiya birligi qanday aniqlanadi.
3. Qaytar jarayon nima?
4. Qaytmas jarayon nima?
5. Qaytar jarayoni qatmas jarayonlardan nimasi bilan farq qiladi.

### **Mavzuning borishi**

1. **Termodinamika II-qonuni. Karno sikli. Issiqlik mashinalarining foydali ish koeffitsiyenti.**

**Termodinamikaning II-qonuni. Ta'riflar:**

1. **Klauzius ta'rifi.** *Kamroq isigan jismdan ko'proq isigan jismga issiqlik o'z-o'zidan o'ta olmaydi.*

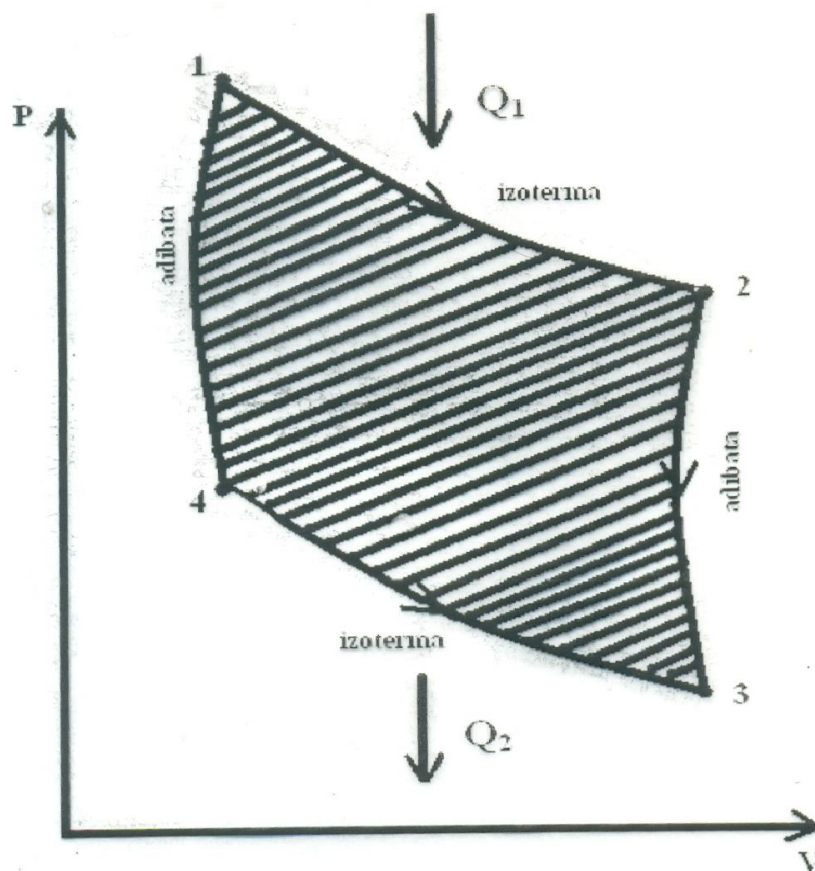
2. *Yagona oxirgi natijasi kamroq isigan jismdan ko'proq isigan jismga issiqlik berilishidan iborat bo'lgan protsseslar amalga oshmaydi.*

3. **Kelvin tar'fi.** *Birdan-bir oxirgi natijasi biror jismdan m'lum miqdor issiqlik olish va bu issiqlikni butunlay ishga aylantirib yuborishdan iborat bo'ladigan jarayonlar amalga oshmaydi.*

Termoqdinamikaning ikkinchi asosi ta'qiqlaydigan jarayonlardan foydalanib, energiyaning okean kabi bitmas-tuganmas manbaidan olinadigan issiqlik hisobiga ish bajaruvchi dvigatel yaratish mumkin bo'lar edi. Amalda bunday dvigatel abadiy dvigateldan farq qilmagan bo'lar edi.

4. *Ikkinchi xil perpetuum mobile, ya'ni issiqlikni bir rezervuardan oladigan va bu issiqlikni butunlay ishga aylantiradigan davriy ravishda ishlovchi dvigatel yaratish mumkin emas.*

Termodinamika II-qonuni asosida ishlaydigan mashinalarning p, V diagrammasi quyidagi ko'rinishga ega



(13.1)

Bu mashinalarining foydali ish koeffitsiyenti quyidagicha aniqlanadi:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

(13.1)

$$A = A_{12} + A_{23} - A_{34} - A_{41} = Q_1 - Q_2$$

(13.2)

Shunga ko'ra, aylanma jarayon uchun termodinamikaning birinchi boshlanishi

$$Q = \Delta u + A = A \quad (12.12)$$

Ya'ni sikl davomida bajarilgan ish, tashqaridan olingan issiqlik miqdoriga teng. Ammo, sistema aylanma jarayon natijasida issiqlik olishi va issiqlik berishi mumkin, shu sababli

$$Q = Q_1 - Q_2 \quad (12.13)$$

Bunda  $Q_1$  -sistamani olgan issiqlik miqdori  $Q_2$  - sistema bergan issiqlik miqdori. Shuning uchun aylanma jarayon uchun termik foydali ish koeffitsenti

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (12.14)$$

Agar termodinamik sistema to'g'ri va teskari yo'nalishlarda o'ta olishi agar bunday jarayon dastlab to'g'ri, so'ngra esa teskari yo'nalishda o'tib, sistemada va atrof muhitda hech qanday o'zgarishi yuz bermasdan o'zining boshlang'ich holatiga qaytsa, unga qaytarli jarayon deyiladi. Bu sharoitni qanoatlantirmaydigan barcha jarayonlar qaytarsiz hisoblanadi.

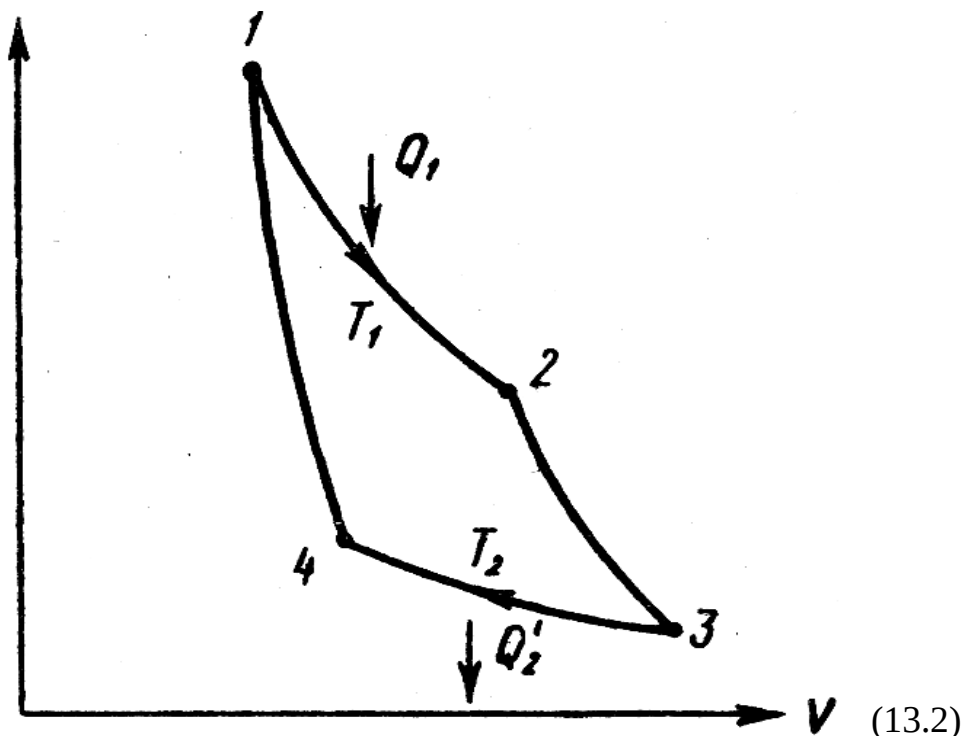
Har qanday muvozanatli jarayon qaytmas hisoblanadi.

**Karno sikli.** Karno termodinamika ikkinchi qonunniga asoslanib o'zining teoremasini chiqardi: istigichning harorati barcha davriy ishlovchi issiqlik mashinalaridan qaytar jarayonli mashinalarda eng katta foydali ish koeffitsientiga ega bo'ladi, bunda isitgich harorati  $T_1$  va sovutgich harorati  $T_2$  bir xil haroratlarda ishlovchi qaytar mashinalarning f.i.k.lari bir – biriga teng bo'lib, ishchi jismning tabiatiga bog'liq bo'lmaydi.

Issiqlik almashish yuz beradigan jarayon davomida jismning temperaturasi tegishli rezervuarning temperaturasiga teng bo'lib qolgandagina bu jarayon qaytuvchan jarayon bo'lishi mumkin.

Issiqlik sig'imi cheksiz katta bo'lgan ikki issiqlik rezervuari bilan issiqlik almashishda qatnashadigan jism (yoki sistema) bajaradigan qaytuvchan sikl faqat ikkita izoterma (rezervuarlar temperaturasida) va ikkita adiabatadan iborat bo'la oladi, degan xulosaga keldik. Bunday siklni birinchi bo'lib fransuz injeneri Sadi Karno tekshirgan bo'lib, u Karno sikli deb ataladi. Karno sikli qaytuvchan sikldir.

Karno ikkita izoterma va ikkita adiabatdan iborat eng samarali bo'lgan qaytar siklni nazariy tarzda tahlil etdi. Ishchi jism ideal harakatdagi porshen ostidagi idishda qamalib, karnoning to'g'ri siklini bajarsin.



Karno sikl unda 1-2 va 3-4 egriliklar izotermik kengayish va siqilishiga mos keladi, 2-3 va 4-1 egriliklar esa adiabatik kengayish va siqilishiga mos keladi. Izotermik jarayonda  $U=\text{const}$  shu sababga ko'ra gaz bajargan ish istigichdan olingan issiqlik miqdori  $Q_1$  va sovutichga berilgan issiqlik miqdori  $Q_2$  hamda isitgich temperaturasi  $T_1$  sovutgich temperaturasi  $T_2$  ga bog'liq bo'ladi. Bu vaqtda mashinaning f.i.k.

***Issiqlik mashinalarining foydali ish ko'effitsiyenti.*** Karno sikli asosida ishlaydigan mashinalarning foydali ish ko'effitsiyenti

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2'}{Q_1} \quad (13.3)$$

Izotermik jarayonda gaz  $Q_1$  issiqlik miqdori olishi natijasida bajarilgan ish quyidagicha topiladi:

$$Q_1 = A_{12} = \frac{m}{\mu} RT_1 \ln \frac{g_2}{g_1} \quad (13.4)$$

Tizim ish bajarilgandan keyin  $Q_2'$  issiqlik miqdori beradi va bu vaqtda tizimning bajargan ishi

$$Q_2' = A_{34}' = \frac{m}{\mu} RT_2 \ln \frac{g_3}{g_4} \quad (13.5)$$

Sikl yopiq bo'lganligi uchun 4, 1 hamda 2, 3 holatlar adiabatik jarayon bo'lganligi uchun

$$T_1 g_1^{\gamma-1} = T_2 g_4^{\gamma-1} \quad (13.6)$$

$$T_1 g_2^{\gamma-1} = T_2 g_3^{\gamma-1} \quad (13.7)$$

Bu vaqtda siklning foydali ish ko'effitsiyenti

$$\eta = \frac{\frac{m}{\mu} RT_1 \ln \frac{g_2}{g_1} - \frac{m}{\mu} RT_2 \ln \frac{g_3}{g_4}}{\frac{m}{\mu} RT_1 \ln \frac{g_2}{g_1}} \quad (13.8)$$

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

(13.9)

Shunday qilib, ikkita izoterma va ikkita adiabata sikli asosida ishlaydigan mashinalarning maksimal foydali ish koeffitsiyenti faqatgina isitgich va sovutgichlarning harorat miqdoriga bog'liq.

**2. Termodinamika III qonuni.** Sistemaning entropiyasi bilan uning holati ehtimoli o'rtasida ma'lum bir bog'lanish bo'lishi kerak, degan xulosa kelib chiqadi. Bol'tsman bu bog'lanish quyidagicha ko'rinishga ega ekamligini ko'rsatdi:

$$S = k \ln W$$

bu yerda  $k$  – Bol'tsman doimiysi,  $W$  – sistema holatining termodinamik ehtimoli; sistema holatining termodinamik ehtimoli deganda sistemaning shu holatini amalga oshiradigan turli xil usullarning soni tushuniladi.

Sistemaning ayni holatdagi entropiya miqdori

$$\int_1^2 \frac{dQ}{T} = \int_1^2 dS = S_2 - S_1 \quad \text{qaytuv} \quad (13.10)$$

Demak, entropiya aditiv kattalik. Sistema entropiyasi uning ayrim qismlarning entropiyalar yig'indisiga teng.

$$\text{Nernet teoremasiga ko'ra: } S = \int_0^T \frac{C_p(T) dT}{T} \quad (13.11)$$

Izolyatsiyalangan sistemaning entropiyasi faqat ortishi yoki doimiy qolaverishi mumkin. Izolyatsiyalangan sistemaning entropiyasi kamayishi mumkin emas.

$$\Delta'Q = T \Delta S \quad (13.12)$$

$$Q_{12}=T_1(S_1-S_2), \quad Q_{31}=T_2(S_2-S_1) \quad (13.13)$$

$$Q=Q_{12}+Q_{34}=T_1(S_1-S_2)+T_2(S_2-S_1)=(T_1-T_2)(S_1-S_2) \quad (13.14)$$

Termodinamikaning uchinchi qonuniga ko'ra issiqlik miqdori temperaturasi past bo'lgan jismdan temperaturasi yuqori bo'lgan jismga o'z-o'zidan berilmaydi.



### 3. Entropiya. Entropiya o'sish prinsipi. Yakkalangan muvozanatsiz holatdagi tizim. Entropiyasining makroholat statistik vazni orqali o'rganish.

**Entropiya.** Entropiya grekcha so'z holat o'zgarishi, o'tish, aylanish (превращение) bildiradi. Entropiya so'zini 1855 yilda nemis fiziki Klazius kiritgan. Klazius ta'biriga issiqlikni ishga aylanishi ma'lum fizik qonuniyatiga bo'ysunadi. Agar termodinamik tizim Kvazi statistik (juda sekin) sikl jarayinini sodir etish natijasida issiqlikni kichik qismini  $dQ$  olganda, bu issiqlikni temperaturaga nisbati butun sikl bo'yicha nolga teng bo'ladi. Ya'ni

$$\int \frac{dQ}{T} = 0 \quad (13.15)$$

bu yerda  $\frac{dQ}{T}$  - ga keltirilgan issiqlik miqdori deyiladi.

Entropiya yopiq siklda mashina mexanizimning olgan issiqlik miqdorining haroratga nisbati nolga teng.

$$\sum_0 \frac{\Delta Q}{T} = 0 \quad (13.16)$$

Yopiq sirt 1 chi 2 chi tugunlar orasida hosil bo'lsa,

$$\sum_{1 \rightarrow 2} \frac{\Delta Q_1}{T} + \sum_{2 \rightarrow 1} \frac{\Delta Q_2}{T} = 0 \quad (13.17)$$

$$\left( \frac{\Delta Q}{T} \right) = \Delta S = S_2 - S_1$$

(13.18)

Entropiya tushunchasi va Klavizius tengsizligidan foydalanib termodinamika ikkinchi qonuni qaytmas jarayonda yopiq sistema entropiyasining o'zini qonuni shaklida ta'riflash mumkin yopiq sistemada har qanday jarayon shunday o'tadiki, bunda sistmaning entropiyasi ortadi. Termodinamika ikkinchi boshlanishiga ancha ixcham ta'rif berish mumkin: yopiq sistemada o'tuvchi jarayonlarda entropiya kamaymaydi.

Bo'ltzman ta'rifiga asosan entropiyaning ortishi sistemani ozroq ehtimolli holatdan ko'proq ehtimolli holatdan ko'proq ehtimoliga o'tishligini bildiradi. Termodinamika ikkinchi boshlanishining yana ikkita ta'rifini keltiramiz.

1) Kelvin bo'yicha: Birdan – bir natijasi isitgichdan olingan issiqlikni ekvivalent miqdoridagi ishga aylantiruvchi aylanma jarayon bo'lishi mumkin emas.

2) Klauzius bo'yicha: Birdan –bir natijasi sovuqroq jismdan issiqroq jismga issiqlikning uzatilishi hisobiga o'tuvchi aylanma jarayon bo'lishi mumkin emas.

Berk kontur bo'yicha integralni nolga teng bo'lsa, integral ostidagi ifoda jism holatini xarakterlovchi biror funksiyasining to'liq differensial bo'ladi. Klazius bu funksiyani *entropiya* deb atadi. Uni  $S$  harfi bilan belgilaylik:

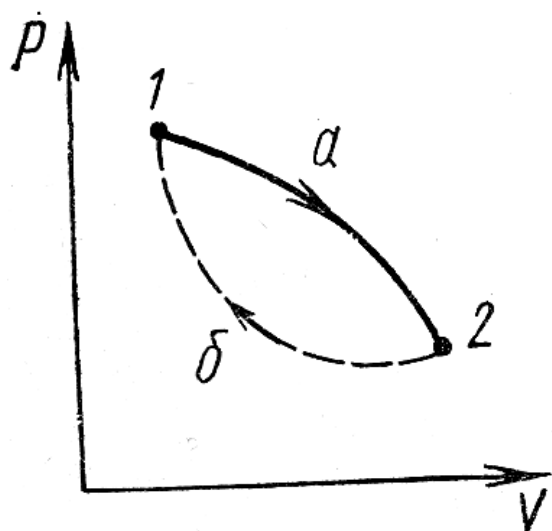
$$dS = \frac{\delta Q}{T} \quad (13.19)$$

Jismning har bir holatiga entropiyaning aniq bitta qiymati mos keladi. Binobarin, xuddi ichki energiya kabi entropiya ham holatning bir qiymatli funksiyasidir. Qaytuvchan jarayon tufayli 1 holatdan 2 holatga o'tgan jism entropiyasining o'zgarishi ( $\Delta S$ ) o'tish yo'liga bog'liq emas,  $\Delta S$  ning qiymati boshlang'ich va oxirgi holatlar bilan aniqlanadi:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_{1 \rightarrow 2} \frac{\delta Q}{T} \quad (13.20)$$

**Entropiyaning o'sish prinsipi.** Qaytmas siklning foydali ish koeffitsiyenti

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} < \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (13.21)$$



bu vaqtda  $\frac{dQ}{T} < 0$  bunga Klazius tengsizligi deyiladi.

Qaytmas jarayon uchun  $1 \rightarrow 2$  jarayon quyidagi rasmda keltirilgan.

(13.3)

Mazkur siklni tashkil etgan jarayonlardan biri (1a2) qaytmas jarayon edi. Bu qaytmas sikl uchun

Klauzius tengsizligi o'rinli. Lekin

$$\oint_{1a2b1} \frac{\delta Q}{T} = \int_{1a2} \frac{\delta Q}{T} + \int_{2b1} \frac{\delta Q}{T} \quad (13.22)$$

$$\int_{1a2} \frac{\delta Q}{T} + \int_{2b1} \frac{\delta Q}{T} < 0 \quad (13.23)$$

Bundagi ikkinchi integral qaytuvchan jarayonga tegishli. Shuning uchun

$$\int_{2b1} \frac{\delta Q}{T} = S_1 - S_2$$

(13.24)

Natijada tengsizlik quyidag ko'rinishga keladi:

$$\int_{2 \rightarrow 1} \frac{\delta Q}{T} + S_1 - S_2 < 0$$

(13.25)

Demak, qaytmas  $1 \rightarrow 2$  jarayonda sistema entropiyasining o'zgarishi

$$\Delta S = S_2 - S_1 > \int_{1 \rightarrow 2} \frac{\delta Q}{T}$$

(13.26)

tengsizlikni qanoatlantiradi.

U vaqtda

$$\Delta S = S_2 - S_1 \geq \int_{1 \rightarrow 2} \frac{\delta Q}{T}$$

(13.27)

Bundagi tenglik ishorasi qaytuvchan jarayonga, tengsizlik ishorasi esa qaytmas jarayonga tegishli.

Agar sistema issiqlik manbalaridan izolyatsiyalangan (ya'ni  $\delta Q=0$ ) bo'lsa

$$\Delta S = S_2 - S_1 \geq 0$$

(13.28)

ko'rinishga ega bo'ladi. Demak, berk (ya'ni adiabatik tarzda izolyatsiyalangan) sistemada qaytuvchan jarayon amalga oshganda entropiya o'zgarmaydi, qaytmas jarayon sodir bo'lganda esa entropiya ortadi. Mazkur fikr termodinamika ikkinchi bosh qonunining yana bir ta'rifidir.

**Yakkalangan muvozanatsiz holatdagi tizim entropiyasi makroholat statistik vazn orqali o'rganish.** Tabiatda qaytuvchan jarayonlar bo'lmaydi, shu sababli izolyatsiyalangan sistemaning entropiyasi barcha jarayonlarda ortishi lozim. Haqiqatan, temperaturasi  $T_1$  bo'lgan jismdan  $T_2$  temperaturali jismga  $\delta Q$  issiqlik miqdori o'tishi natijasida bu ikki jismdan tashkil topgan sistema entropiyasining o'zgarishi

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \delta Q \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) = \frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2} \delta Q$$

(13.29)

ifoda bilan aniqlanadi. Agar  $T_1 > T_2$  bo'lsa  $\Delta S > 0$ , aksincha,  $T_2 > T_1$  bo'lgan holda  $\Delta S < 0$ . Shuning uchun issiqroq jismdan sovuqroq jismga issiqlik miqdorining o'tishi sodir bo'ladi, lekin teskari jarayon amalga oshmaydi.

Termodinamik jarayonlarni statistik fizika ham o'rganadi. Statistik fizikadan jarayonning amalga oshish yoki oshmasligi sistema holatining termodinamik ehtimolligi ( $W$ ) bilan bog'liq. Sistema hoaltining termodinamik ehtimolligi va entropiyasi orasida

$$S = k \ln W \quad (13.30)$$

bog'lanish mavjudligi Bol'tsman tomonidan aniqlanadi. Bunda  $k$  – Bol'tsman doimiysi. Bol'tsman formulasi deb yuritiladigan munosabat quyidagicha ta'riflanadi: *ixtiyoriy izolyatsiyalangan sistema entropiyasi – shu sistema holatining termodinamik ehtimolligi logarifmiga proportsionaldir*. Bu ta'rif termodinamika ikkinchi bosh qonunining asosiy ta'riflaridan biri hisoblanadi. Bol'tsman nomi bilan yuritiladigan yuqoridagi ta'rifni quyidagicha bayon qilsa ham bo'ladi: *tabiatdagi barcha jarayonlar sistema holatining termodinamik ehtimolligi ortadigan yo'nalishda sodir bo'ladi*. Ikkinchi bosh qonunining statistik xarakterga egaligini aks ettiruvchi mazkur ta'rif hisoblanadi.

**Statistik og'irlik.** Agar tizim energiyasi uzluksiz qiymatlar qatorini olib bilganda ma'lum qiymatli energiyalar intervaliga ega bo'lgan holatlar soniga statistik vazn deyiladi. Entropiyaning kichik qiymatlar o'zgarish kattaligi termodinamika I va II qonunini umumlashgan tenglamasini beradi:

$$d\varepsilon = dA + TdS \quad (13.31)$$

bu tenglama qaytmas jarayonlar uchun bo'lib, qaytarimli jarayonlar uchun

$$\frac{\partial F}{\partial T} = - S$$

(13.32)

bo'ladi. Bu yerda  $F$  – jism erkin entropiyasi.

Shunday qilib, statistik vazn orqali jarayon qaytarimli yoki qaytmas ekanligini aniqlab, undagi jarayonlarni o'rganish mumkin.

### **Mavzuni mustahkamlash uchun savollar**

1. Termodinamika ikkinchi qonunini deb nimaga aytiladi?
2. Termodinamika birinchi qonuni bilan ikkinchi qonuning farqi nimada?
3. Karno sikli nima?
4. Entropiya nima?
5. Statistik og'irlik deb nimaga aytiladi?
6. Yakkalangan muvozanatsiz holatdagi tizim entropiyasi makroholat statistik vazn orqali o'rganish haqida tushuncha bering.

### **Uyga vazifa:**

- 1) Termodinamika qonunlarini mutaxassis yo'nalishdagi o'rni.

**13-MA'RUZANING ILOVALARI**  
**SLAYDLAR**

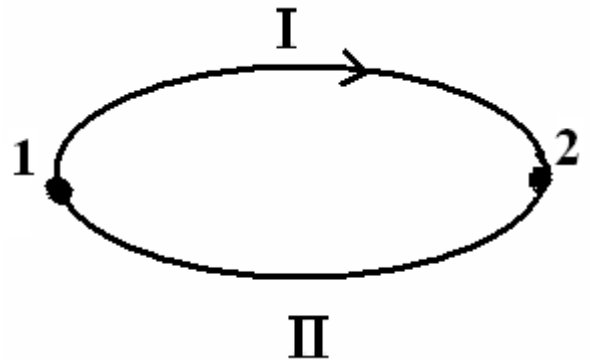
$$(U_m)_{real} = C_V T - \frac{a}{V_m}; \quad dQ = (U_2 - U_1) + dA = 0;$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = \frac{a}{C_V} \left( \frac{1}{V_{M_2}} - \frac{1}{V_{M_1}} \right);$$

$$C_V T_1 - \frac{a}{V_{m_1}} = C_V T_2 - \frac{a}{V_{m_2}}; \quad (U_m)_{ideal} = \frac{i}{2} RT = C_V T$$

**ENTROPIYA**

$$\sum \frac{\Delta Q}{T} = 0;$$



$$\sum_{1 \rightarrow 2} \frac{\Delta Q}{T} + \sum_{2 \rightarrow 1} \frac{\Delta Q}{T} = 0;$$

$$\sum_{1 \rightarrow 2} \frac{\Delta Q}{T} - \sum_{1 \rightarrow 2} \frac{\Delta Q}{T} = 0;$$

$$\sum_{1 \rightarrow 2} \frac{\Delta Q}{T} = \sum_{1 \rightarrow 2} \frac{\Delta Q}{T}$$

I                      II                      I                      II

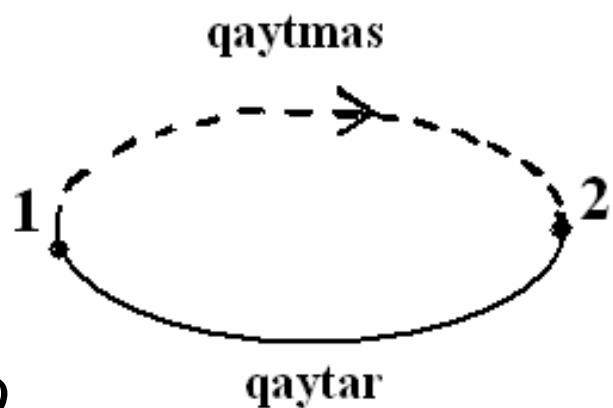
$$\left( \frac{\Delta Q}{T} \right)_{qayt} = \Delta S;$$

$$\frac{\Delta Q}{T} = S_2 - S_1;$$

$$\int_1^2 \frac{dQ}{T} = \int_1^2 dS = S_2 - S_1$$

ENTROPIYA XOSSALARI

$$\sum_0 \frac{\Delta Q}{T} < 0;$$



$$\sum_{1 \rightarrow 2} \frac{\Delta Q}{T} + \sum_{2 \rightarrow 1} \frac{\Delta Q}{T^{18}} < 0;$$

$$\sum_{2 \rightarrow 1} \frac{\Delta Q}{T} = S_1 - S_2;$$

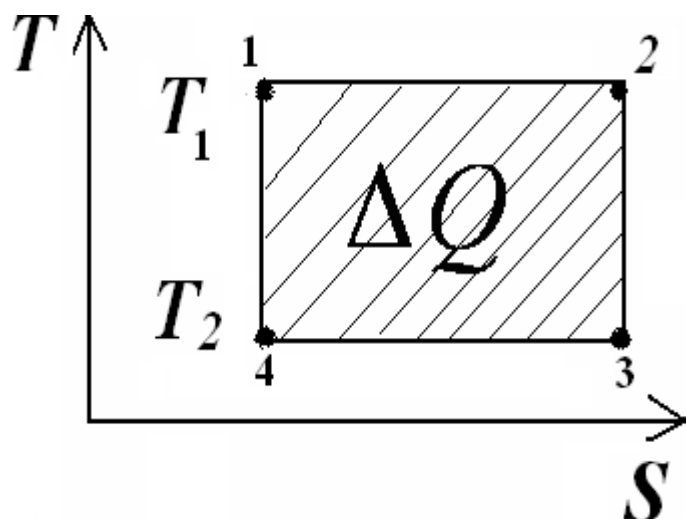
$$\sum_{1 \rightarrow 2} \frac{\Delta Q}{T} + (S_1 - S_2) < 0;$$

$$S_2 - S_1 \geq \sum_{1 \rightarrow 2} \frac{\Delta Q}{T};$$

qaytmas

#### YOPIQ SIKLDAGI ENTROPIYA XOSSALARI

$$\Delta S \geq \frac{\Delta Q}{T}; \quad \Delta S \geq 0$$



#### *Izolyasiyalangan tizim*

*Entropiyasi qaytmas jarayonda faqat ortadi, qaytar jarayonda entropiya kamayadi yoki o'zgarmaydi. Adiabatik jarayonda entropiya o'zgarmaydi va izo entropiya deyiladi.*

$$\Delta Q = T \cdot S; \quad Q = T (S_2 - S_1);$$

$$Q_{12} = T_1 (S_1 - S_2);$$

$$Q_{34} = T_2 (S_2 - S_1)$$

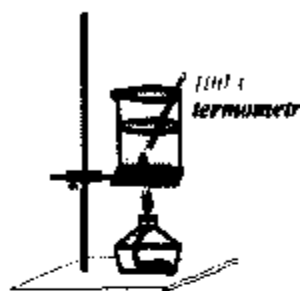
$$\begin{aligned} Q &= Q_{12} + Q_{34} = T_1 (S_1 - S_2) + T_2 (S_2 - S_1) = \\ &= (T_2 - T_1) (S_2 - S_1) \quad \text{sikl yuzasi} \end{aligned}$$



## Termodinamikaning ikkinchi qonuni

*Agar sovuqroq sistema bilan issiqroq sistemaning ikkalasida yoki atrofdaagi jismlarda ayni bir paytda boshqa o'zgarishlar bo'lmasa, sovuqroq sistemadan issiqroq sistemaga issiqlik o'tkazib bo'lmaydi.*

### Isitish



$$Q = cm(t_2 - t_1) = cm \Delta t$$

$Q$  - isitishga sarflangan issiqlik (J)

$C$  - moddaning solishtirma issiqlik sig'imi (J/kg K°)

$t_2 - t_1$  - temperaturalar farqi (°K)

$m$  - modda massasi (kg)

### Yonish



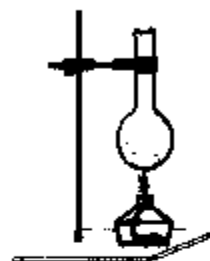
$$Q = qm$$

$Q$  - yoqilg'i to'liq yonganda ajralgan issiqlik miqdori (J)

$q$  - yoqilg'ining solishtirma yonish issiqligi (J/kg)

$m$  - yoqilg'ining massasi (kg)

### Bug'lanish



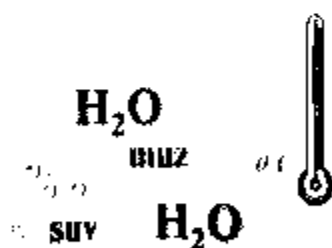
$$Q = Lm$$

$Q$  - bug'lanish uchun sarflangan issiqlik miqdori yoki kondensatsiyalanganida ajralib chiqqan issiqlik miqdori (J)

$L$  - bug'lanish solishtirma issiqligi (J/kg)

$m$  - bug'ning massasi (kg)

### Erish



$$Q = \lambda m$$

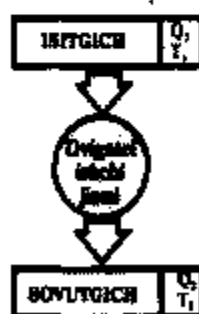
$Q$  - erishga sarflangan issiqlik miqdori, yoki kristallanishda ajralgan issiqlik (J)

$\lambda$  - solishtirma erish issiqligi (J/kg)

$m$  - massa (kg)

### F.I.K.

$$\eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$



$\eta_{\max}$  - ideal issiqlik mashinasi f.i.k.

$T_1$  u  $T_2$  - isitkich va sovutkich temperaturasi

### Gaz va bug'ning ishi

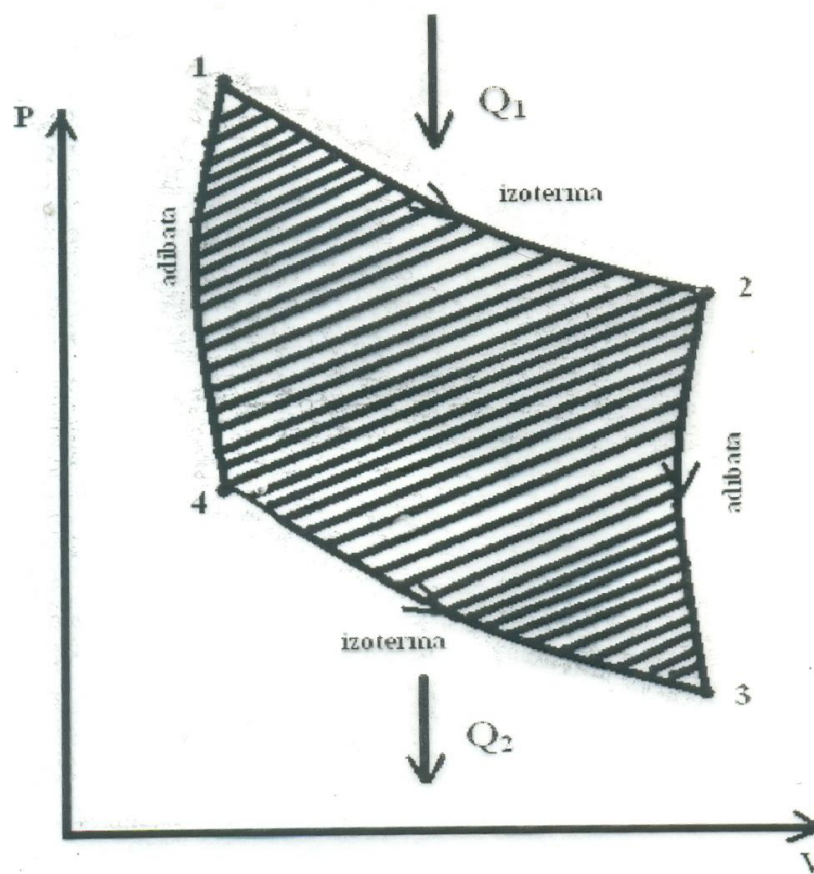
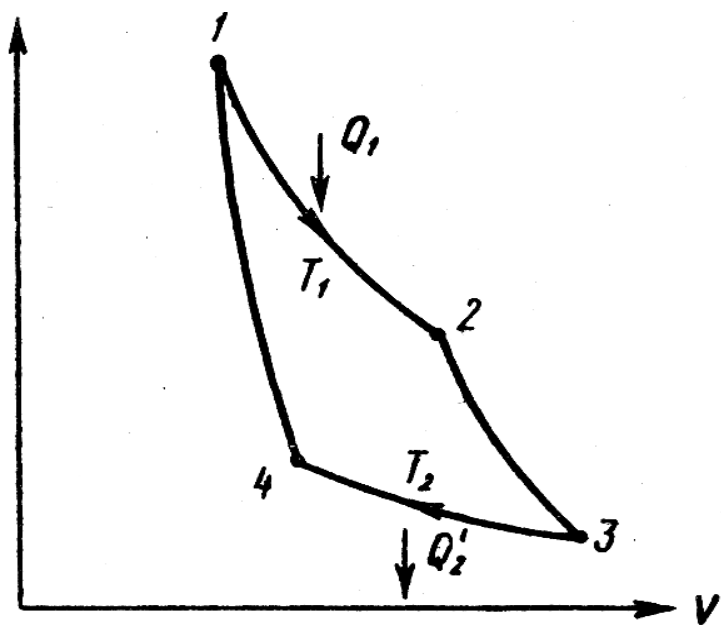
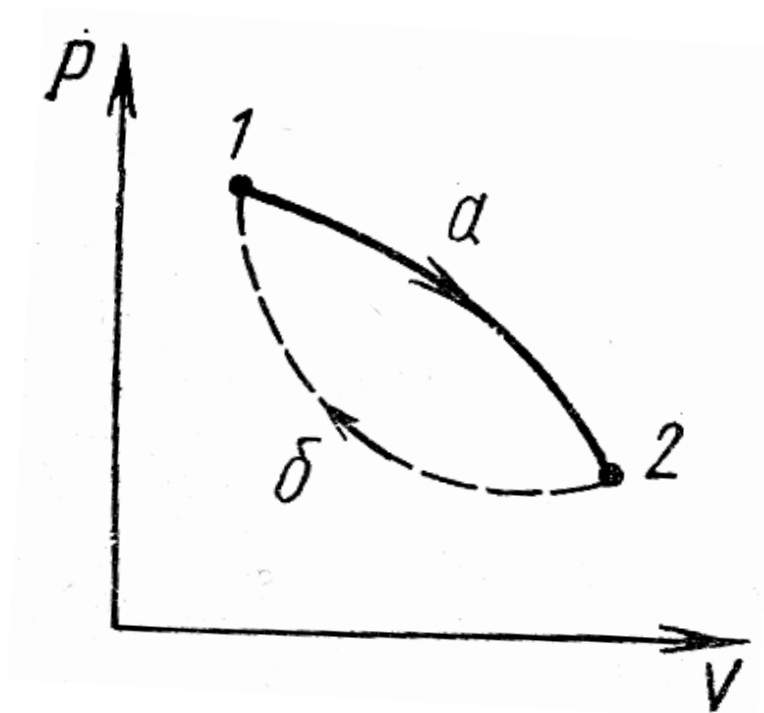


$$A' = p \Delta V$$

$A'$  - gazning kengayishida bajargan ishi (J)

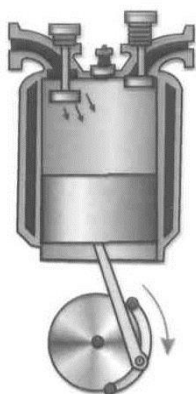
$p$  - bosim (Pa)

$\Delta V$  - hajmining o'zgarishi (m³)

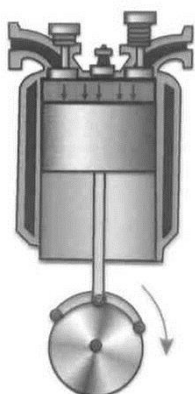


## ISSIQLIK MASHINALARI

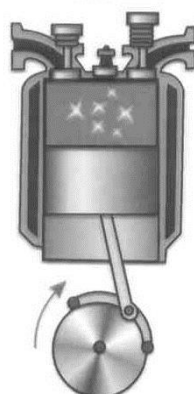
### *Ichki yonuv dvigateli*



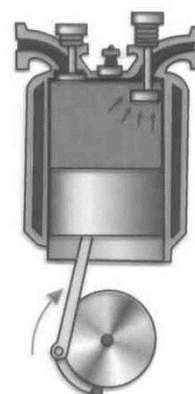
**Kirish**



**Qisilish**

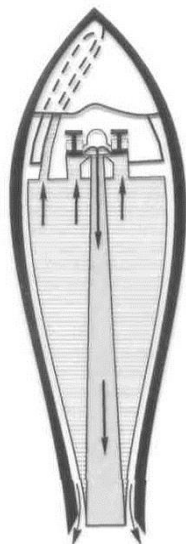
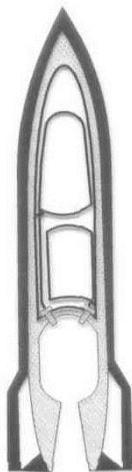


**Ishchi takt**

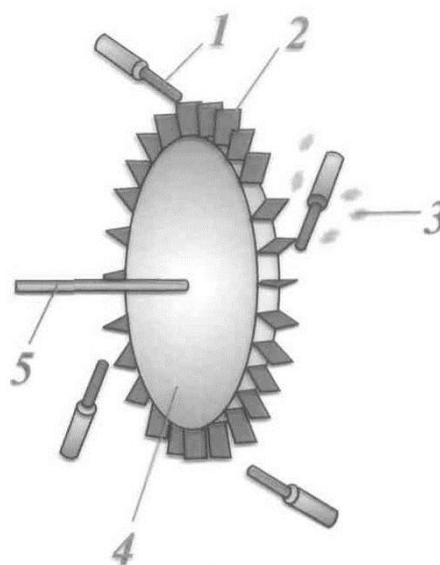


**Chiqarish**

### *Reaktiv dvigatel*



### *Turbina*



- 1 - soplo
- 2 - kurak
- 3 - bug
- 4 - disk
- 5 - o'q

## 14-MA'RUZA. REAL GAZLAR VA SUYUQLIKLAR.

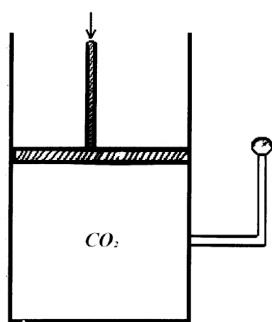
1. Real gazlar molekular orasidagi kuchlar va potensial energiya.
2. Van-der-Vals tenglamasi.
3. Real gazning ichki energiyasi. Gazlarning suyuqlikka aylanishi.
4. Joul'-Tomson effekti.
5. Suyuqliklarning sirt tarangligi. Kapilyar hodisalar.

### 1. Real gazlar molekular orasidagi kuchlar va potensial energiya.

Gazlar molekulyar kinetik nazariyasida foydaniladigan ideal gazning modeli, yetarli darajadagi yuqori harorat va past bosimlarda siyraklashgan real gazlar xossalarni tasvirlashga imkon beradi. Ideal gaz holat tenglamasini chiqaradigan molekular o'lchamlari va ularning bir - biri bilan o'zaro ta'siri e'tiborga olinmaydi. Bosimning oshishi molekular orasidagi o'rtacha masofani kamayishiga olib keladi, shuning uchun molekular hajmi va ular orasidagi o'zaro ta'sirni hisobga olish lozim.

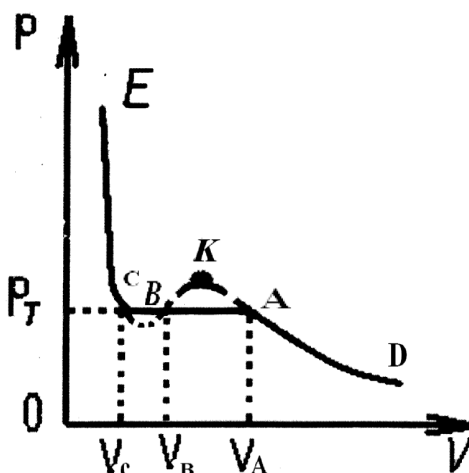
Gaz xossalari. Molekulalarning o'zaro ta'siriga bog'liq bo'lgan real gazlar qaralganda, molekulararo o'zaro ta'sir kuchlarini hisobga olish lozim. Ular  $10^{-9}$  metrdan kichik masofalarda paydo bo'ladi va molekular orasidagi masofalarni orttirish bilan tez kamayadi. Bunday xildagi kuchlarga qisqa ta'rif etuvchi kuchlar deyiladi.

**Kritik holat.** Temperatura ortishi bilan to'yingan bug'ning zichligi ortib boradi, suyuqliklarning zichligi esa kenggayishi natijasida kamayib boradi. Temperturaning ko'tarilgan sari bu zichliklarning qiymatlari bir – biriga yaqinlashadi va ma'lum bir temperaturada tenglashadi. Boshqacha aytganda, suyuqlik va bug' orasidagi farq yo'qoladi. Suyuqlikning bunday holati kritik holat, temperaturaga esa kritik temperatura deyiladi. Yuqorida aytilganidek, kritik holat kritik parametrlar  $p_k$ ,  $V_k$ ,  $T_k$  bilan xarakterlanadi. Har bir suyuqlik uchun kritik temperaning qiymatlari turlicha bo'ladi. Geliy uchun  $T_k=5K$ , uchun  $T_k=647K$ .



(14.1)

(14.2)

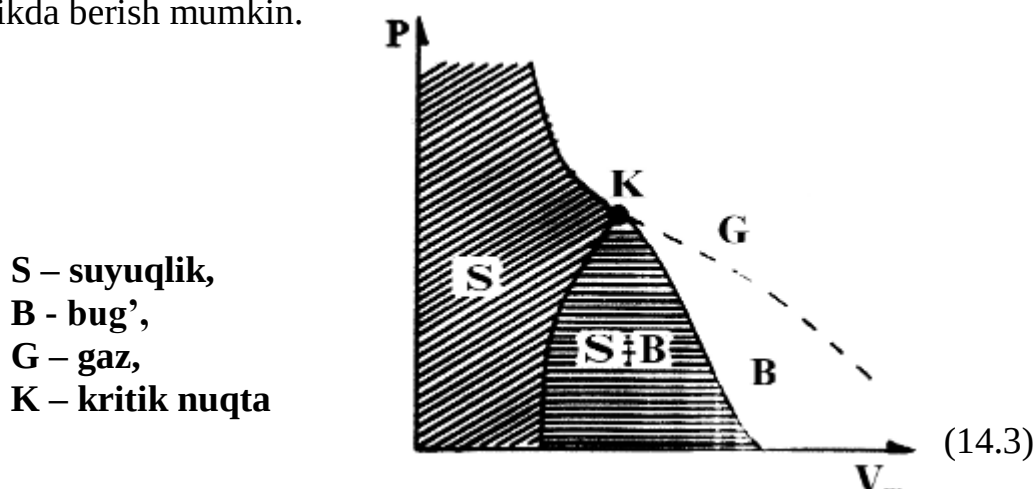


Tajriba asosida olingan izotermalar quyidagi DA, AB, BC va CE

kesmalardan iborat. DA kesma keltirilgan bosim va hajm qiymatlarida ideal gaz izotermasi bilan mos keladi va A nuqtadan boshlab izotermada sakrash vujudga keladi va to'g'ri chiziq ABC hosil bo'ladi. Bu kesma ko'rsatadikim, bosimning

bitta qiymatida hajmning uchta qiymati mos keladi. Bu hajmlar  $V_A$  hajm bug' holatdagi va qisman suyuqlikka o'tgan modda hajmini bildiradi.  $V_B$  hajm esa mavjud bo'lgan gaz bug'lardan ko'p qismi suyuqlikka o'tganini bildiradi va bu vaqtda agregat holatning o'zgarishi davom etmoqda. Agregat holatning o'tish jarayoni  $V_C$  nuqtada o'z yakunini topadi va gaz holatdagi jism to'la suyuqlikka o'tadi. Bundan keyingi CE kesma suyuqlikning hajmi juda kam o'zgarishi bilan bosim qiymati keskin o'tishini ko'rsatadi. Bunday izoterma kritik haroratdan past bo'lgan haroratda kuzatiladi. Ya'ni, kritik nuqtadan past haroratlarda bosimning bitta qiymatida hajmning uchta qiymati mos keladi va bu o'zgarish jism holat o'zgarishi bilan bog'liq.

Kritik harorat bilan bog'liq bo'lgan jismlarning holat o'zgarishini quyidagi grafikda berish mumkin.



**2. Van-der-Vals tenglamasi.** Real gazlar uchun molekularning o'lchamlari va ularning o'zaro ta'sirini hisobga olish kerak, shu sababli ideal gaz modeli va ideal gazni ta'sirlaydigan Klayperon - Mendelev tenglamasi  $PV_m = RT$  (bir mol gaz uchun), real gaz uchun yaroqsizdir.

Molekular xususiy hajmi va molekulararo o'zaro ta'sir kuchini hisobga olgan gollandiyalik fizik Van- der- Vaals real gaz holat tenglamasini chiqardi. Van – der-Vaals Klayperon-Mendelev tenglamasiga ikkita tuzatma kiritdi.

1.Molekula xususiy hajmini hisobga olish. Molekula egallagan hajmga boshqa molekularni kirishiga to'siqlik qiladigan itarishishi kuchlarining mavjudligi real gaz molekulari harakatlana oladigan haqiqiy erkin hajm  $V_m$  bo'lmasdan,  $V_m-b-v$  bo'ladi. Bunda  $v$  - molekularning o'zlari bilan egallagan hajm.  $V$  hajm molekula xususiy hajmining to'rtlanganiga teng. Masalan, idishda ikkita molekula bo'lsa, ularning markazlari bir – biriga molekula  $d$  - diametridan kichik bo'lgan masofadan yaqin kela olmaydi. Bu ikkala molekula markazlari uchun radius  $d$  sferik hajm, bitta molekulaga hisoblaganda esa molekula hajmining to'rtlanganligiga teng

2. Molekular tortishishini hisobga olish. Gazlarda tortishish paydo qiladi. Van - der -Vaalsining hisoblashicha ichki bosim molyar hajm kvadratiga teskari proporsional, ya'ni

$$P' = \frac{Q}{V_m^2} \quad (14.1)$$

Mazkur tuzatmalarni kiritib 1 mol gaz uchun Van - der - Vaals tenglamasini (real gaz holat tenglamasi) olamiz:

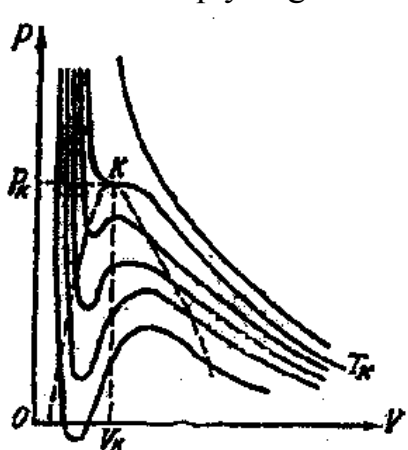
$$P + \left( \frac{Q}{V_m^2} \right) \cdot (V_m - b) = RT \quad (14.2)$$

Istalgan modda miqdori  $v = m/M$  uchun,  $V = v V_m$  ni hisobga olsak Van - der - Vaals tenglamasi quyidagi ko'rinishni oladi.

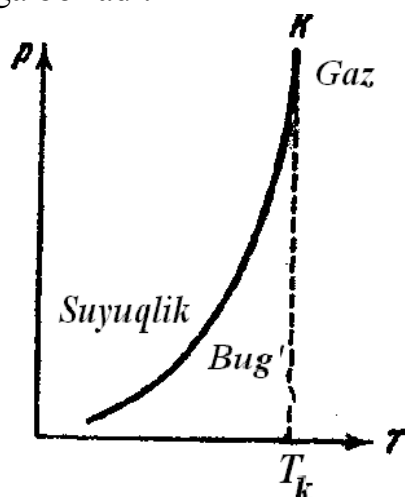
$$\left( P + \frac{V^2 Q}{V^2} \right) \left( \frac{V}{v} - b \right) = RT \quad \text{yoki} \quad \left( P + \frac{v^2 Q}{V^2} \right) (V - vb) = vRT \quad (14.3)$$

Bunda  $Q$  va  $b$  tuzatmalar tajriba orqali aniqlanadigan har bir gaz uchun doimiy kattaliklar.

Van-der-Vaals tenglamasiga asosan vujudga keladigan izotermalar tizimini chizish mumkin va u quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi.



(14.4)



(14.5)

Van-der-Vaals tuzatmalarni tajribada olingan kritik nuqta parametrlariga asosan quyidagi tenglamalar bilan aniqlash mumkin.

**Van – der – Vaals tuzatmalari bilan kritik nuqta parametrlari orasidagi bog'lanish**

$$T_k = \frac{8a}{27Rb}; \quad (14.4)$$

$$P_k = \frac{a}{27b^2} \quad (14.5)$$

$$V_k = 3b; \quad (14.6)$$

$$P_k V_k^3 = ab \quad (14.7)$$

$$\frac{V_k}{b} = 3 ; \quad (14.8) \quad \frac{p_k V_k}{RT_k} = \frac{3}{8} = 0,375$$

(14.9)

$$3 p_k V_k^2 = a ;$$

(14.10)

$$3 p_k V_k = RT_k + p_k b \quad (14.11)$$

### 3. Real gazning ichki energiyasi. Gazlarning suyuqlikka aylanishi.

**Real gazning holat tenglamasi.** Real gazlar uchun tortishish kuchlarining mavjudligi gaz ichki bosimning paydo bo'lishiga olib keladi.

$$P = \frac{Q}{V_m^2} \quad (14.12)$$

Gaz molekulari orasidagi ta'sir etuvchi tortishishi kuchlarini yengish uchun sarflanadigan ish, mexanikadan ma'lumki, sistema potensial energiyasining ortishishiga olib keladi.

$$\delta A = P' dV_m = \delta \Pi \quad \text{yoki} \quad \delta \Pi = \frac{Q}{V^2} dV_m \quad (14.13)$$

$$\text{Bunda} \quad d\Pi = -Q / V_m \quad (14.14)$$

**Real gazning ichki energiyasi.** Bir mol real gazning ichki energiyasi

$$U_m = \frac{C_v T - a}{V_m} \quad (14.15)$$

ekanligini olamiz.  $U_m = \frac{C_v T - a}{V_m}$  dan ko'rinadiki, haroratning oshishi va hajmining ko'payishi bilan real gaz ichki energiyasi ortadi.

Agar gaz tashqi muhit bilan issiqlik almashinmasdan kengaysa, (adiabatik jarayon, ya'ni  $\delta Q=0$ ), u holda termodinamikaning birinchi boshlanishiga asosan

$$\delta Q = (U_2 - U_1) + dA \quad (14.16)$$

$$U_1 = U_2 \quad (14.17)$$

olamiz. Binobarin, adiabatik kengayida tashqi ish bajarilmasa gazning ichki energiyasi o'zgarmaydi.

$U_1 = U_2$  tenglik bunday qaraganda ham ideal va real gazlar uchun ham o'rinlidir, ammo uning  $U_1=U_2$  tenglik haroratlar adiabatik kengaytirganda, Yu uning harorati o'zgarmaydi  $U_1=U_2$  tenglikdan real gazning bir moli uchun

$$U_1 = C_1 T_1 - \frac{Q}{V_1}, \quad (14.18)$$

$$U_2 = C_2 T_2 - \frac{Q}{V_2} \quad (14.19)$$

bo'lgani uchun  $T_1 > T_2$  bo'ladi, ya'ni real gazni vakuumda adiabatik kengaytirsak, u soviydi. Adiabatik siqilganda real gaz qiziydi.

**Gazlarni suyultirish. Suyultirilga gaz xossalari.** Gazning suyuqlik holatiga o'tishiga gazning suyulishi deyiladi. Gazlarni suyultirishni birinchi marta D.I.Mendeleyev tushuntirgan. Gazning temperaturasi kritik temperaturadan past, bosim esa kritik bosimdan yuqori bo'lsagina uni suyultirish mumkin.

Gazlarni suyultirish uchun ularning temperaturasini pasaytirish ikki xil usulda amalga oshirilishi mumkin.

1) Agar gazning temperaturasi inersiya va kritik temperaturadan past bo'lsa, unda kengayishda molekulalar orasidagi tortishi kuchlariga ish bajarish natijasida gazning temperaturasi pasayadi;

2) adiabatik kengayishda tashqi kuchlarga qarshi ish bajarish natijasida, gazning temperaturasi pasayadi.

**4. Joule'-Tomson effekti.** Joule – Tomson tajribasi devorlari issiqlikni juda yomon o'tkazadigan trubka ichida gazning barqaror (vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydigan) oqimi hosil qilinadi. Trubka ichida mayday teshiklari bo'lgan to'siq (paxtadan qilingan tiqin) bor bo'lib, mana shu tiqinda bosim eng katta  $p_1$  qiymatidan eng kichik  $p_2$  qiymatiga qadar o'zgargan. Buning natijasi gaz keskin kengaygan. Tajribada temperaturalar ayirmasi  $\Delta T = T_2 - T_1$  o'lchab yuboriladi. Gaz ichki energiyasining orttirmasi gaz ustida bajarilgan ishga teng bo'lishi kerak:

$$U_2 - U_1 = A \quad (14.20)$$

$$A' = p_1 S l_1 - p_2 S l_2 \quad (14.21)$$

$$U_1 + p_1 V_1 = U_2 + p_2 V_2 \quad (14.22)$$



#### 4. Suyuqliklarning sirt tarangligi. Kapilyar hodisalar.

**Suyuqliklarda molekulalarning harakati. Yaqin tartib.** Suyuqliklar kristall jismlar kabi ma'lum bir hajmga ega bo'ladi, shu bilan birga, suyuqlik gazga o'xshash o'zi turgan idish shaklini oladi.

Suyuqlik zarralari yaqin tartib deb ataladigan tartibda joylashgan bo'ladi. Bu esa har qanday zarraga nisbatan olib qaralganda qo'shni zarralar tartib bilan joylashgan ekanligini bildiradi. Lekin mazkur zarralardan uzoqlashilgani sari zarralarning unga nisbatan joylashish tartibi buzilib boradi va zarralarning



joylashishidagi bu tartib ancha tez yo'qolib ketadi. Kristallarda esa uzoq tartib deb ataladigan tartib bor, bu esa har qanday zarraga nisbatan boshqa zarralarning ancha katta hajm doirasida tartibli joylashishini bildiradi. Har bir molekula biror vaqt davomida ma'lum bir muvozanat vaziyati atrofida tebranib turadi. Vaqt - vaqti bilan molekula oldingi vaziyatidan o'z o'lchamlari tartibdagi masofada turgan yangi vaziyatga sakrab o'tib, muvozanat vaziyat o'rmini o'zgartiradi.

**Sirt taranglik kuchi.** Molekulalar suyuqlikning sirt qatlamida qo'shimcha energiyaga ega bo'ladi. Suyuqlik sirtining yopiq kontur bilan chegaralangan bir qismini fikran ajratib olamiz. Bu qismining qisqarishga intilishi shunga olib keladiki, u o'ziga bo'lgan qismlarga butun kontur bo'yicha yozilgan nuqtalar bilan ta'sir qiladi (Nyutonning uchinchi qonuniga asosan sirt qatlamning tashqi qismlari tekishirilayotgan bu qismga kattaligi xuddi shunday, lekin qarama - qarshi yo'nalgan kuchlar bilan ta'sir qiladi). Bu kuchlar sirt tarangligi kuchlari deb ataladi. Ichki energiya faqat sirt energiyasi hisobiga o'zgarishi (ya'ni  $\Delta U = \Delta U_{\text{sirt}}$  bo'lish) uchun suyuqlik sirtining oshish protsessini izotermik ravishda o'tkazish kerak. Bu holda suyuqlik sirti  $A' = \alpha \Delta \sigma$  ish bajarish hisobiga oshganda suyuqlik atrofidagi muhitdan  $Q = T \Delta S = \Delta(TS)$  issiqlik kelib qo'shiladi, bu ifodada  $S$  harfi suyuqlik sirt qatlamining entropiyasini bildiradi. Entropiya additiv kattalik bo'lgani uchun suyuqlikning ichki qismlarning holati va binobarin, entropiyasi o'zgarmaydi. Shunday qilib, ichki energiya orttirmasi quyidagiga teng bo'ladi.

$$\Delta U = \Delta U_{\text{sirt}} = A' + Q = \alpha \Delta \sigma + \Delta(TS)_{\text{sirt}} \quad (14.23)$$

Bu munosabatni

$$\alpha \Delta \sigma = \Delta(U - TS)_{\text{sirt}} = \Delta F_{\text{sirt}} \quad (14.24)$$

ko'rinishda yozish mumkin, bu erda  $\Delta F$  sirt - yuzi  $\Delta \sigma$  bo'lgan sirt qatlamning erkin energiyasi. Sirt tarangligi koeffitsienti ( $\alpha$ ) va sirtning egriligi orttishi bilan ortishi kerak. Qo'shimcha bosimni suyuqlikning sferik sirti uchun hisoblab chiqaramiz. Buning uchun suyuqlikning sferik tomchisini diametr tekisligi ikkita yarim shartni fikran ajratamiz sirt tarangligi tufayli ikkala yarim shar bir -biriga quyidagiga teng kuch bilan totishadi.

$$f = f_a = 2\pi R \alpha \quad (14.25)$$

bu kuch ikkala sharni bir – biriga  $S = \pi R^2$  sirt qisadi va binobarin qo'shimcha

$$\Delta p = \frac{f}{S} = \frac{2\pi R \alpha}{\pi R^2} = \frac{2\alpha}{R}$$

(14.26)

bosim hosil bo'lishiga sabab bo'ladi.

Sferik sirtning egriligi hamma joyda bir xil bo'lib, sferaning  $R$  radiusi bilan aniqlanadi. Ravshanki,  $R$  qanchalik kichik bo'lsa, sferik sirtning egriligi shunchalik katta bo'ladi. Ixtiyoriy sirtning egriligini o'rtacha egrilik deb ataladigan egrilik bilan xarakterlash qabul qilingan, bu egrilik sirtning har xil nuqtalari uchun har xil bo'lishi mumkin.

Sirt ostidagi qo'shimcha bosim formulasi topamiz. Bu formula Laplas formulasi deb ataladi.  $R$  radiusli silindirik sirt ostidagi qo'shimcha bosim quyidagiga teng bo'ladi:

$$\Delta p = \frac{a}{R} \quad (14.27)$$

Mexanikaning  $\vartheta$  chegaraviy burchak va kapilyarlarning  $r$  radiusi orqali ifodalash mumkin. Darhaqiqat,  $R=r/\cos\vartheta$  ekanliga ko'rinib turibdi.  $R$  ning bu qiymatini yuqoridagiga qo'yib va hosil bo'lgan tenglamani  $h$  ga nisbatan yechib,

quyidagi formulani hosil qilamiz.  $h = \frac{2\alpha \cos \vartheta}{\rho g h r}$  Kapilyar bosim bilan gidrostatik bosim o'rtasidagi

$$\frac{2\alpha \cos \vartheta}{d} = \rho g h \quad (14.28)$$

Shartdan  $h$  ni topamiz:

$$h = \frac{2\alpha \cos \vartheta}{\rho g d} \quad (14.29)$$

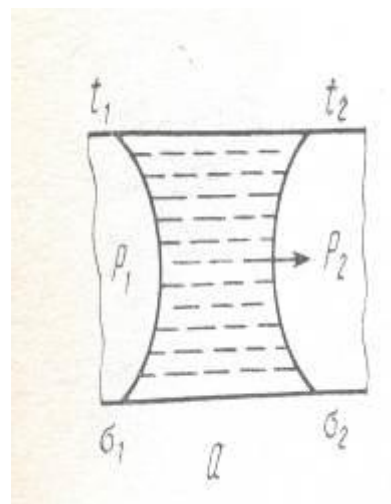
**Ho'llash va kapilyarlik hodisalari.** Suyuqlik qattiq jismni ho'llashi yoki ho'llamasligi mumkin. Agar simob tomchisi toza temir sirtiga quyilsa. Bunday simob temirni ho'lladi deyiladi. Endi simob tomchisi shisha plastinka ustiga qo'ysak tomchi shar shakliga intilib oladi. Bunda simob shisha plastinkani ho'llamadi deyiladi. Suyuqliklarning qattiq jismni ho'llash – ho'llamasligi moddalarning bir – biriga tegib turgan qatlamlaridagi molekulari orasida vujudga keladigan ta'sir xarakteriga bog'liq.

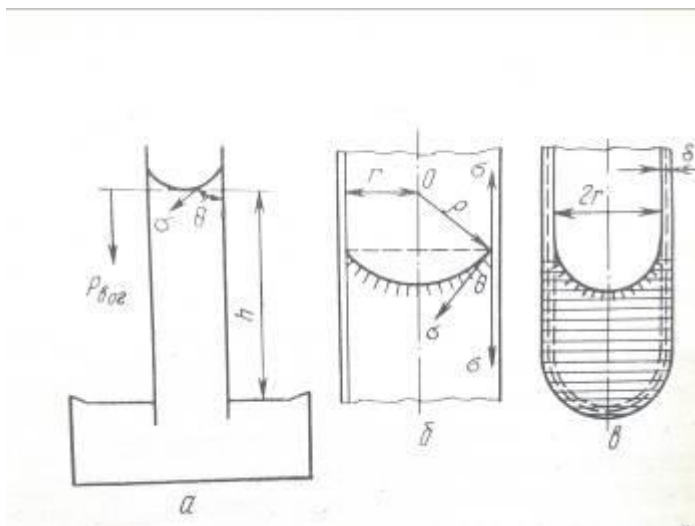
**Kapilyarlik.** Kapilyarda suyuqlik sathi balandligining o'zgarish hodisasiga kapilyarlik deyiladi.

$$\frac{2\alpha}{R} \rho g h \quad (14.30)$$

$$h = \frac{2\alpha}{\rho \cdot g \cdot R}$$

(14.31)





Капилляр со'рилиш механизмининг схемаси. Капилляр-г'овак танадаги иссиқнам ўтказувчанлик механизм схемаси.

Mutaxassislik fani bilan bog'liqligi.

Kapilyarlik tabiatda va texnikada muhim ahamiyatiga egadir. Masalan, namlikning tuproqdan o'simliklarga singishi kapilyarlik asosida amalga oshadi. O'simliklarning hujayralari kapilyarlar hosil qilib, ular orqali suyuqlik yuqoriga ko'tariladi. Shuningdek, kapilyarlikdan qurilishdan keng foydalaniladi.

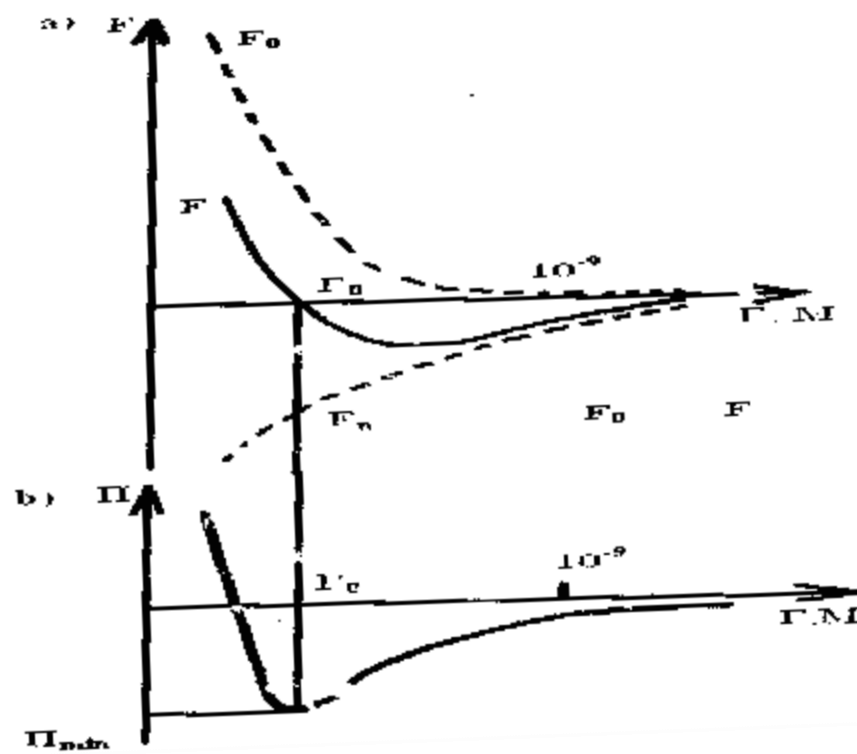
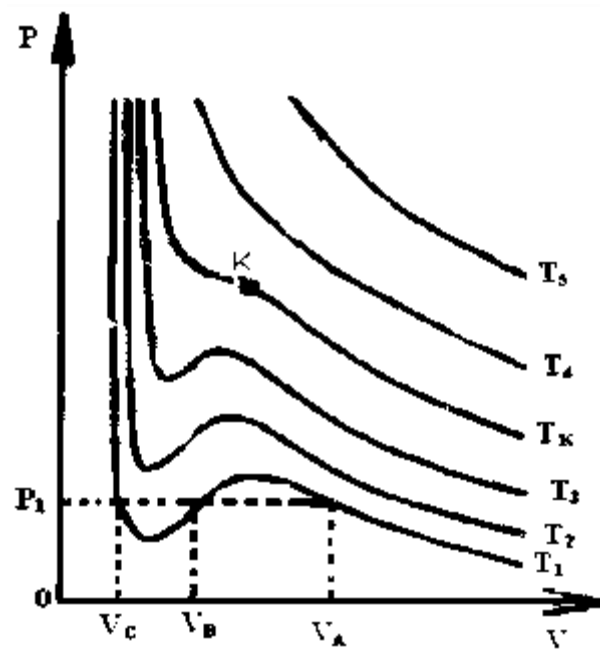
#### **Mavzuni mustahkamlash uchun savollar**

1. Moddaning agregat holati qanday aniqlanadi?
2. Real gaz qanday gaz va u ideal gazda nimasi bilan farq qiladi?
3. Ichki bosim nimaga teng?
4. Real gazning umumiy bosimi nimaga teng?
5. Van – der – Vaals doimiylarining qiymati aniqlanadi? Van – der – Vaals izotermalari ideal gaz izotermalaridan nimasi bilan farq qiladi.
6. Kritik izoterma deb qanday izotermaga aytiladi?
7. Gazlarning suyulishi deb nimaga aytiladi?
8. Sirt taranglik kuchi deb qanday kuchga aytiladi?
10. Sirt taranglik kuchlari suyuqlik sirtini qanday o'zgartirdi?
11. Sirt taranglik kuchi birligini keltirib chiqaring?
12. Agar suyuqlik sirti botiq bo'lsa, qo'shimcha bosim qanday aniqlanadi?
13. Kapilyarlik naycha deb qanday naychaga aytiladi?
14. Kapilyarlikni ahamiyati nimada?

#### **Uyga vazifa**

- 1) Internet saydlardan real gaz haqida ma'lumotlar bazasini to'ldirish.
- 2) suyuqlik bilan qattiq jism chegarasidagi ta'sir kuchi mustaqil o'rganish.

# 14-MA'RUZANING ILOVALARI.



Van-der-Vaals tuzatmalari bilan  
kiritik nuqta parametirlari  
orasidagi bog`lanish

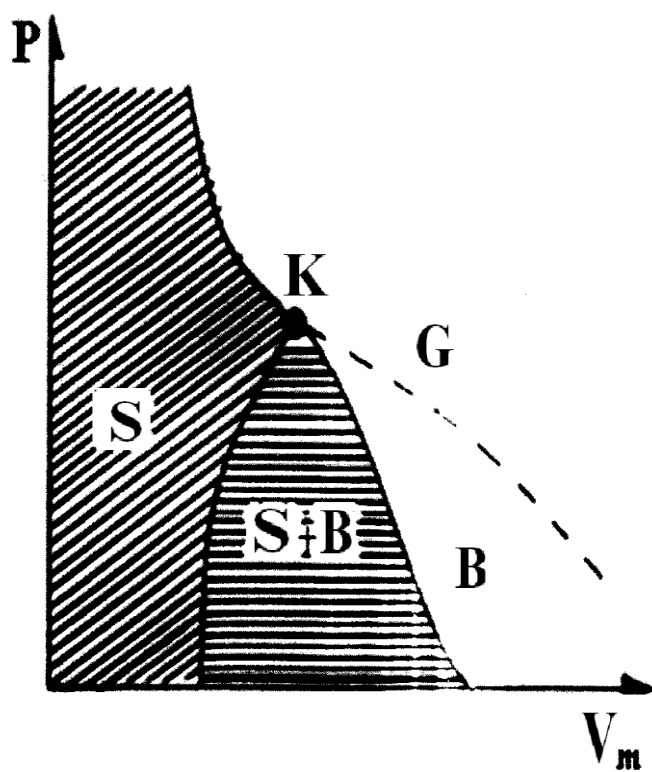
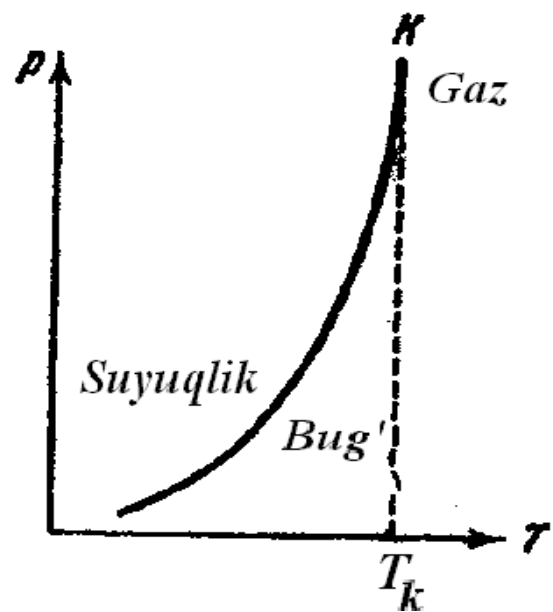
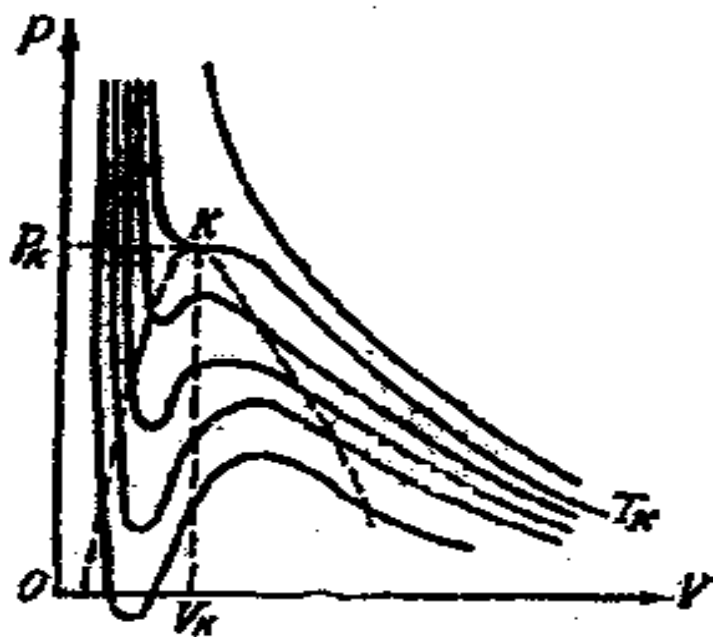
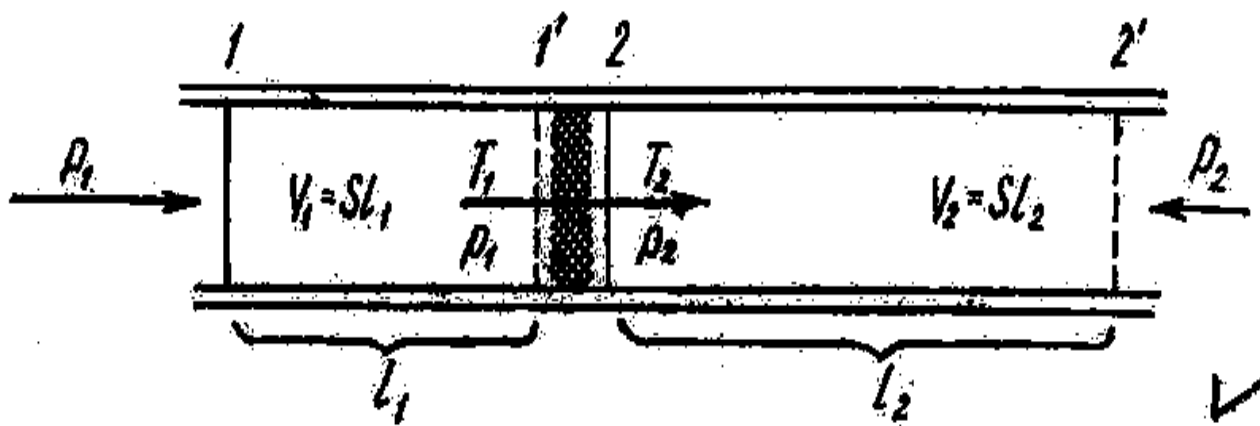
$$T_k = \frac{8a}{27Rb}$$

$$p_k = \frac{a}{27b^2}$$

$$V_k = 3b$$

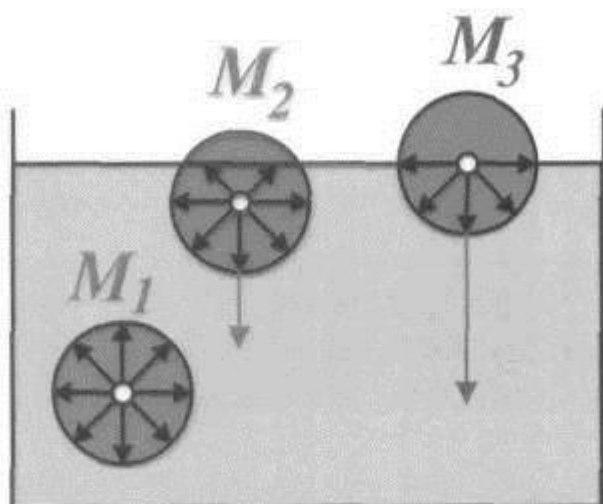
$$\frac{p_k V_k}{RT_k} = \frac{3}{8} = 0.375$$

$$\frac{V_k}{b} = 3$$



# SUYUQLIK SIRT QATLAMINING XOSSALARI

## Suyuqlikning sirt tarangligi



Suyuqlikda suyuqlik sirti tomonidan bosim hosil qilinadi va bu molekulyar bosim deb ataladi.

$$F_{s.t.} = \sigma l$$

$F_{s.t.}$

- sirt taranglik kuchi (N)

$\sigma$

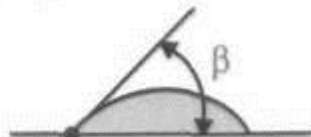
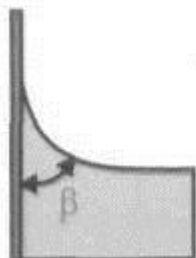
- sirt taranglik koeffitsiyenti (N/m)

$l$

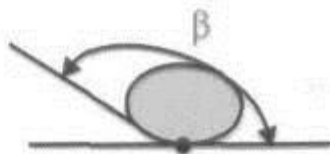
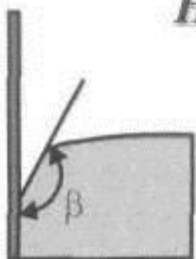
- kontur uzunligi (m)

## Ho'llash

Ho'llovchi  
suyuqlik



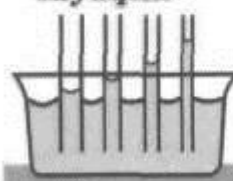
Ho'llamaydigan  
suyuqlik



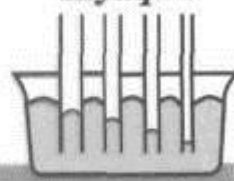
$\beta$  - chegaraviy burchak

## Kapillyar hodisalar

Ho'llovchi  
suyuqlik



Ho'llamaydigan  
suyuqlik



Suyuqlikning ko'tarilish balandligi

$$h = \frac{2\sigma}{r\rho g}$$

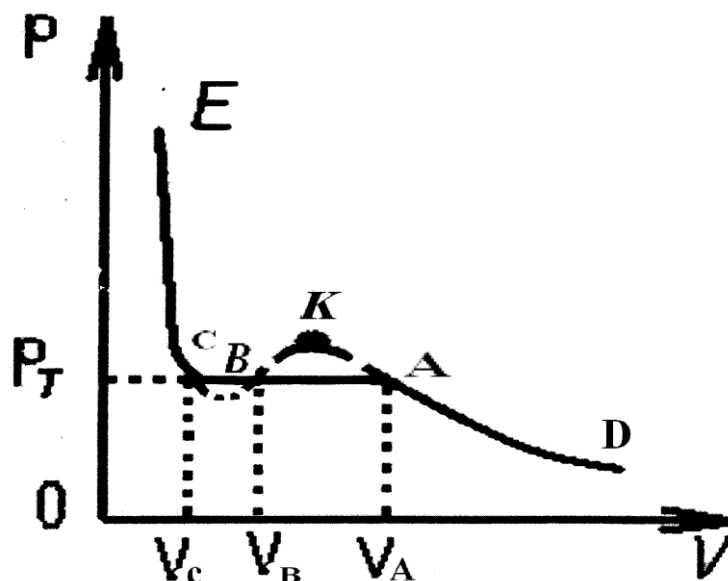
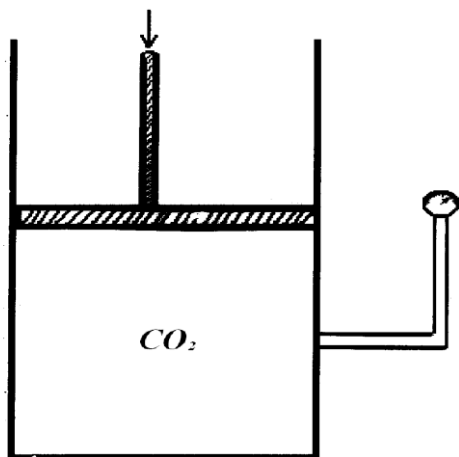
$$\sigma = \frac{hr\rho g}{2}$$

$\sigma$  - sirt taranglik koeffitsiyenti

$\rho$  - suyuqlik zichligi  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

$r$  - kapillyar radiusi

$h$  - kapillyarda suyuqlik ko'tarilishining balandligi



## 15-MA'RUZA. QATTIQ JISMLAR.

### Reja:

1. Kristall, amorf va polimer haqida tushuncha.
2. Kristall panjaralarning turlari. Kristallardagi atomlararo bog'lanishning turlari. Kristall defektlar.
3. Kristaldagi atomlar issiqlik tebranishi. Fononlar haqida tushuncha. Kristall issiqlik o'tkazuvchanlik mexanizmi. Kristallning issiqlik sig'imi.
4. Erish va kristallash.
5. I -va II - turdagi o'tish. Holat diagrammasi. Uchlama nuqta.

**Tayanch iboralar:** kristallarning anizotropi, monokristallar, roli kristallar, kristallarning turlari, defektlar, suyuqlik kristall.

**Ko'rgazmali qulollar:** slaydlar, animasiyalar, plakatlar.

### O'tilgan mavzuni mustahkamlash:

1. Moddaning agregat holati qanday aniqlanadi?
2. Real gaz qanday gaz va u ideal gazda nimasi bilan farq qiladi?
3. Ichki bosim nimaga teng?
4. Real gazning umumiy bosimi nimaga teng?
5. Van – der – Waals doimiylarining qiymati aniqlanadi? Van – der – Waals izotermalari ideal gaz izotermalaridan nimasi bilan farq qiladi.
6. Kritik izoterma deb qanday izotermaga aytiladi?
7. Gazlarning suyuqlisji deb nimaga aytiladi?
8. Sirt taranglik kuchi deb qanday kuchga aytiladi?
9. Sirt taranglik kuchlari suyuqlik sirtini qanday o'zgartirdi?



10. Sirt taranglik kuchi birligini keltirib chiqaring?
11. Agar suyuqlik sirti botiq bo'lsa, qo'shimcha bosim qanday aniqlanadi?
12. Kapilyarlik naycha deb qanday naychaga aytiladi?
13. Kapilyarlikni ahamiyati nimada?

### **Mavzuning borishi:**

#### **1. Kristall, amorf va polimer haqida tushuncha.**

*Amorf jismlar.* Qattiq jismlarning ikkinchi ko'rinishi amorf jismlardir. Garchi ular jismlar sifatida qaralsa ham aslida sovutilgan suyuqliklardir. Agar amorf jismning biror tomoni markaziy atom sifatida qaralsa, unga yaqin bo'lgan atomlar ma'lum tartib bo'ylab joylashadi. Lekin markaziy atomdan uzoqlashgan sari tartib buzilib, atomlarning joylashuvi turli xil, tasodifiyga aylanib qoladi. Kristall jismlardan farqli o'laroq, amorf jismlarda qo'shni atomlarning o'zaro joylashuvida yaqin tartibgina mavjud bo'ladi. Amorf jismlarga shisha, plastmassa va boshqalar misol bo'ladi. Oltigugurt, glitserin, shakar va boshqa moddalar ham kristall, ham amorf ko'rinishda mavjud bo'lishi mumkin. Bunga ba'zan shishasimon shakl ham deyiladi. Amorf jismlar tabiatda kristall jismlarda nisbatan kam tarqalgan.

*Polimer jismlar.* Keyingi paytlarda texnikada polimerlar deyiluvchi moddalar keng qo'llanilmoqda. Ular bir – biriga nisbatan kichik molekular massali molekulalarni (monomerlarni) ulab, katta molekular massali organlik birikmalarni hosil qilish yo'li bilan olinadi. Polimerlarni hosil qilish jarayoni polimerlashtirish yoki polimerlanish deyiladi. Polimer molekulasi tartibiga kiruvchi monomerlar soni polimerlanish darajasini ko'rsatadi. Polimerlarning molekular massasi juda katta bo'ladi. monomerlarning xossalriga bog'liq ravishda polimerlanishda ham chiziqli, ham tarmoqli molekulalar zanjirlari hosil bo'lishi mumkin.

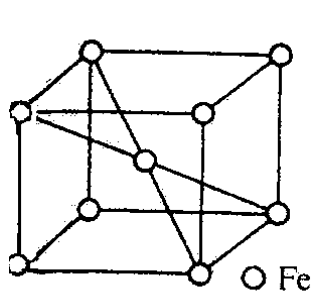
Polimerlar ikki sinfga ajratiladi: tabiiy va sintetik. Tabiiy polimerlarga yuqori molekular massali birikmalar – oqsil, kauchuk va hokazolar kiradi; sintetik polimerlarga esa turli xil plastmassalar kiradi.

Polimerlarning mexanik xossalari ko'p jihatdan alohida molekulalar o'rtasidagi o'zaro ta'sir kuchlariga bog'liq bo'ladi. Jumladan, polimerlarda batartib kristall sohalarning mavjudligi uning mustahkamligini ancha oshiradi. Shuningdek, molekulalar zanjirining uzunligi, uning tarmoqlanganligi va makromolekulada tarkibiy elementlarning joylashuvi ham muhim ahamiyatga ega.

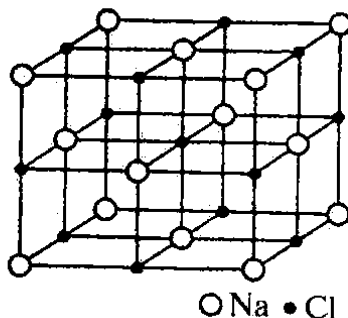
#### **2. Kristall panjaralarning turlari. Kristallardagi atomlararo bog'lanishning turlari. Kristall defektlar.**

*Ideal kristall panjaradagi atomlarning joylanishida uzoq tartib.* Teng kuchlilik izotropik teng kuchli emasligi esa anizotropik deyiladi. Amorf jismlar esa izotropdir. Shuningdek, gazlar va ko'plab suyuqliklar ham izotrop moddalarga kiradi. Kristallarning anizotropligiga sabab zarralarining (atomlar, molekulalar, ionlar) fazoviy panjara hosil qilib batartib joylashganligidir. Har uchala yo'nalish bo'yicha ham zarralar joylashuvining davriy ravishda takrorlanishi bilan xarakterlanuvchi tuzilishi kristall panjara deyiladi. Zarralar joylashgan nuqta, aniqrog'i atrofida zarralar tebranma harakat qiladigan nuqta kristall panjaraning tuguni deyiladi.

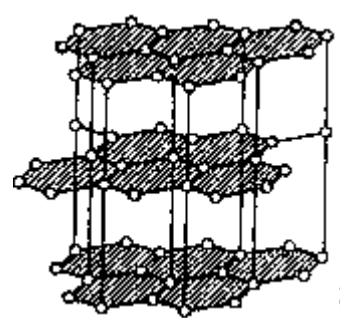
Panjara tugunida yakka atomlar ionlar guruhi ham joylashgan bo'lishi mumkin. Anizotroplikni tushunish uchun grafit kristallarning tuzulishi mavjud. Bu kristallarda uglerod atomlari bir – biridan ma'lum masofada bo'lgan tekisliklarda joylashgan bo'ladi. Bir tekislikda joylashgan atomlar orasidagi masofa tekisliklar orasidagi masofadan kichik va demak, bir tekislikda yotgan atomlar orasidagi tortishish kuchlari turli tekisliklarda yotgan atomlar orasidagi tortishish kuchlaridan ko'ra katta bo'ladi. Shuning uchun ham grafit kristalini kuchlaridan ko'ra katta bo'ladi. Shuning uchun ham grafit kristalini atom tekisliklarga paralell yo'nalishlarda sindirish oson bo'ladi.



(15.1)



(15.2)



(15.3)

Kristall panjara tugunlari o'rni takrorlanishining doimiy xarakterga ega ekanligi ya'ni uzoq tartibning o'rirliligi kristall jismlarga xos bo'lgan xususiyatdir. Kristal panjaralar ikki guruhga bo'linadi: monokristallar va polikristallar.

*Kristallardagi atomlararo bog'lanishning turlari.* Kristallar turlariga ko'ra to'rtga bo'linadi:

1. Ionli kristall. 2. Atomli kristall. 3. Metall kristall. 4. Molekulali kristall.

*Ionli kristall.* Panjarasining tugunlariga qarama – qarshi zaryadli ionlar navbat bilan joylashgan bo'ladi. Ionlar orasidagi o'zaro ta'sir kuchi asosan, elektrosatik xarakterlarga ega. Ionli kristallarga osh tuzi NaCl va seziiy xlor CsCl yaxshi misol bo'ladi.

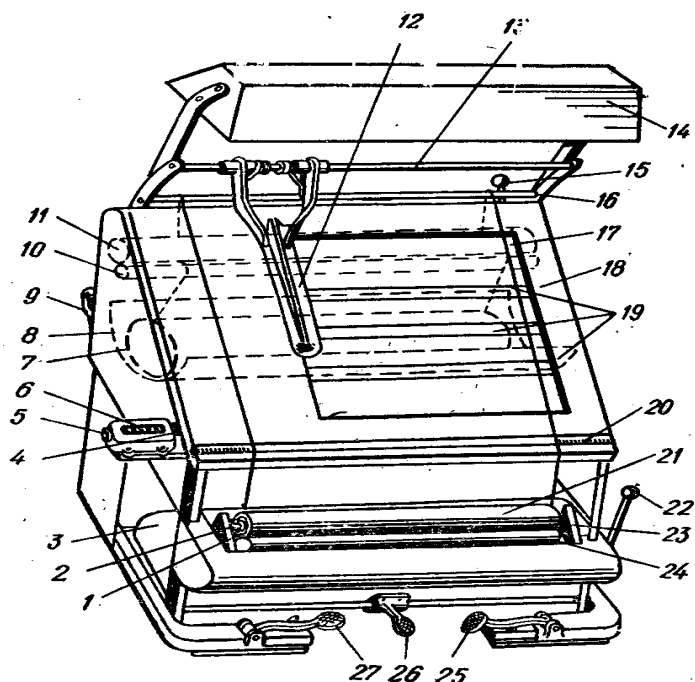
*Atomli kristallar.* Panjarasining tugunlarida kvant – mexanik tabiatdagi kuchlar tutib turadigan neytral atomlar joylashgan bo'ldi. Ular o'tasida elektr xarakteriga ega bog'lanish ham mavjud. Bu bog'lanish har bir atomdan bittadan elektr juftligi orqali amalga oshiriladi. Bunday kristallarga olmos, grafit, germaniy va kremniy misol bo'ladi.

*Metalli kristallar.* Panjarasining tugunlarida metallarning musbat ionlari joylashgan bo'ladi. Kuchsiz bog'langan valentli elektronlar atomlardan ajraladi va elektron gazini hosil qiladi. Metall kristallardagi bog'lanish panjara tugunlaridagi musbat zaryadli ionlar va manfiy elektronlar gazi orasidagi tortishish kuchlari yordamida ta'minlanadi. Metall kristallarga ko'pchilik metallar misol bo'ladi.

*Molekulali kristallar.* Panjarasining tugunlarida ma'lum tartibda yo'natirilgan molekulalar joylashgan bo'ladi. Ular orasida molekulalar o'zaro ta'siriga xos bo'lgan tortishish kuchlari mavjud bo'ladi. Molekulali kristallarga naftalin, parafin, quruq muz ( $\text{CO}_2$ ), muz va hokazolar misol bo'ladi.

*Kristall defektlar.* Real kristallarning uncha katta bo'lmagan bo'lagigina ideal tuzilishiga ega bo'lishi mumkin. Boshqa qismlarda ega panjara tugunlaridagi

zarralar joylashuvining batartibligi buziladi va bunda kristallik panjaraning defektlari (nuqsonlari) deyiladi. Kristallik panjaraning nuqsonga: boshqa element atomlarining kirib qolishi bo'sh joyning mavjudligi siljib joylanish sabab bo'ladi.



Mutaxislik fani bilan bog'liqligi.

### 3. Kristaldagi atomlar issiqlik tebranishi. Fononlar haqida tushuncha. Kristall issiqlik o'tkazuvchanlik mexanizmi. Kristallning issiqlik sig'imi.

*Kristaldagi atomlar issiqlik tebranishi.* Qattiq jismning har bir zarrachasi o'zining muvozanat holati yaqinida tebranib qo'shni zarrachalariga ta'sir qiladi. Bu tebranib turgan zarracha qo'shnisiga yaqinlashganda uni o'zidan naribroqqa itarib, uzoqlashganda bo'lsa, o'ziga tamon tortadi.

Demak, tebranish bir zarrachadan ikkinchi zarrachaga o'tib to'liqsimon tarqaladi. Hosil bo'lgan to'liqlar kristallining yuzasigacha kelib, undan qaytib, kristallning ichida turgun to'liqlarni paydo qiladilar. Kristall jismlarda issiqlik harakat tartibsiz, to'liqsimon harakatdan iborat bo'ladi. Kvant nazariyasiga muvofiq har bir tebranma harakatdagi atom yoki molekula va yoki ionlar ma'lum miqdordagi energiyani qabul qilishlari yoki chiqorishlari mumkin.

Atomlar tamonidan ma'lum miqdordagi yutilgan energiya kvantlarning miqdorlari  $h\nu$  ga teng bo'ladi.

$h$ -plank doimiyligi,  $\nu$  - zarrachaning o'z muvozanati yaqinidagi tebranish chastotasi (vaqt birligidagi tebranish soni). Zarrachaning har bir tebranishida, ya'ni har bir erkinlik darajasiga to'g'ri kelgan o'rtacha energiya miqdorini hisoblash uchun kvant nazariyasi quyidagi formulani beradi:

$$\omega = \frac{h \nu}{h \nu + kt}$$

(15.1)

$e^{-1}$

bu formuladagi:  $k=137 \cdot 10^{-16} \text{erg/gradus}$

Bol'tsman doimiyligi;  $t$  - absolyut temperatura;  $e$  – natural logarifmasining asosi; harakatning turli erkinlik darajasiga to'g'ri kelgan energiya tebranishning chastotasiga bog'liq.

Tamperaturaning o'sishi bilan tebranish soni ortadi, natijada har bir zarrachaning o'rtacha energiyasi ko'payadi. Yuqori temperaturada  $h\nu/kt$  kattaligi bir butun sondan ancha marta kichik bo'ladi, o'rta hisob bilan zarrachaning har bir erkinlik darajasiga

$w^1=kt$  energiya to'g'ri keladi.

*Fononlar haqida tushuncha.* Fononlar kvazizarrachalar hisoblanadi - o'zlarini elementar qo'zg'atilgan mikrozarrachalarga o'xshatadi. Elektromagnit nurlanishini fotonlarga olib kelganidek, elastik to'lqinlarning kvantlanishi fononlar tasavvuriga olib keldi.

Fonon gaziga o'zaro ta'sir etmaydigan boze zarrachalariga Boze-Eynshteyn statistikasini qo'llagan Debay quyidagi xulosaga keldi. Unga ko'ra  $T \gg T_D$  yuqori temperaturalarda (klassik soha) qattiq jisimlarning issiqlik sig'imi Dyulong-Pti qonuni bilan yoziladi,  $T \ll T_D$  past temperaturalarda esa, (kant soha), - termodinamik temperatura kubiga proporsionaldir:  $S \sim T^3$ . bu holda  $K \cdot T_D \approx \omega_D$  munosabatdek aniqlanadigan  $T_D$  -Debayning xarakterli temperaturasidir; bunda  $\omega_D$  - kristall panjara elastik tebranishlarining chegaraviy chastotasi. Shunday qilib, Debay nazariyasi qattiq jismlar issiqlik sig'imining tajribada va nazariyadagi qiymatlari (klassik nazariya asosida hisoblangan) mos qiymatlari (klassik nazariya asosida hisoblangan) mos kelmasligini tushuntiradi.

Kvazizarrachalar modeli-fononlar P.L.Kapitsa tomonidan ochilgan suyuq geliyning o'ta og'uvchanlik xossalari tushuntirishda samarali bo'ldi. L.D.Landau tomonidan yaratilgan (1941) va N.I.Bogolyubov tomonidan rivojlantirilgan o'ta og'uvchanlik nazariyasi keyinchalik o'tkazuvchanlik hoddisasiga qo'llanildi.

Fononing energiyasi bu atomlar muvozanat holati atrofida tebranishi natijasida vujudga keladigan energiya va bu birta foninning energiyasi hisoblanadi.

$$E_i = h \nu_i \quad (15.2)$$

Bu yerda  $h$  – plank doimiysi va  $\nu_i$  –  $i$  nchi molekulaga xos tebranish chastotasi.

Butun kristalik panjara energiyasi ushbu fononlar energiya miqdorlarining yig'indisiga teng bo'ladi.

$$E = \lim_{i=1}^n E_i = \lim_{i=1}^n h \nu_i \quad (15.3)$$

*Kristall issiqlik o'tkazuvchanlik mexanizmi.* Kristallar elektr o'tkazuvchanligida o'lchamlik effekti. Metallar elektr o'tkazuvchanligining kvant nazariyasi - kvant mexanikasi va Fermi - Dirak kvant statistikasiga asoslanuvchi elektr o'tkazuvchanlik nazariyasi ularning elektr o'tkazuvchanlik masalasini qaytadan qarab chiqdi. Bu nazariyasi asosida metallar elektr o'tkazuvchanligini hisoblari metallarning solishtirma elekt o'tkazuvchanligi ifodasi uchun

$$\gamma = \frac{Ne^2 \langle l_f \rangle}{m \langle u_f \rangle}$$

(15.4)

olib keladi, u tashqi ko'rinishi bo'yicha klassik formuladagi koeffitsient bilan mos keladi, ammo mutlaqo boshqa fizikaviy ma'noga ega. Bunda  $n$ -metalldagi elektron o'tkazuvchanlikning kontsentratsiyasi,  $\langle l_f \rangle$  Fermi energiyasiga ega bo'lgan elektron o'rtacha erkin chopishining uzunligi,  $\langle u_f \rangle$  - shunday elektronning issiqik harakatining o'rtacha tezligi;

$$\vartheta = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0} \sqrt{\mu \varepsilon}}$$

(15.5)

formula asosida olinadigan xulosalar tajriba bilan to'lguncha mos keladi. Metallarning kvant nazariyasi qisman, solishtirma o'tkazuvchanligini  $\gamma \sim 1/T$

(klassik nazariya  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{T}}$  ni beradi) temperaturaga bog'liqligini, shuningdek, metallardagi elektronlar erkin chopishining o'rtacha uzunligini (panjara davrining yuzlab tartibida) anomal katta qiymatlarini tushuntiradi.

Klassik nazariyaga ko'ra  $\langle U \rangle \sim \sqrt{T}$ , shuning uchun u  $\gamma$ -ni temperaturaga haqiqiy bog'liqligini tushuntira olmaydi. Kvant nazariyasida o'rtacha tezlik  $\langle U \rangle$  amalda temperaturaga bog'liq emas, chunki temperaturaning o'zgarishi bilan Fermi darajasini amalda o'zgarishligi isbotlanadi. Ammo, temperaturaning oshishi bilan "elektron to'lqinlarni" panjara issiqlik tebranishlariga sochilishi (fotonlarga) o'sadi, bu esa, elektronlar chopishi uzunligini kamayishiga mos keladi. Uy temperaturasi sohasida  $\langle 1_F \rangle T^{-1}$  shuning uchun  $\langle U \rangle$  temperaturaga bog'liq emasligini hisobga olib, metallar qarshiligi ( $R \sim 1/\gamma$ ) tajriba natijalariga ko'ra  $T$  ga proporsional holda o'sadi. Shunday qilib, metallar o'tkazuvchanligining kvant nazariyasi, klassik nazariyaning bu qiyinchiligini ham bartaraf etdi.

*Kristallning issiqlik sig'imi.* Bitta zarraning har bir tebranma erkinlik darajasiga har biri o'rta hisobda  $kT$  ning yarmiga teng bo'lgan ikkita energiya to'g'ri keladi: bu energiyaning bitta yarmi kinetic energiya tarzida, ikkinchi yarmi potensial energiya tarzida bo'ladi. Binobarin, har bir zarraga, ya'ni atomli panjaradagi atomga, ionli yoki metal panjaradagi ionga o'rta hisobda  $3kT$  energiya to'g'ri keladi.

Atomli yoki metall kristallar hosil qiluvchi ximiyaviy sodda moddalarni ko'rib chiqish bilan cheklanib, kristall holatidagi bir kilogramm-atom moddaning ichki energiyasini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$U_{km} = N_A 3 kT = 3 RT \quad (15.6)$$

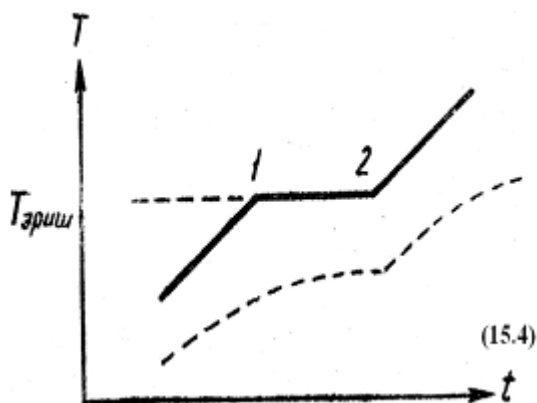
Ichki energiyaning temperature bir gradus ko'tarilgandadi orttirmasiga asosan, hajm o'zgarish bo'lgan holdagi issiqlik sig'imiga teng bo'ladi. Binobarin,

$$C_V = 3R \approx 25 \cdot 10^3 \text{ j/grad} \cdot \text{kg} \cdot \text{at} \quad (15.7)$$

Isitilganda qattiq jismlarning hajmi juda oz o'zgaradi, shuning uchun ularning bosim o'zgarmas bo'lgan holdagi issiqlik sig'imi hajm o'zgarmas bo'lgan holdagi issiqlik sig'imidan arziygan miqdorda farq qiladi. Modomiki shunday kean,  $C_p \approx C_v$  deb olish va qattiq jismning issiqlik sig'imi to'g'risida gapirish mumkin.

Issiqlik sig'imi bir xil va  $25 \cdot 10^3 \text{ j/grad} \cdot \text{kg} \cdot \text{at}$  bo'ladi. Bu fikr D'yulong va Ptining tajribada topilgan qonunining mazmunidir. Bu qonun ko'p moddalar uchun uy temperaturasi sharoitida yetarlicha aniqlik bilan qanoatlantiriladi.

**4. Erish va kristallash.** Kristall jismning suyuq holatga o'tish protsessi har bir modda uchun tayinli bo'lgan ma'lum bir temperaturada yuz beradi va biror miqdor issiqlik sarflashni talab qiladi. Bu issiqlik miqdori erish issiqligi deb ataladi.



Dastlab kristall holatda bo'lgan moddaga har sekunda ayni bir miqdorda issiqlik berib turilsa, unda jism temperaturasi o'zgarishining vaqtga bog'lanish egri chizig'i rasmda ko'rsatilgan shaklda bo'ladi. Dastlab jismning temperaturasi hamisha oshib boradi.  $T_{er}$  erish temperaturasi yetgach jismga avvalgicha issiqlik berib turilishiga qaramasdan, uning temperaturasi o'zgarmay qo'yadi. Shu bilan bir vaqtda qattiq jismning erish protsessi boshlanadi, bu protsess davomida moddaning yangi-yangi ulushlari suyuqlikka aylanib

boradi. Erish protsessi tomom bo'lib, butun modda batamom suyuq holatga o'tib bo'lgandan keyin temperatura yana ko'tarila boshlaydi.

Erishga teskari bo'lgan kristallanish protsessi quyidagich yuz beradi. Suyuqlikni uning qattiq va suyuq fazalari ma'lum bir bosim sharoitida muvozanatda bo'ladigan temperaturaga qadar (ya'ni erish boshlanadigan temperaturaga qadar) sovutilgan ya'ni vaqtda kristallar o'sa boshlaydi. Bu kristallar kristallanish kurtaklari yoki markazlari deb ataladigan markazlar atrofida hosil bo'ladi. Ayrim kristallchalar borgan sari o'sa borib, oqibatda bir-biriga birikib polikristalik qattiq jism hosil qiladi.

Modda erish vaqtida qancha issiqlik yutgan bo'lsa, kristallanish protsessiga xuddi o'shancha miqdorda issiqlik ajralib chiqadi.

#### 5. I va II - turdagi o'tish. Holat diagrammasi. Uchlama nuqta.

*I - turdagi o'tish.* Zichlik va hajm o'zgaradi. I faza o'tishi bug'lanish va kondensatsiya: erish va qotish, sublimatsiya va kondensatsiya. Bunday o'zgarish sakrashsimon bajariladi va metastabil holat orqali o'tadi.

*II - turdagi o'tish.*

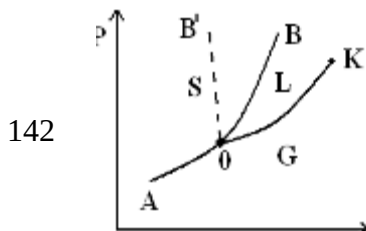
Paramagnit - ferromagnit,

paramagnit - antiferromagnit,

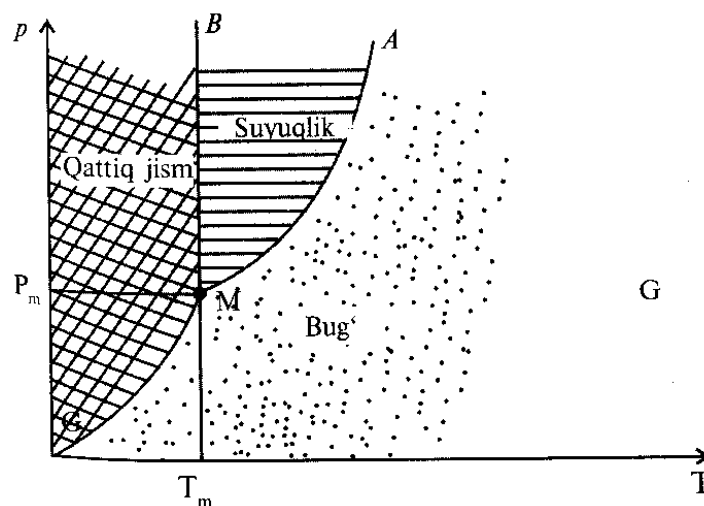
paraelektrik - segnetoelektrik.

Zichlik o'zgarmaydi. Balki modda simmetriyasi o'zgaradi.

**Holat diagrammasi. Uchlama nuqta**



(15.5)



(15.6)

OA – sublimatsiya chizig'i

OB', OB – erish chizig'i

OK – bug'lanish chizig'i

S – qattiq holat

L – suyuq holat

G – gazsimon holat

Moddaning holati va unda ro'y beradigan fazaviy o'tishlarni namoyon qilish uchun holat diagrammasidan foydalaniladi. Odatda bunday diagramma  $p - T$  (bosim – temperatura) koordinatalarida tuziladi. Diagrammaning har bir nuqtasi moddaning har bir holatini aniqlaydi.

Misol uchun suvning holat diagrammasini ko'raylik. CMB sohada suv qattiq holatda (muz), BMA sohada suyuq holatda (suv), CMA sohada gaz holatda (bug') bo'ladi. BM chiziq qattiq va suyuq (muz va suv), MA chiziq va bug' (suv va bug'), CM qattiq va bug' (muz va bug') muvozanat holatlarini ko'rsatadi. CM chizig'iga sublimatsiya chizig'i ham deyiladi.

**Uchlamchi nuqta.** Muvozanat chiziqlarining har uchasi ham bitta M nuqtada kesishadi. Bu nuqtaga uchlamchi nuqta deyiladi. Harorat  $T_m$  va bosimning  $p_m$  qiymatlarida suv uchta fazaviy: qattiq, suyuq va bug' holatlarida bo'ladi. Suv uchun  $T_m = 273,16 \text{ K}$  ga teng.

Har bir modda uchun holat diagrammasi o'ziga xos bo'lib, tajiba natijalariga asosan tuziladi.

### Mavzuni mustahkamlash uchun savollar

1. Amort jismlar qanday jismlar?
2. Polimerlar qanday hosil qilinadi?
3. Polimerlarning turlari.
4. Bug'lanish deganda nimani tushunasiz?
5. Sublimatsiya deganda nimani tushunasiz?
6. Faza nima?
7. Fazaviy o'tish nima?
8. Kristallardagi atomlararo bog'lanishning turlarini aytib o'ting.
9. Suyuq kristallar deb nimaga aytiladi?
10. Holat diagrammasini izohlab bering.

### Uyga vazifa:

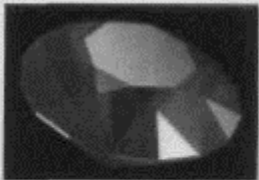
- 1) Internet saytlardan fazoviy holat diagrammasi bazasini to'ldirish.
- 2) Solishtirma bog'lanish.
- 3) Solishtirma erish issiqlik sig'imi
- 4) Fazoviy muvozanat va fazoviy o'tishlar
- 5) Suyuq kristallar.

### 15-ma'ruzaning ilovalari

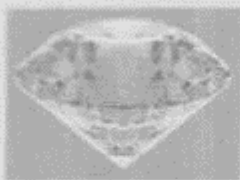
#### SLAYDLAR

## QATTIQ JISMLARNING XOSSALARI

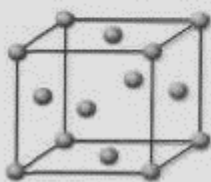
### Kristall jism



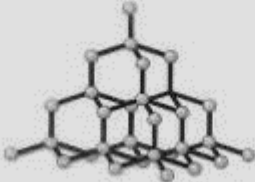
*Qimmatbaho toshlar*



*Kristall*



*Kristall panjara*

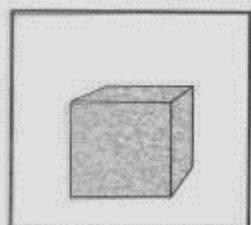


*Olmosning kristall panjarasi*

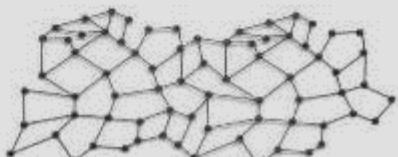
### Amorf jism



*Mum, parafin*



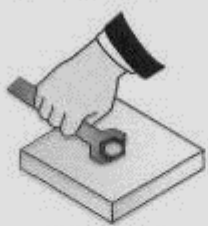
*Qand*



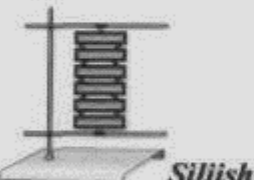
### Deformatsiyaning turlari



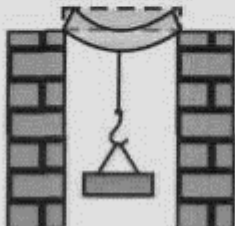
*Cho'zish siqilish*



*Buralish*



*Siljish*



*Egilish*

### Guk qonuni

$$\sigma = E |\varepsilon|$$

*Bikrlik koeffitsiyent*

$$F = -kx$$

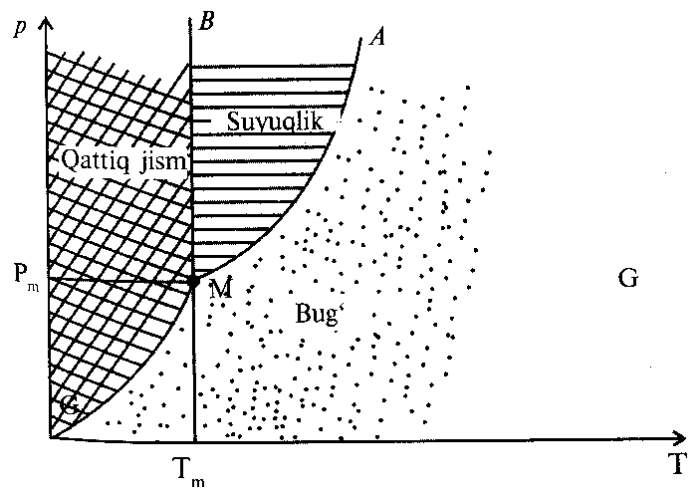
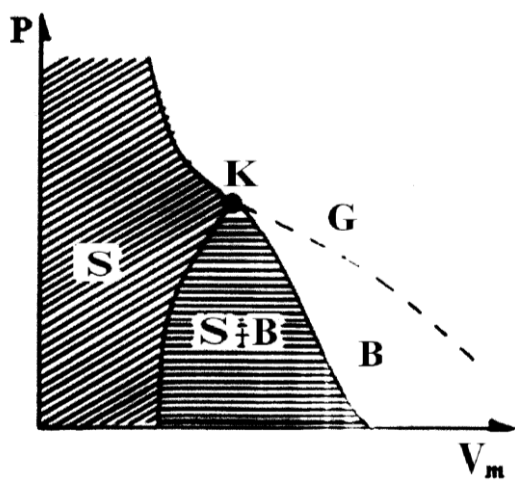
*Mexanik kuchlanish*

$$\frac{N}{m} \quad k = \frac{F}{|x|} \quad \sigma = \frac{F_{el}}{S} \quad Pa$$

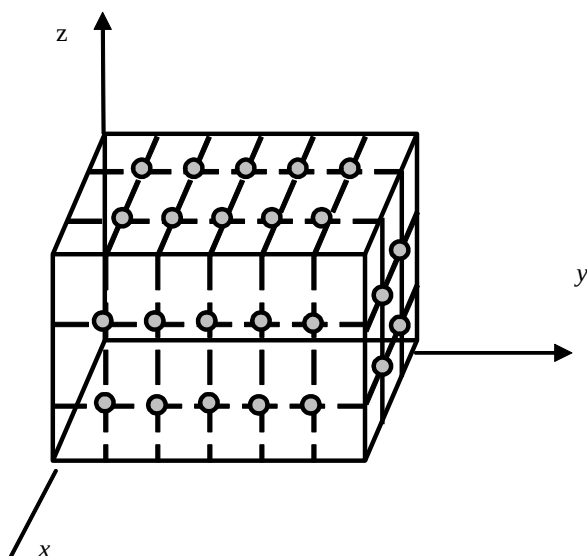
$\sigma$  - mexanik kuchlanish, Pa  
 $F_{el}$  - elastiklik kuchi  
 $S$  - ko'ndalang kesim yuzasi  
 $E$  - Yung moduli, Pa  
 $\varepsilon$  - nisbiy uzayish  
 $k$  - bikrlik koeffitsiyenti  
 $x$  - uzayishi



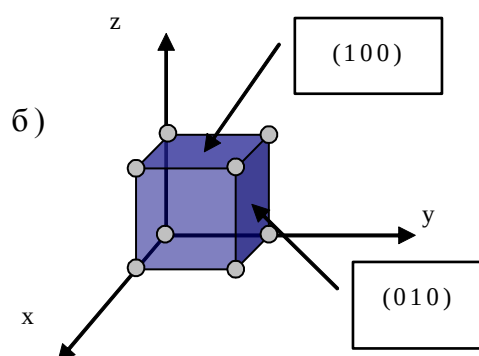
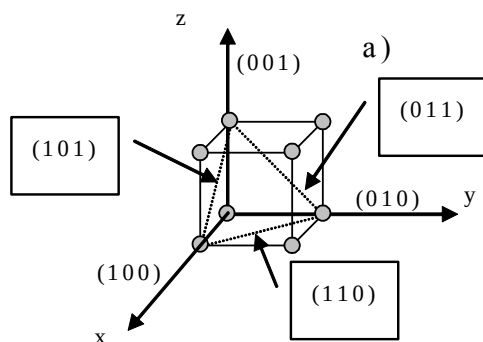
S – suyuqlik,  
 B - bug',  
 G – gaz,  
 K – kritik nuqta



## KRISTALLARNING TUZILISHI

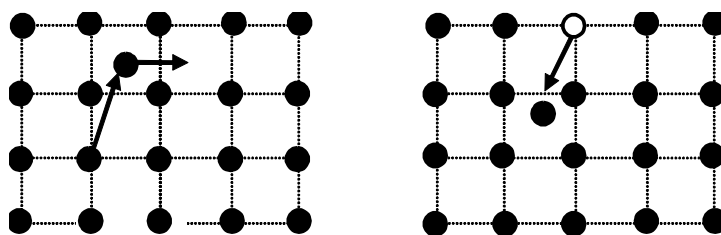


## KRISTALLARNING SIMMETRIYA O'QLARI

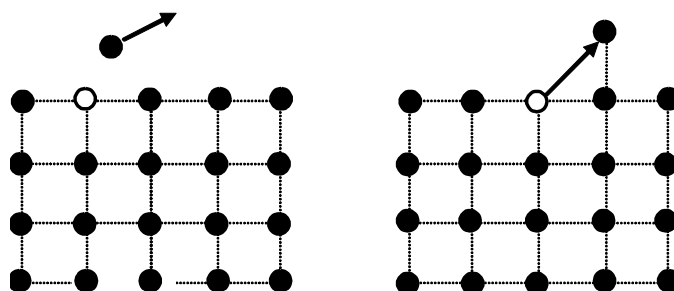


## KRISTALLARDAGI NUQSONLAR

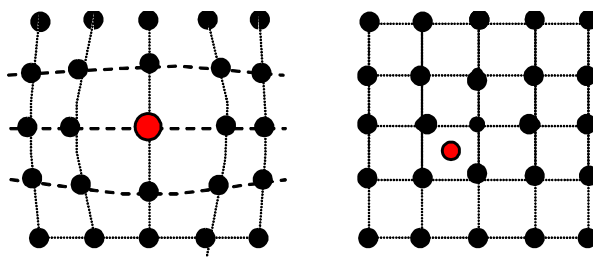
### NUQTALI YOKI FRENKEL NUQSONLARI



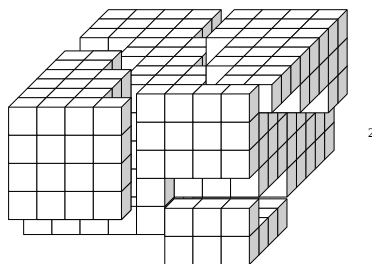
### HOTTKI NUQSONLARI



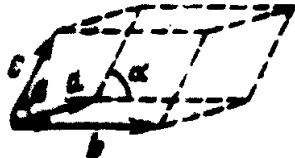
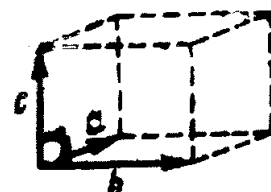
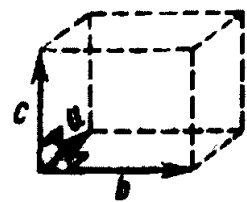
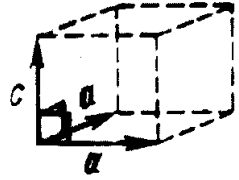
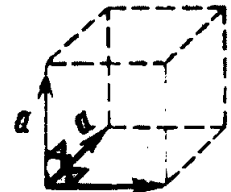
## NUQSONLAR REKOMBINATSIYASI



## SIRT NUQSONLAR



## Kristallarning xarakteristikasi

| No | Kristallar grafik tizimi | Elementar yacheykani xarakteristikasi                                 | Elementar yacheykani shakli                                                           |
|----|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Uch yoqli                | $a \neq b \neq c$<br>$\alpha \neq \beta \neq \gamma$                  |    |
| 2  | Ko'p yoqli               | $a \neq b \neq c$<br>$\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$          |    |
| 3  | Rombik                   | $a \neq b \neq c$<br>$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$             |   |
| 4  | Tetraedrik               | $a = b \neq c$<br>$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$                |  |
| 5  | Romboedrik               | $a = b = c$<br>$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$                |  |
| 6  | Geksagonal               | $a = b \neq c$<br>$\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma = 120^\circ$ |  |
| 7  | Kubik                    | $a = b = c$<br>$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$                   |  |

## 16-MA'RUZA. KO'CHISH HODISALARI.

### Reja:

1. Fizikaviy kinetika haqida tushuncha. Relaksatsiya vaqti
2. Diffuziya va issiqlik o'tkazuvchanlik hamda ularning koeffitsiyentlari.
3. Qovushqoqlik. Gazlar qovushqoqligi. Suyuqliklarning
4. qovushqoqlik koeffitsiyenti.
5. Suyuqlik sochilishning effektiv kesimi. Dinamik va kinematik qovushqoqlik.

**Tayanch iboralar:** sochilishning effektiv kesimi, relaksatsiya, diffuziya, gazlar diffuziyasi, diffuziya koeffitsiyenti, qovushqoqlik.

**Ko'rgazmali qurollar:** Mavzuga doir slaydlar, animatsiya, plakatlar.

### O'tilgan mavzuni takrorlash

1. Amort jismlar qanday jismlar?
2. Polimerlar qanday hosil qilinadi?
3. Polimerlarning turlari.
4. Bug'lanish deganda nimani tushunasiz?
5. Sublimatsiya deganda nimani tushunasiz?
6. Faza nima?
7. Fazaviy o'tish nima?
8. Kristallardagi atomlararo bog'lanishning turlarini aytib o'ting.
9. Suyuq kristallar deb nimaga aytiladi?
10. Holat diagrammasini izohlab bering.

### Mavzuning borishi:

#### 1. Fizikaviy kinetika haqida tushuncha. Relaksatsiya vaqti

*Fizikaviy kinetika haqida tushuncha.* Sistema termodinamik muvozanatda bo'ladi. Biror sabab tufayli sistema muvozanat holatda bo'lmasa yoxud muvozanat holatdan chiqarilgan, lekin o'z holicha qoldirilgan bo'lsa, mazkur sistemada shunday jarayonlar amalga oshadiki, natijada muvozanat holatga qaytadi.

Fazoning turli nuqtalarida gaz komponentlarining konsentratsiyasi bir xil bo'lmay qolishi mumkin. Bu holda molekulalarning issiqlik harakati tufayli konsentratsiyalarning tenglashish protsessi yuz beradi, bu protsessda *i*-komponentaning massasi uning konsentratsiyasi kamayadigan yo'nalishda ko'chadi. Bu protsess diffuziya deb ataladi

*Relaksatsiya vaqti.* Sistemaning termodinamik muvozanat holatiga o'z-o'zicha o'tish jarayonini relaksatsiya deb, bunday o'tishga sarflanadigan vaqtni esa *relaksatsiya vaqti* deb ataladi. Termodinamik muvozanat holatining qaror topishida *ko'chish hodisalari* muhim rol o'ynaydi. Ko'chish hodisalariga mansub bo'lgan hodisalardan biri-diffuziyadir.

## 2. Diffuziya va issiqlik o'tkazuvchanlik hamda ularning koeffitsiyentlari.

*Diffuziya va issiqlik o'tkazuvchanlik hamda ularning koeffitsiyentlari.* Gazni chegaralab turgan sirtlarga parallel bo'lgan OY va OZ o'qlar yo'nalishida esa temperatura o'zgarmaydi. OX o'qqa perpendikulyar bo'lgan ixtiyoriy  $\Delta S$  yuzli sirt orqali OX yo'nalishida  $\Delta\tau$  vaqt davomida uzatilayotgan issiqlik miqdori Fur'ye qonuni deb ataladigan quyidagi munosabat bilan aniqlanadi.

$$\delta Q = -\alpha \frac{dt}{dx} \Delta S \Delta\tau \quad (16.1)$$

Bundagi minus ishora issiqlik miqdorining temperatura pastroq bo'lgan tomonga uzatilayotganligini ko'rsatadi.  $\alpha$  esa *issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti* 16.1 ifodaga asosan

$$\alpha = \frac{\delta Q}{\left| \frac{dT}{dx} \right| \Delta S \Delta\tau} \quad (16.2)$$

Molekulasining erkinlik darajasi soni  $i$  bo'lgan gaz birlik hajmidagi molekulalar sonini  $n$  deb belgilasak, uning energiyasi

$$U = n \frac{i}{2} kT \quad (16.3)$$

ifoda bilan aniqlanadi. Mazkur munosabatdan temperatura bo'yicha olingan birinchi tartibli hosila ( $\frac{dU}{dT}$ ) birlik hajmdagi gazning sig'imini ifodalaydi. Ikkinchi tomondan, birlik hajmdagi gaz massasi birlik massadan  $\rho$  marta katta bo'lganligi tufayli uning issiqlik sig'imi ham shu gazning solishtirma issiqlik sig'imidan  $\rho$  marta katta, ya'ni  $\rho c$  bo'ladi. Shuning uchun

$$\rho c_v = \frac{dU}{dT} = n \frac{i}{2} k \quad (16.4)$$

Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti.

$$\alpha = \frac{1}{3} \rho c_v g_{o'r} l_{o'r} \quad (16.5)$$

Bu yerda  $\rho$  gaz zichligi  $c_v$  hajm o'zgarmas bo'lgandagi issiqlik sig'imi  $g_{o'r}$  molekulyarlik o'rtacha tezligi  $l_{o'r}$  = molekulalarning o'rtacha erkin chopish yo'li gaz zichligi molekulyar konsentratsiyasi

$$\rho = nm \quad (16.6)$$

Va molekulyar erkin chopish yo'li qiymatlaridan foydalansak

$$l_{o'r} = \frac{1}{\sqrt{2} \delta n}$$

(16.7)

Bu yerda  $\delta = \pi d_{ef}^2$

$$\delta = \frac{1}{3} n m_M c_v \vartheta_{yp} \frac{1}{\sqrt{2} \sigma n} = \frac{1}{3 \sqrt{2} \sigma} m_M c_v \vartheta_{yp}$$

(16.8)

demak diffuziya koeffitsienti (D) dan farqli ravishda issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti gazning zichligi ( $\rho$ ) ga ham, bosimi (p)ga ham bog'liq emas.

*Gazlarda diffuziya koeffitsienti.* Diffuziya koeffitsientining gazokinetik ifodasini topamiz.

$$D = \frac{1}{3} \vec{g} l_{o'r}$$

(16.9)

D ning o'lchov birligi m<sup>2</sup>/sek ekanligi  $D = \frac{1}{3} \vec{g} l_{o'r}$  dan kelib chiqadi.

$\eta$  - bilan D orasidagi quyidagi bog'lanishni topamiz:

$$D = \frac{1}{3} \vec{g} \lambda \quad \text{ga} \quad \vec{g} \quad \text{va} \quad \lambda \quad \text{ning ifodasini qo'yib,}$$

(16.10)

$$D \sim \frac{1}{n \delta \sqrt{m}} \sqrt{T}$$

(16.11)

$l_{o'r}$ -erkin yugurish yo'lining o'rtacha qiymati,  $\sigma$ -molekulalar effektiv kesim

Ekanligini topish mumkin.  $\eta$  va  $x$  lardan farqli o'laroq diffuziya koeffitsienti hajm birligidagi molekulalar soniga va binobarin P bosimga teskari proporsional ekan:

$$D \sim \frac{1}{P}$$

(16.12)

D ning temperaturaga bog'lanishi xuddi  $\eta$  va  $x$  ning temperaturaga bog'lanishi kabi bo'ladi.

Turli massali va turli kesimli molekulalar aralashmasi uchun diffuziya koeffitsienti quyidagicha ifodalanishi hisoblab topilgan:

$$D = B \sqrt{\frac{T}{m'}} \frac{1}{d_{12}^2 n}$$

(16.13)

Bu erda B sonli koeffitsient,  $m' = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$  - molekullarning keltirilgan

massa deb ataluvchi massasi va  $d_{12} = \frac{d_1 + d_2}{2}$  - effektiv diametrlarning yarim yig'indisi.

$$\alpha = \frac{1}{3} n m_M c_v g_{o'r} \frac{1}{\sqrt{2} \delta n} = \frac{1}{3 \sqrt{2} \delta} m_M c_v g_{o'r}$$

### 3. Qovushqoqlik. Gazlar qovushqoqligi. Suyuqliklarning qovushqoqlik koeffitsiyenti.

**Qovushqoqlik.** Gazning turlicha tezliklar bilan harakatlanayotgan ikki o'zaro parallel qo'shni qatlamlari orasida vujudga keladigan ishqalanish kuchlari tarzida namoyon bo'ladi. Tezroq harakatlanayotgan qatlam tomonidan sekinroq harakatlanayotgan qatlamga tezlatuvchi kuch ta'sir etadi. Aksincha, sekinroq harakatlanayotgan qatlam tezroq harakatlanayotgan qatlamga tormozlovchi ta'sir ko'rsatadi. Vujudga keladigan ishqalanish kuchlari ishqalanuvchi qatlamlar sirtiga urinma ravishda yo'nalgan bo'ladi.

**Gazlar qovushqoqligi.** Agar gaz oqimidagi  $i$  tezlik qatlamdan qatlamga o'zgarsa, u holda ikkita qo'shni qatlam chegarasida ichki ishqalanish kuchi ta'sir qiladi.

$$f = \eta \frac{du}{dz} \Delta S \quad (16.14)$$

Bu erda  $\eta$ - qovushqoqlik koeffitsienti (yoki chiki ishqalanish koeffitsienti),  $\frac{du}{dz}$  tezlik gradienti, ya'ni gaz harakatining  $u$  tezligi qatlamlari ajralib turgan sirtga perpendikulyar bo'lgan  $z$  yo'nalishda naqadar tez o'zgarishini ko'rsatadigan kattalik,  $S$  esa  $f$  ga ta'sir qilayotgan sirtning kattaligi.

Gazlarning qovushqoqlik koeffitsientining biz topgan ifodasi tekshiraylik.  $P$  o'rniga  $n m$  qo'yib va  $v$  o'rtacha tezlik  $\sqrt{T/m}$  ga proporsional, erkin yugurish yo'lining o'rtacha  $\lambda$  uzunligi esa  $1/nd^2$  ga proporsional ekanligini e'tiborga olib, qovushqoqlik koeffitsientini quyidagicha yozish mumkin.

$$\eta \sim n m \sqrt{\frac{T}{m}} \frac{1}{nd^2} \sim \frac{\sqrt{m}}{\delta} \sqrt{T} \quad (16.15)$$

Agar biro  $z$  yo'nalish bo'ylab temperatura doimiy qolmasa, u holda o'sha yo'nalish bo'ylab issiqlik oqimi qaror topishi tajribada aniqlangan. Bu issiqlik oqimining kattaligi

$$q = - \kappa \frac{dT}{dz} S \quad (16.16)$$



formula bilan aniqlanadi, bu yerda  $q$  -  $z$  o'qqa perpendikulyar vaziyatda joylashgan  $S$  yuz orqali vaqt birligi ichida oqib o'tadigan issiqlik miqdori,  $\frac{dT}{dz}$  - temperatura gradienti  $x$  - muhitning xossalriga bog'liq bo'lgan proportsionallik koeffitsientidir; u issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti deb ataladi.  $Q$  ning o'lchamligi  $J/sec$

$S$  biz oraliq  $t$  vaqt ichida oqib o'tadigan  $Q$  issiqlik miqdorini hisoblab uchun  $q$  ni  $e$  ga ko'paytirish kerak:

$$Q = qt = -x \frac{dT}{dz} St \quad (16.17)$$

Gaz aralashmasining bosimi ayrim komponentalar partsial bosimlarining yig'indisiga teng va hajm birligidagi molekulalarning to'liq soni bilan aniqlanadi:

$$p = \sum P_i = \sum n_i kT = nkT \quad (16.18)$$

Molekulalarning issiqlik harakati tufayli kontsentratsiyalarning tenglashish protsessi yuz beradi, bu protsessda  $i$  - komponentaning massasi uning kontsenratsiyasi kamayadigan yo'nalishda ko'chadi. Bu protsess diffuziya deb ataladi.

Tajribalar asosida gaz qatlamining  $\Delta S$  yuzli sirtiga ta'sir etadigan ichki ishqalanish kuchi

$$F = -\eta \frac{dV}{dT} \Delta S \quad (16.19)$$

formula bilan ifodalanishi aniqlangan. Mazkur ifoda Nyuton deb undagi  $\eta$  - ichki ishqalanish koeffitsienti yoki qovushqoqlik koeffitsienti deb ataladi. Yuqoridagi formulaga asosan;

$$\eta = \frac{F}{\left| \frac{du}{dx} \right| \Delta S} \quad (16.20)$$

bo'ladi. Demak, gazning qovushqoqlik koeffitsienti tezlik gradient 1 birlikka teng ( ya'ni  $1 \frac{m}{c} : 1M = 1c^{-1}$  ) bo'lgan holda qatlam sirtining birlik yuziga ta'sir etadigan bchki ishqalanish kuchining miqdori bilan harakterlanuvchi kattalikdir.

Qovushqoqlik koeffitsiyenti  $\frac{H}{c^{-1} \cdot M^2} = \Pi a \cdot c$  (paskal- sekund) hisobida o'lchanadi.

*Suyuqliklarning qovushqoqlik koeffitsiyenti.* Real suyuqliklarda harakat ideal suyuqliklardagidan farqli bo'lib ularda ichki ishqalanish kuchlari vujudga keladi. Bunday suyuqliklarda ichki ishqalanish kuchlari qatlamlarning harakatiga va demak, undagi jismlarning harakatiga ham qarshilik ko'rsatuvchi kuch sifatida namoyon bo'ladi. Suyuqlik qatlamlari orasida mavjud bo'lgan ishqalash kuchi  $F$  uchun Nyuton quyidgi qonuniyatni aniqladi:

$$F = \eta \left| \frac{d \vartheta}{dz} \right| \cdot S$$

(16.21)

Bunda  $\eta$  – suyuqlikning yopishoqlik koeffitsienti.

$S$  – qatlamlar yuzasi.  $\frac{d \vartheta}{dz}$  - kattalik (tezlik gradienti) bir qatlamdan ikkinchi qatlamga o'tganida suyuqlik qatlamlari tezliklarining o'zgarish jadvallini ifodalaydi.

$\vec{F}$  ishqalanish kuchi ikki "qo'shni" qatlamning tezroq harakatlanayotganini to'xtatishga, sekinroq harakatlanayotganini esa tezlatishga intiladi.

$\eta$ - yopishqoqlikning SI dagi birligi qilib shunday suyuqlikning yopishqoqligi olinadiki, bunda tezlik gradienti 1 metrga 1m/s bo'laganda, suyuqlikning ikki "qo'shni" qatlamlari orasidagi  $S=1\text{m}^2$  sirt mavjud bo'lgan ishqalashi kuchi 1N ga

teng bo'ladi. Bu birlik paskal sekund  $\frac{NS}{m^2} = P_a S$  deb ataladi.

Suyuqlikning yopishqoqligi temperaturaga bog'liq bo'lib, temperatura oshishi bilan uning kamayishi kuzatiladi. Masalan, kastor yoqri temperatura  $18^0\text{S}$  dan  $40^0\text{S}$  gacha o'zgarsa yopishqoqlik 4 marta kamayadi.

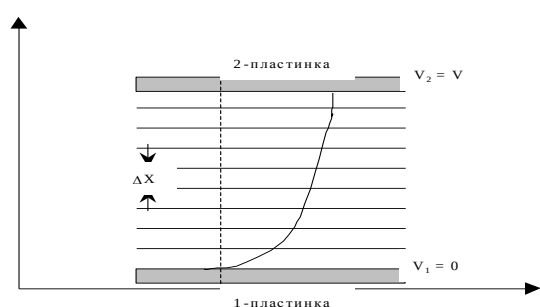
## **6. Suyuqlik sochilishning effektiv kesimi. Dinamik va kinematik qovushqoqlik.**

*Suyuqlik sochilishning effektiv kesimi.* Suyuqlikning harakatlanishi haqida fikr yuritish uchun qattiq jismlarga xos bo'lmagan yangi tushuncha va kattaliklardan foydalanamiz. Xususan, suyuqlikning harakatlanishi oqish deyiladi va harakatlanayotgan suyuqlik zarralarning to'plamini oqim deb yuritiladi. Oqimdagi har bir zarra muayyan paytda aniq  $\vartheta$  tezlikka ega. Lekin suyuqlikning har bir individual zarrasi harakatini kuzatishdan ko'ra boshqacharoq yo'l tutgan ma'qul. Buning uchun oqim chiziqlari tushunchasidan foydalaniladi. Oqim chizig'i suyuqlik ichidagi shunday hayoliy chiziqki, uning har bir nuqtasiga o'tkazilgan urinma chiziq urinish nuqtasi orqali o'tayotgan suyuqlik zarrasi oniy tezligining yo'nalishiga mos bo'ladi. Oqim chiziqlari yordamida tezlik vektorining yo'nalishinigina emas, balki tezlik qiymatini ham tasvirlash mumkin. Buning uchun suyuqlik harakati yo'nalishiga perpendikulyar ravishda muayyan sohaga joylashtirilgan birlik yuzani kesib o'tuvchi oqim chiziqlarning soni shu sohadagi

suyuqlik zarralari tezligining qiymatiga proporsional qilib o'tkazilishi lozim. Demak, tezligi kattaroq bo'lgan sohalarda oqim chiziqlari zichroq bo'ladi.

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 traektoriyasi sifatida ham hizmat qiladi.

Dinamik va kinematik qovushqoqlik. Suyuqlik (gaz) qatlamlarining bir-biriga nisbatan harakatlanishi jarayonida ichki ishqalanish kuchlari vujudga keladi. Bunga quyidagi tajribada ishonch hosil qilish mumkin. Ikki o'zaro paralel gorizontall plastinkalarning biri ikkinchisining tepasida joylashgan bo'lib, ular oralig'ida biror suyuqlik, masalan, suv qatlami mavjud (16.1-rasm). Pastdagi plastinka harakatlanmaydi, ya'ni  $v_1 = 0$ . Yuqoridagi plastinkani  $v_2 = v$  tezlik bilan harakatlantiraylik. Bu plastinkaga bevosita tegib turgan suyuqlik qatlami molekulyar tutinish kuchi tufayli plastinkaga yopishgan bo'ladi va u bilan birga  $v$  tezlik bilan harakatlanadi. Pastdagi plastinkaga bevosita tegib turgan suyuqlik qatlami esa shu ko'zg'almas plastinkaga yopishganligi tufayli harakatlanmaydi. Oraliq qatlamlarning tezliklari esa 16.1-rasmda tasvirlangan.



16.1-rasm

Suyuqlik har bir qatlamning o'ziga qo'shni quyi qatlamga nisbatan tezligi harakatlanayotgan plastinka yo'nalishida, qo'shni yuqori qatlamga nisbatan tezligi esa plastinka harakatiga teskari yo'nalgan bo'ladi. Bundan quyidagi hulosaga kelamiz: 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 hossasi esa yopishqoqlik deb ataladi.

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  $\frac{\Delta \eta}{\Delta x}$  kattalikka to'g'ri proporsional :

### **Mavzuni mustahkamlash uchun savollar**

1. Diffuziya deb nimaga aytiladi?
2. Diffuziya temperaturaga bog'liqmi?
3. Gazlarning qovushqoqlik koeffisientini keltirib chiqaring.
4. Effuziya nima?
5. Relaksatsiya vaqti deb nimaga aytiladi?
6. Fizikaviy kinetika haqida tuhsuncha bering.
7. Gazlarda qovushqoqlik deb nimaga aytiladi?
8. Suyuqliklarda qovushqoqlik deb nimaga aytiladi?

### **Uyga vazifa:**

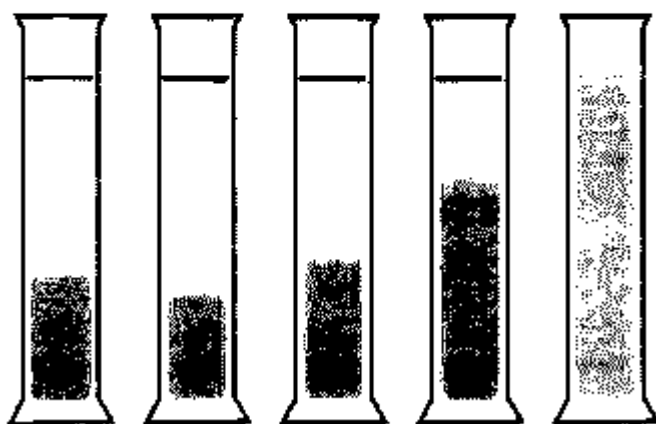
Kompyuter texnikasida o'ta siyraklashgan gazlardan manitorda foydalanish darajasi.

Sochilishning effektiv kesimi va dinamik va kinematik qovushqoqlikni internet saytlardan o'rganish.

Gazlar va qattiq jismlarda difuzziya.

**Issiqlik harakati natijasida molekulalarning bir-biri bilan aralashishiga diffuziya deyiladi.**

**Suyuqlikda diffuziya**



**2-3 kun (suv va mis kuporosi)**

**Gazlarda diffuziya  
odam**



**bir necha  
daqqa**



**ko'fe**

**Qattiq jismda diffuziya**

**Tajriba boshi**



**Oltin**

**200 °C  
10 kun**

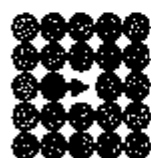
**Tajriba oxiri**



**Oltin**

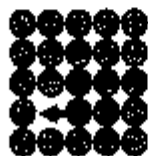
**Qo'rg'oshin**

**Qo'rg'oshin**



**1**

**2**



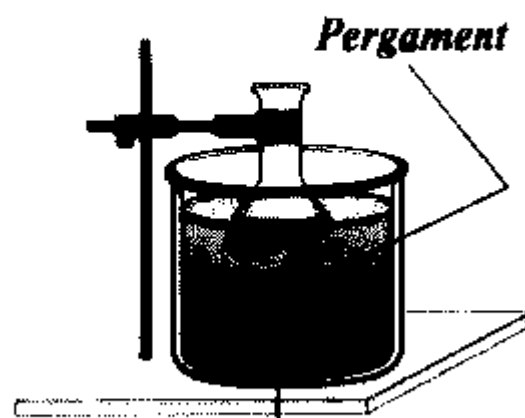
**4**

**3**



**Osmos**

**Moddalarning teshikli  
to'siqlar orqali o'tishi**



**Qand yoki mis kuporosi  
eritmasi**

## **17 MA'RUZA. TEBRANISHLAR. SO'NUVCHI VA MAJBURIY TEBRANISHLAR.**

### **Reja:**

1. Tebranishlar. Tebranish jarayonlari haqida umumiy ma'lumot. Turli fizik tabiatga ega bo'lgan tebranishlarga umumiy munosabat.

2. Garmonik assilyatorlar. Garmonik tebranishlar. Mexanik, garmonik tebranishlar tenglamasi, ularning yechimi va talqini.

3. Tebranishlarni qo'shish. So'nuvchi va majburiy tebranishlar. Erkin so'nuvchi tebranishlar. So'nuchi tebranishlar tenglamasi. So'nish koeffitsiyenti

4. Tebranma harakat qilayotgan jismning energiyasi. Ossilyator uchun energetik munosabatlar. Logarifmik dekremenent, asillik, izoxrolik.

5. Bog'langan assilyator tushunchasi. Ossilyatorga davriy turtkning ta'siri. Rezonans. Rezonans egri chiziqlari.

**Tayanch iboralar:** tebranma harakat, garmonik tebranish, tebranish amplitudasi, chastotasi, fazasi, davri; vektorlar diagrammasi, tebranishlarni qo'shish, tebranish tenglamasi, garmonik tebranish energiyasi, tebranish konturi, elektromagnit tebranishlar, Tomson formulasi, mayatnik, matematik mayatnikning, garmonik ossilyator, ossilyator energiyasi, tebranishlar spektri, so'nuvchi tebranishlar, rezonans.

**Ko'rgazmali qurollar:** Mexanik elektromagnit tebranishlar slaydlar majmuasi, Mexanik elektromagnit tebranishlar elektron dasturning animatsiyalari, Mexanik elektromagnit tebranishlar plakatlar, Prujunali fizik, matematik va tebranish konturining demanstratsiyasi.

### **O'tilgan mavzuni takrorlash:**

1. Diffuziya deb nimaga aytiladi?
2. Diffuziya temperaturaga bog'liqmi?
3. Gazlarning qovushqoqlik koeffisientini keltirib chiqaring.
4. Effuziya nima?
5. Relaksatsiya vaqti deb nimaga aytiladi?
6. Fizikaviy kinetika haqida tuhsuncha bering.
7. Gazlarda qovushqoqlik deb nimaga aytiladi?
8. Suyuqliklarda qovushqoqlik deb nimaga aytiladi?

### **Mavzuning borishi:**

1. Tebranishlar. Tebranish jarayonlari haqida umumiy ma'lumot. Turli fizik tabiatga ega bo'lgan tebranishlarga umumiy munosabat.

*Tebranishlar.* Tabiat xodisalari orasida davriy jarayonlarni uchratib turamiz. Masalan: kun bilan tunning almashishi, sayyoralarning Quyosh va o'z o'qi atrofida aylanishi, soat mayatnigining harakati, ichki yonish dvigatel

tsilindrda porshenning harakati, dutor, rubob kabi musiqa asboblari torlarining tebranishi va shunga o'xshashlar davriy jarayonlarga misol bo'ladi.

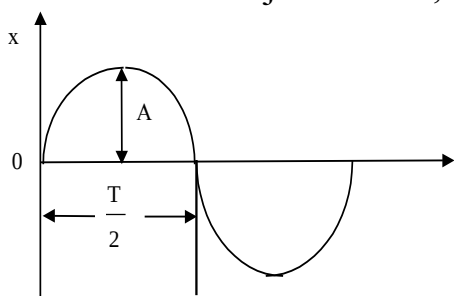
*Tebranish jarayonlari haqida umumiy ma'lumot.* Jismning muvozanat vaziyatidan goh bir tomonga, goh qarama-qarshi tomonga harakatlanishidan iborat davriy ravishda takrorlanadigan jarayonni *tebranma harakat* deyiladi. Jismning harakat traektoriyasini vaqt bo'yicha o'zgarishi sinus yoki kosinuslar qonuni bo'yicha o'zgaradigan tebranishlarga *garmonik tebranishlar* deyiladi:

$$X=A \sin(\omega t+\alpha) \quad (17.1)$$

yoki

$$X=A \cos(\omega t+\alpha) \quad (17.2)$$

Bunda  $X$ -jismning muvozanat xolatidan siljishi,  $A$ -jismning muvozanat xolatidan maksimal siljishi bo'lib, *uni tebranish amplitudasi* deyiladi. Sinus yoki



17.1-rasm

kosinusning eng katta qiymati birga tengligi uchun  $X_{\max} = A$  bo'ladi;  $(\omega t+\alpha)$ -*garmonik tebranishning fazasi*,  $\alpha$ -tebranishning *boshlangich fazasi* deyiladi.  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  -

berilgan tebranish uchun doimiy bo'lib, garmonik tebranishning *siklik yoki doiraviy chastotasi* deyiladi. 17.1-rasmda (17.2)

tenglama bilan ifodalangan garmonik tebranish grafigi ko'rsatilgan ( $\alpha=0$ ).

*Turli fizik tabiatga ega bo'lgan tebranishlarga umumiy munosabat.* Jismning bitta to'liq tebranishi amalga oshishi uchun ketgan vaqt *DAVR* ( $T$ ) deyiladi. Agar  $t$  vaqtda jism  $n$  marta tebrangan bo'lsa, uning davri

$$T= \frac{t}{n} , (c) \quad (17.3)$$

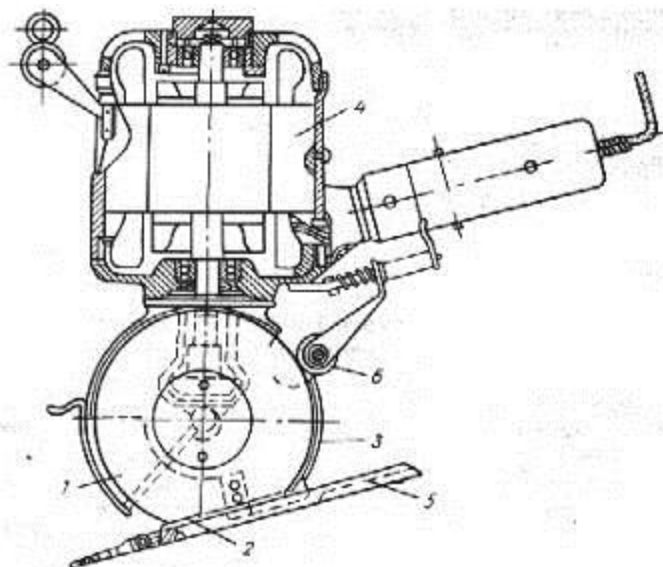
ga teng bo'ladi. Birlik vaqt davomidagi tebranishlar soni *chastota* deyiladi:

$$\nu = \frac{1}{T} , ( \frac{1}{c} = 1\text{Hz} ) . \quad (17.4)$$

Siklik va chiziqli chastotalar orasida quyidagicha bog'lanish bor:

$$\omega = 2\pi\nu, \quad (17.5)$$

bunda  $\omega - 2\pi$  sekund ichida to'la tebranishlar sonini ifodalaydi.



EZDM-3 disk pichoqli ko'chma bichish mashinasi.

Mutaxassislik fani bilan bog'liqligi.

## 2. Garmonik assilyatorlar. Garmonik tebranishlar. Mexanik, garmonik tebranishlar tenglamasi, ularning yechimi va talqini.

*Garmonik assilyatorlar.* Bu tebranishlarni vujudga keltiruvchi moslama va qurilmalarga aytiladi. Garmonik osilyatorlarga purjinali, matematik va fizik mayatniklar kiradi.

*Garmonik tebranishlar* Garmonik tebranishlar deb sinus yoki kosinuslar qoidasiga buyso'ngan holda vujudga keladigan takrorlanib turadigan harakatga aytiladi. Garmonik tebranishning tenglamasi quyidagiga ega:

$$X = A \cos(\omega_0 t + \varphi) \quad (17.6)$$

*Mexanik, garmonik tebranishlar tenglamasi, ularning yechimi va talqini.* Garmonik tebranishlarning harakat tenglamasidan olingan birinchi taritibli differentsialga teng bo'lganligi uchun

$$\mathcal{D} = dx/dt = A\omega \sin(\omega t + \varphi) \quad (17.7)$$

Garmonik tebranishning tezlanishi

$$a = d\mathcal{D} / dt = d^2 x / dt^2 = \mathcal{D}\omega^2 \cos(\omega t + \varphi) \quad (17.8)$$

Garmonik tebranishlarni vujudga keltiruvchi kuch Nyutonning qonuniga asosan

II-

$$F = ma = -m d^2 x / dt^2 = -a\omega^2 \cos(\omega t + \varphi) \cdot m \quad (17.9)$$



Tenglamadagi (-) ishora garmonik tebranishlarni vujudga keltiruvchi qaytaruvchi kuch siljish masofasiga qarama-qarshi yo'nalganligini bildiradi. Garmonik tebranishlarning energiyasi garmonik tebranishlarga ta'sir etuvchi kuch tenglamasidan kelib chiqadi:

$$F = -kx$$

(17.10)

Nyutonning ikkinchi qonuniga asosan kuch  $F=ma$  ifodasini (17.9) bilan taqqoslasak;  $ma = -kx$ ;  $a = \frac{d^2x}{dt^2}$  bo'lgani uchun  $m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx$  yoki

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + kx = 0. \quad (17.11)$$

(17.11) *garmonik harakatning differentsial tenglamasidir.* Tebranishlarni talqin qilishning kompleks shaklini bayon qilamiz. Matematikada kompleks sonlar nazariyasidan  $\xi$  (kcu) kompleks son quyidagicha yozilishi ma'lum:

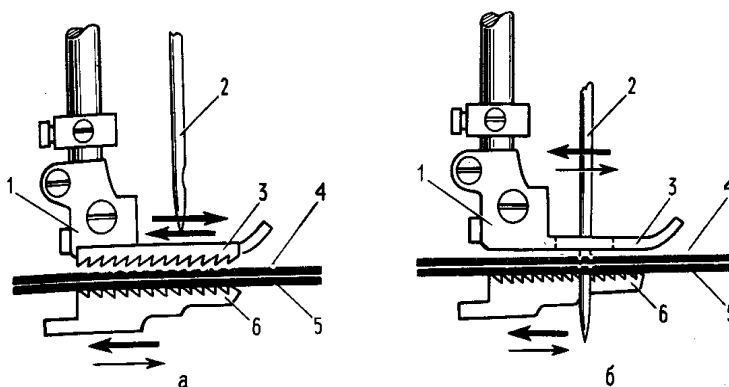
$$\xi = Ae^{i\varphi} = A(\cos\varphi + i \sin\varphi) \quad (17.12)$$

bunda  $A$  va  $\varphi$  - haqiqiy sonlar,  $e$ -natural logarifm asosi,  $i = \sqrt{-1}$ .

Bu sonning haqiqiy qismi  $A\cos\varphi$ , mavhum qismi esa  $A\sin\varphi$  ga teng.

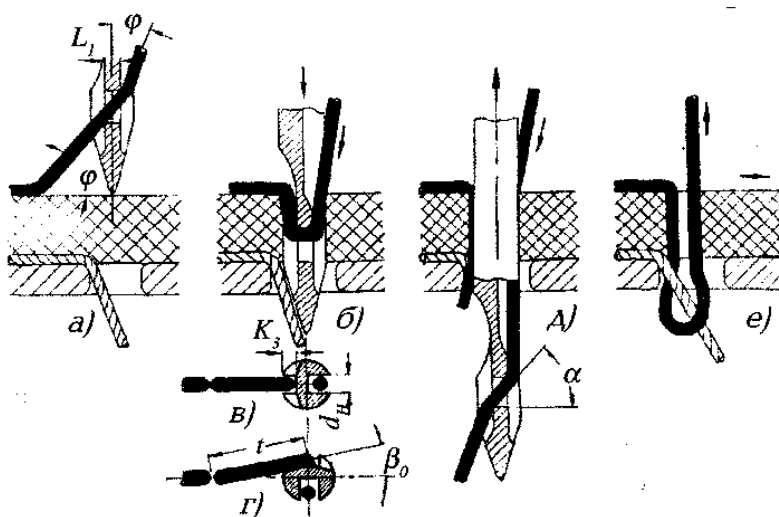
Kompleks sonlardan foydalanish trigonometrik funktsiyalar ustida matematik amallarni bajarishni engillashtiradi. Buni quyidagi misolda ko'ramiz:

$$X = A\cos(\omega t + \alpha) \quad (17.13)$$

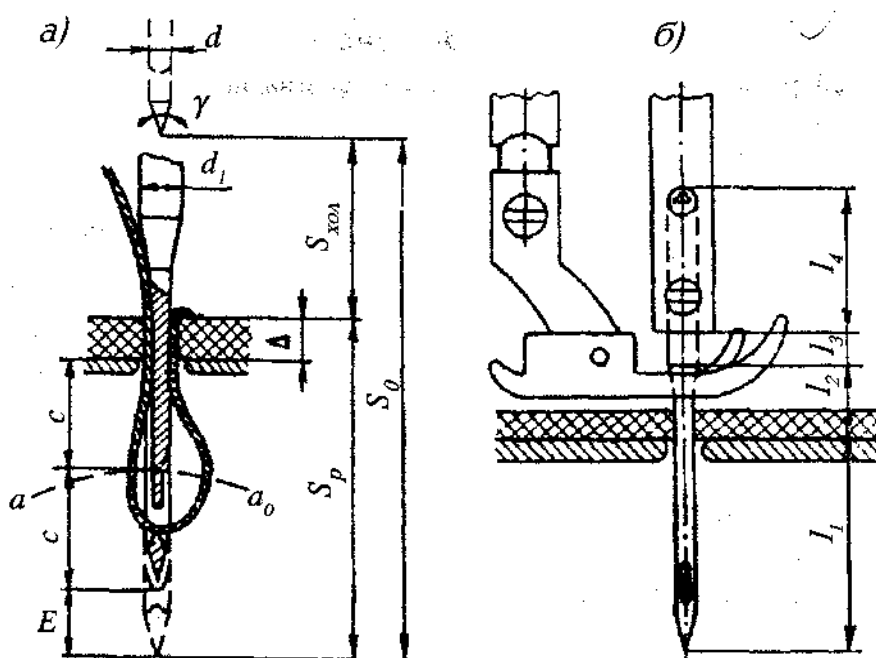


Bahya unligi yo'nalishi bo'yicha bo'ylama tebranma harakatlanuvchan igna va tishli reyka ishtirokida gazlama surilishi.

1 - tepki, 2 - igna, 3 – tepki asosi, 4 – ustki material,  
5 – ostki material, 6 – tishli reyka.



Moki bahyasi hosil bo'lishida igna, ip va materialning joylashishi.



Ignaning bahya hosil bo'lish jarayoni holati.

Tebranma harakatni qo'shishda ko'pincha, masala ampilituda kvadratini xisoblashga keltiriladi. Buning uchun (17.13) ning haqiqiy qismini mavhum qismidan ajratish shart bo'lmay, balki  $\xi\xi^*$  ko'paytmani xisoblash etarlidir. Bunda  $\xi^*$  berilgan  $\xi$  ga kompleks qo'shma sonidir. U vaqtda:

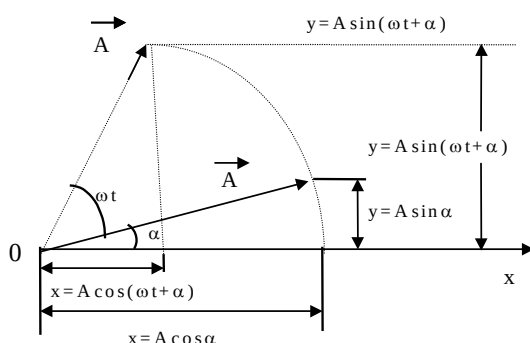
$$\xi = Ae^{i(\omega t + \alpha)}, \quad \xi^* = Ae^{-i(\omega t + \alpha)}, \quad (17.14)$$

$$\xi\xi^* = Ae^{i(\omega t + \alpha)} * Ae^{-i(\omega t + \alpha)} = A^2 \quad (17.15)$$

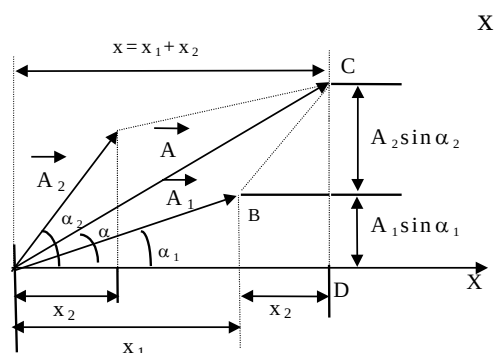
**3. Tebranishlarni qo'shish. So'nuvchi va majburiy tebranishlar. Erkin so'nuvchi tebranishlar. So'nuchi tebranishlar tenglamasi. So'nish koeffitsiyenti**

*Tebranishlarni qo'shish.* Garmonik tebranishlarni qo'shishda *amplitudalarning vektorlar diagrammasi* (amplitudalarning vektor qo'shilishi)dan foydalanamiz. Amplitudaning abstsissa o'qiga proektsiyasi (amplitudaning harakat grafigi) kosinusoidal, ordinata o'qiga proektsiyasi esa sinusoidal bo'lishini ko'rsatadi. Masalan, A amplitudaning tekislikdagi dekart koordinatalar sistemasida qarab chiqamiz (14.2-rasm). U vaqtda A amplitudaning proektsiyalari quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{aligned} t=0, \quad X &= A \cos \alpha \\ t \neq 0 \text{ da} \quad X &= A \cos(\omega t + \alpha) \\ U &= A \sin \alpha, \quad U = A \sin(\omega t + \alpha) \end{aligned}$$



17.2-rasm



17.3-rasm

Quyidagi bir to'g'ri chiziq bo'yicha yo'nalgan boshlang'ich faza va amplitudasi bilan farqlanuvchi bir xil davrli ikkita garmonik *tebranishlarning qo'shilishini* qarab chiqaylik:

$$X_1 = A_1 \cos(\omega t + \alpha_1), \quad (17.16)$$

$$X_2 = A_2 \cos(\omega t + \alpha_2). \quad (17.17)$$

Kuzatilayotgan jism bir vaqtning o'zida ikkita garmonik tebranishda qatnashadi, shuning uchun uning siljishi har bir tebranishdagi siljishlarning algebraik yig'indisiga teng bo'ladi:

$$X = X_1 + X_2 = A_1 \cos(\omega t + \alpha_1) + A_2 \cos(\omega t + \alpha_2). \quad (17.18)$$

Qo'shishda amplituda vektorlari diagrammasidan foydalanamiz. Amplituda vektorlari orasidagi burchak boshlang'ich fazalar ayirmasiga teng bo'lib, vaqt o'tishi bilan ular orasidagi burchak o'zgarmasdan, bir xil doiraviy chastota bilan aylanma harakat qiladi.  $\vec{A}_1$  va  $\vec{A}_2$  larni vektorlarni qo'shish qoidasiga asosan qo'shsak, ularning natijaviy qiymatlari qo'shiluvchi garmonik tebranishlarning qo'shilishidan hosil bo'lgan tebranishning amplitudasini ifodalab ular bilan bir davrli bo'ladi:

$$\vec{A} = \vec{A}_1 + \vec{A}_2. \quad (17.19)$$

$\vec{A}_1$  va  $\vec{A}_2$  vektorlarning  $X$  o'qiga olingan proektsiyalarini qo'shsak  $\vec{A}_1$  vektorning  $X$  o'qiga olingan proektsiyasiga teng bo'ladi:

$$X = X_1 + X_2 = A \cos(\omega t + \alpha). \quad (17.20)$$

OVS o'tmas burchakli uchburchakdan kosinuslar teoremasiga asosan

$$A^2 = A_1^2 + 2A_1A_2\cos(\alpha_2 - \alpha_1) + A_2^2. \quad (17.21)$$

SOD uchburchakdan natijaviy tebranishning boshlang'ich fazasini aniqlaymiz:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{A_1 \sin \alpha_1 + A_2 \sin \alpha_2}{A_1 \cos \alpha_1 + A_2 \cos \alpha_2}. \quad (17.22)$$

Demak, bir to'g'ri chiziq bo'yicha tebranuvchi bir xil davrli ikki garmonik tebranishning qo'shilishidan xosil bo'lgan tebranish shu to'g'ri chiziq bo'yicha qo'shiluvchi tebranishlarning davriga teng davr bilan harakatlanuvchi garmonik tebranish bo'lar ekan. Uning siljish tenglamasi (17.20), amplicituda va boshlang'ich fazasi mos ravishda (17.21) va (17.22) tenglamalar orqali ifodalanadi. Punktir chiziqlar bilan qo'shiluvchi garmonik tebranishlar ifodalangan.

Koordinata boshiga joylashgan  $M$  moddiy nuqta  $OX$  va  $OZ$  o'qlari bo'yicha o'zaro perpendikulyar yo'nalishlarda tebransin.  $OX$  va  $OZ$  koordinata o'qlari bo'yicha tebranish tenglamalari (boshlang'ich fazalarini nolga teng deb olamiz):

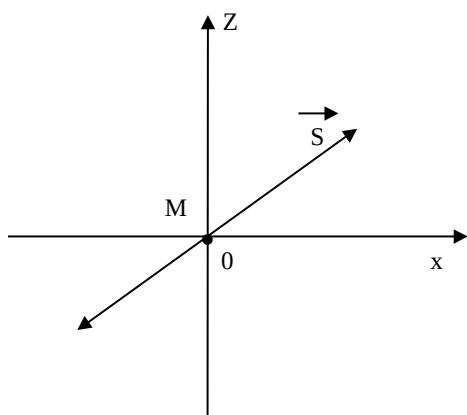
$$x = A_1 \sin \omega t, \quad (17.23)$$

$$z = A_2 \sin \omega t. \quad (17.24)$$

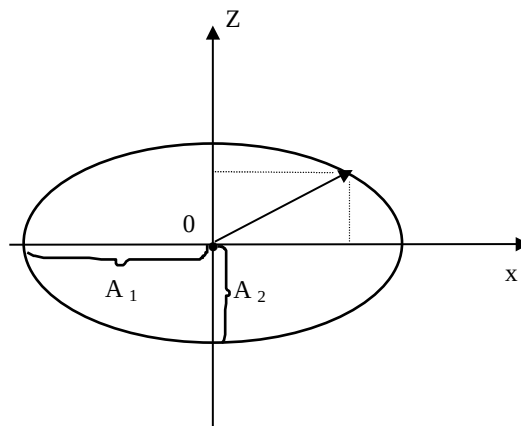
Tenglamalarni birga echib,

$$x = (A_1/A_2)z \text{ yoki } z = (A_2/A_1)x \quad (17.25)$$

ifodalarni olamiz. Bu ifodalar koordinata boshidan o'tgan to'g'ri chiziq ( $S$ ) ning tenglamasidir. (17.4-rasm)



17.4-rasm



17.5-rasm

Demak, tebranishlar qo'shilib:

$$S = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{A_1^2 + A_2^2} \sin \omega t \quad (17.26)$$

tenglama bilan ifodalanuvchi garmonik tebranma harakatni beradi.

O'zaro perpendikulyar tebranishlar fazalari bir-biridan  $\pi/2$  ga farq qilca, bu tebranish tenglamalari:

$$X = A_1 \sin \omega t \quad (17.27)$$

$$Z = A_2 \sin (\omega t + \pi/2) = A_2 \cos \omega t \quad (17.28)$$

ko'rinishga ega bo'ladi. Bularni birga echib:

$$X^2/A_1^2 = \sin^2 \omega t, \quad Z^2/A_2^2 = \cos^2 \omega t \quad (17.29)$$

tenglamalarni olamiz. Bu tenglamalarni xadma-xad qo'shib:

$$X^2/A_1^2 + Z^2/A_2^2 = 1 \quad (17.30)$$

tenglamani hosil qilamiz. Bu ellips tenglamasidir. Demak, xosil bo'lgan garmonik tebranishning trektoriyasi ellipsdir (17.5-rasm). Agar  $A_1 = A_2 = A$  bo'lsa, trektoriya aylana shaklida bo'ladi.

Umumiy xolda o'zaro perpendikulyar tebranishlarni qo'shsak, ularning amplitudalari, boshlang'ich fazalari va davrlariga qarab murakkab shakllarni - Lissaju shakllarini kuzatamiz.

*So'nuvchi tebranishlar.* So'nuvchi tebranishni xarakterlaydigan tenglamada, ya'ni Nyuton ikkinchi qonunining ifodasida qarshilik kuchini ham e'tiborga olish kerak. Moddiy nuqtaning qovushqoq muhitdagi to'g'ri chiziqli tebranma harakatiga qarshilik kuchi tezlikka proporsional, lekin unga teskari yo'nalgan bo'ladi:

$$F_k = -ru = -r \frac{dx}{dt} \quad (17.31)$$

Bundagi  $r$  qarshilik koeffitsienti. So'nuvchi tebranish tenglamasi quyidagi bo'limga ega:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0 \quad (17.32)$$

Mazkur tenglamaning yechimi  $b < \omega_0$  bo'lgan holda quyidagicha bo'ladi:

$$x = A_0 e^{-\beta t} \cos (\omega_0 t + \alpha) \quad (17.33)$$

Bunda  $\omega_c$  - so'nuvchi tebranish chastotasi, uning qiymati

$$\omega_c = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} \quad (17.34)$$

So'nuvchi tebranish davri ( $T_c$ ) esa xususiy tebranish davri ( $T_0$ ) dan katta

$$T_c = \frac{2\pi}{\omega_c} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}} > T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} \quad (17.35)$$

Tebranishlarning amplitudasi vaqt o'tishi bilan

$$A = A_0 e^{-\beta t} \quad (17.36)$$

Qonun bo'yicha kamayib boradi.

*Erkin so'nuvchi tebranishlar.* Muvozanat vaziyatdan chiqarilgan tizimda tashqi kuchlar ta'sirisiz bo'ladigan tebranishlar *erkin tebranishlar* deyiladi. Real

mexanik tebranishlar *soʻnuvchi tebranishlardir*. Tebranishlarning soʻnishi tebranuvchi moddiy nuqta yoki sistemaning tebranish dovomida energiya yoʻqolishi bilan bogʻliqdir. Bu energiya yoʻqolishi - tashqi muhit bilan ishkalanish xisobiga yoki tashqi muhitga elastik toʻlqinlar tarqatish evaziga boʻlishi mumkin.

Tebranishni soʻndiruvchi kuch tebranma harakat tezligiga toʻgʻri proporsional

$$\vec{F}_c = -\eta \vec{g} \quad (17.37)$$

bunda  $\eta$ -qarshilik koeffitsienti;  $\vec{g}$  -harakat tezligi (manfiy ishora soʻndiruvchi qarshilik kuchi bilan tezlikning qarama-qarshi yoʻnalganligini koʻrsatadi).

*Soʻnuchi tebranishlar tenglamasi*. Agar tebranuvchi moddiy nuqtaning massasi  $m$  boʻlsa soʻnuvchi tebranish tenglamasini quyidagicha tasavvur qilish mumkin:

$$X = A_0 e^{-\beta t} \sin(\omega t + \varphi) \quad (17.38)$$

bu erda  $A_0 e^{-\beta t}$  - soʻnuvchi tebranish amplitudasi,  $A_0$  -boshlangich amplituda  $e$ -natural logarifm asosi,  $\beta = \eta/2m$  - *soʻnish koeffitsienti*.

*Soʻnish koeffitsiyenti*. Tebranishning soʻnish tezligi tebranishning *logorifmik dekrementi* bilan aniqlanadi.

$$\lambda = \ell n \frac{A_n}{A_{n+1}} = \beta T \quad (17.39)$$

bu erda  $A_n, A_{n+1}$  - oldinma ketin tebranishlar amplitudalari. Tebranishlarning soʻnishi nazariy ravishda juda uzoq vaqt davom etadi, lekin tebranishlar amplitudasi 1% gacha kamaysa (avvalgi qiymati 100% deb olingan), amalda tebranish soʻngan deb xisoblanadi.

*Majburiy tebranishlar*. Kuzatish boshlangan paytda muvozanat vaziyatida turgan moddiy nuqtaga garmonik qonun bo'yicha o'zgaruvchi

$$F = F_0 \cos \omega t \quad (17.40)$$

Moddiy nuqtaning mazkur holdagi harakat tenglamasini quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + r \frac{dx}{dt} + kx = F_0 \cos \omega t \quad (17.41)$$

$$x = A \cos(\omega t + \alpha) \quad (17.42)$$

munosabat bilan aniqlanishini topamiz. Bundagi  $A$  – majburiy tebranishlar ampulitudasi, uning qiymati

$$A = \frac{F_0}{m \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}}$$

(17.43)

formula yordamida hisoblanishi mumkin.  $A$  – esa majburiy etuvchi kuch va majburiy tebranish fazalarning farqi, uning qiymati

$$\operatorname{tg} \alpha = - \frac{2\beta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2} \text{ formula yordamida hisoblanadi.}$$

Majburiy etuvchi kuch chastotasining biror aniq qiymatida majburiy tebranishlar amplitudasining keskin ortib ketishi rezonans hodisasi deb ataladi. Rezonans hodisasi amalga oshgan holdagi majburiy etuvchi kuchning chastotasini rezonans chastota deb, amplitudaning maksimal qiymatini esa rezonans amplituda deb ataldi.

#### **4. Tebranma harakat qilayotgan jismning energiyasi. Ossilyator uchun energetik munosabatlar. Logarifmik dekremenent, asillik, izoxrolik.**

*Tebranma harakat qilayotgan jismning energiyasi.* Kuch ta'sirida garmonik tebranma harakat qilayotgan bo'lsin. Harakatlanayotgan moddiy nuqta albatta tezlikka ega bo'ladi. Tezligi noldan farqli bo'lgan barcha vaziyatlarda moddiy nuqtaning kinetik energiyasi ham farqli, ya'ni

$$E = \frac{1}{2} m v^2 \quad (17.44)$$

Potensial energiyaning qiymati esa moddiy nuqtani muvozanat vaziyatidan  $x$  masofaga siljitish uchun elastik yoki kvazielastik kuch ( $F$ ) ning bajargan ishi bilan aniqlanadi:

$$\Gamma = \int_0^x |F| dx = \int_0^x kx dx = \frac{1}{2} kx^2 = kA^2 \cos^2(\omega_0 t + \alpha) \quad (17.45)$$

Tebranma harakat qilayotgan moddiy nuqta kinetik va potensial energiyalarning maksimal qiymatlari uchun quyidagi ifodalar o'rinli:

$$E_{\text{makc}} = \frac{1}{2} m \omega_0^2 A^2 \quad (17.46)$$

Garmonik tebranishlar harakat qilayotgan moddiy nuqtaning ixtiyoriy vaziriy vaziyatdagi to'liq energiyasi kinetik va potensial energiyalar yig'indisidan iborat:

$$W = E + U = \frac{1}{2} m \omega_0^2 A^2 \sin^2(\omega_0 t + \alpha) + \frac{1}{2} kA^2 \cos^2(\omega_0 t + \alpha) \quad (17.47)$$

Lekin  $k=m\omega_0^2$  edi shuning uchun

$$W = \frac{1}{2} m \omega_0^2 A^2 \text{ yoki } W = \frac{1}{2} kA^2 \quad (17.48)$$

*Ossilyator uchun energetik munosabatlar.* Kuch ta'sirida garmonik tebranma harakat qilayotgan bo'lsin. Harakatlanayotgan moddiy nuqta albatta tezlikka ega bo'ladi. Tezligi noldan farqli bo'lgan barcha vaziyatlarda moddiy nuqtaning kinetik energiyasi ham farqli, ya'ni

$$E = \frac{1}{2} m v^2 \quad (17.49)$$

Potensial energiyaning qiymati esa moddiy nuqtani muvozanat vaziyatidan x masofaga siljitish uchun elastik yoki kvazielastik kuch (F) ning bajargan ishi bilan aniqlanadi:

$$U = \int_0^x F dx = \int_0^x kx dx = \frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} kA^2 \cos^2(\omega_0 t + \alpha) \quad (17.50)$$

Tebranma harakat qilayotgan moddiy nuqta kinetik va potensial energiyalarning maksimal qiymatlari uchun quyidagi ifodalar o'rinli:

$$E_{\max} = \frac{1}{2} m \omega_0^2 A^2 \quad (17.51)$$

Garmonik tebranishlar harakat qilayotgan moddiy nuqtaning ixtiyoriy vaziriy vaziyatdagi to'liq energiyasi kinetik va potensial energiyalar yig'indisidan iborat:

$$W = E + U = \frac{1}{2} m \omega_0^2 A^2 \sin^2(\omega_0 t + \alpha) + \frac{1}{2} kA^2 \cos^2(\omega_0 t + \alpha) \quad (17.52)$$

Lekin  $k=m\omega_0^2$  edi shuning uchun

$$W = \frac{1}{2} m \omega_0^2 A^2 \quad \text{yoki} \quad W = \frac{1}{2} kA^2 \quad (17.53)$$

*Logarifmik dekrement, asillik, izoxrolik.* **Lograemik dekrement** Tebranishning so'nish tezligi tebranishning *logarifmik dekrementi* bilan aniqlanadi.

$$\lambda = \ln \frac{A_n}{A_{n+1}} = \beta T \quad (17.54)$$

bu erda  $A_n, A_{n+1}$  - oldinma ketin tebranishlar amplitudalari. Tebranishlarning so'nishi nazariy ravishda juda uzoq vaqt davom etadi, lekin tebranishlar amplitudasi 1% gacha kamaysa (avvalgi qiymati 100% deb olingan), amalda tebranish so'ngan deb xisoblanadi.

**Asillik** Tebranish sistemasini xarakterlash uchun sistemaning ASLLIGI (Q) tushunchasi kiritiladi. Sistema asilligi sistema tula energiyasi (E)ning sistema tomonidan bir davrda yo'qotgan energiyasi  $E_T$ - nisbati bilan aniqlanadi:

$$Q = 2\pi \frac{E}{E_T}; \quad Q = \frac{\pi}{\lambda} = \frac{\omega_0}{2\beta}$$

(17.55)

**Izoxronlik** Prujinali mayatnik, matematik va fizik mayatniklar uchun umumiy xossa shundan iboratki mayatniklarning kichik tebranishlarida, ya'ni



garmonik tebranishlar sodir bo'layotganda tebranish davri amplitudaga bog'liq emas. Mayatnikning bu xossasi *izoxronlik* deb ataladi.

### **5. Bog'langan assilyator tushunchasi. Ossilyatorga davriy turtkning ta'siri. Rezonans. Rezonans egri chiziqlari.**

*Bog'langan assilyator tushunchasi.* Alohida olingan tebranish assilyatorlari o'zaro bog'langan bo'lsa, bu bog'lanish natijasida vujudga keladigan tebranishlar murakkab tebranishlar ko'rinishida bo'ladi. Hosil bo'ladigan yangi tebranishlar har bir assilyatori hosil qiladigan tebranishlar superpozitsiya ko'rinishida vujudga kelishi mumkin. Bu vaqtda tebranish chastotasi har bir assilyator hosil qiladigan chastotasi teng bo'lmaydi. Bog'langan assilyatorlar hosil qiladigan tebranish ikki y o'uch assilyatorlar hosil qilgan tebranishlar qo'shilishiga mos keladi. Agar bog'langan assilyatorlar o'zaro yaqin chastotalar bilan tebransa, yangi hosil bo'ladigan tebranishni kuzatuvchi titrash shaklidagi tebranish hosil qila oladi.

*Ossilyatorga davriy turtkning ta'siri.* Muvozanat vaziyatidan chetga siljitib, so'ng o'z xoliga qo'yib yuborilgan tebranuvchi sistema muhit qarshiligi va sistema parametrlariga bog'liq ravishda so'nuvchi tebranma harakat qiladi. So'nmaydigan tebranishlarni hosil qilish uchun sistemaga qo'shimcha tashqi o'zgaruvchan kuch ta'sir etib turishi lozim. Bu kuch tebranuvchi sistemaga goh bir tomonga, goh qarama-qarshi tomonga yo'nalgan "turtki" berib turadi. U bajargan ish tebranuvchi moddiy nuqta tomonidan muxit qarshiligini engishga sarflangan energiya kamayuvini to'ldirib turadi. Davriy ravishda o'zgarib turadigan bunday tashqi kuchni majbur etuvchi kuch deyiladi. Kuzatish boshlangan paytda muvozanat vaziyatida turgan moddiy nuqtaga garmonik qonun bo'yicha o'zgaruvchi  $F=F_0 \cos \omega t$  kuch ta'sir etsin.

Bunda majbur etuvchi kuch amplitudasini  $F_0$  bilan, chastotasini esa  $\omega$  bilan belgilangan. Dinamikaning ikkinchi qonuniga asosan, moddiy nuqtaning mazkur holdagi tenglamasini quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx - r \frac{dx}{dt} + F_0 \cos \omega t \quad (17.56)$$

yoki

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m} \cos \omega t \quad (17.57)$$

Tenglamaning  $F_0=0$ ; va  $\beta < \omega_0$  bo'lgan holdagi echimi  $x=A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha)$ , tebranuvchi moddiy nuqtaning xususiy so'nuvchi tebranishlariga mos keladi. Tenglamaning xususiy echimi esa majbur etuvchi kuch chastotasi  $\omega$  bilan sodir bo'ladigan tebranishlarni aks ettiradi. Bu tebranishni moddiy nuqtaning majburiy tebranishlari deyiladi.

Moddiy nuqtaning xususiy tebranishlari majbur etuvchi kuch ta'sir eta boshlagan dastlabki paytda vujudga keladi va eksponentsial qonun bo'yicha tezgina (majburiy tebranishlarning barqarorlanish vaqti davomida) so'nib bo'ladi. Tenglamaning izlanayotgan yechimi:

$$x = A \sin(\omega t + \alpha) \quad (17.58)$$

munosabat bilan aniqlanadi. Bunday  $A$  - majburiy tebranishlar amplitudasi, uning qiymati:

$$A = \frac{F_0}{m \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4 B^2 \omega^2}} \quad (17.59)$$

formula yordamida hisoblash mumkin.  $\alpha$  esa majbur etuvchi kuch va majburiy tebranish fazalarining farqi, uning qiymati:

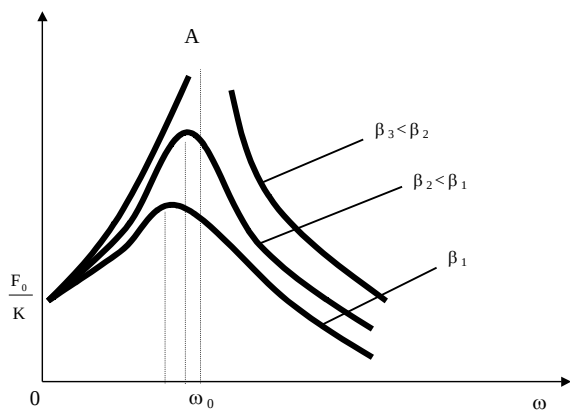
$$\tan \alpha = - \frac{2 B \omega}{\omega_0^2 - \omega^2}$$

(17.60)

formula yordamida hisoblanadi.

**Rezonans.** Tebranish konturiga elektr yurituvchi kuchi davriy ravishda o'zgaruvchi manba ulaylik. Bu manba konturining aktiv qarshiligida issiqlik energiyasi sifatida ajralib chiqayotgan energiya kamayuvini kompensatsiyalab turishi tufayli tebranish konturining energiyasi doimiy saqlanadi. Bu esa o'z navbatida, tebranishlarning so'nmasligiga sababchi bo'ladi.

17.6-rasmda  $F_0$  va  $m$  o'zgarmas bo'lgan holda  $\beta$  ning turli qiymatlari uchun  $A$  ning  $\omega$  ga bog'liqlik grafiklari tasvirlangan.  $\omega=0$  bo'lganda, ya'ni majbur etuvchi kuchning qiymati o'zgarmaganda (17.61) ifodadan  $A = \frac{F_0}{m \omega_0^2} = \frac{F_0}{k}$  kelib chiqadi.



17.6-rasm

Shuning uchun 17.6-rasmda  $\beta$  ning turli qiymatlari uchun chizilgan grafiklarning barchasi ordinata o'qini  $\frac{F_0}{k}$  da kesadi.  $\omega \rightarrow \infty$  da, (17.61) ga asosan, amplituda asimptotik ravishda nolga intiladi. Rasmdan ko'rinishicha,  $\omega$  ning biror oraliq qiymatida amplituda maksimal qiymatga erishadi. Bu hodisa, ya'ni majbur etuvchi kuch

chastotasining biror aniq qiymatida majburiy tebranishlar amplitudasining keskin ortib ketishi rezonans xodisasi deb ataladi. Rezonans hodisasi amalga oshgan holdagi majbur etuvchi kuchning chastotasini rezonans chastota deb, amplitudaning maksimal qiymatini esa rezonans amplituda deyiladi. Rezonans hodisasi ro'y berganda (17.61) ifoda maksimal qiymatga erishishi, ya'ni mazkur ifodaning mahraji minimal qiymatga erishishi lozim. Shuning uchun (17.61) ning maxrajidan  $\omega$  bo'yicha hosila olib uni nolga tenglashtiramiz:

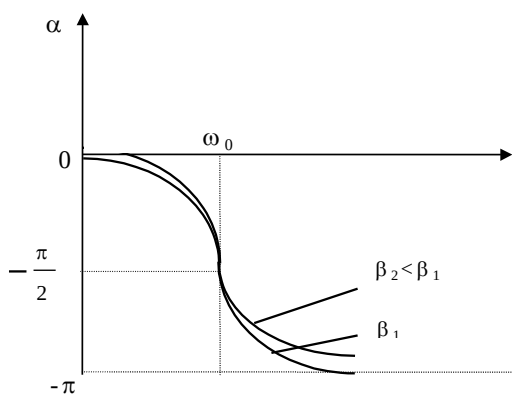
yoki  
bundan

$$-2(\omega_0^2 - \omega^2)2\omega + 8\beta^2\omega = 0$$

$$-\omega(\omega_0^2 - \omega^2) + 2\beta^2 = 0$$

$$\omega = \omega_r = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2} \quad (17.61)$$

(17.61) ni qo'ysak rezonans amplitudasining qiymatini topamiz:



17.7-rasm

$$A_p = \frac{F_0}{2m\beta\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}} \quad (17.62)$$

Demak, rezonans chastota va rezonans amplituda  $\beta$  ga bog'liq.  $\beta$  kamaygan sari  $\omega_r$  ortib boradi va xususiy tebranishlar chastotasi ( $\omega_0$ ) ga yaqinlashib boradi.  $\beta=0$  bo'lgan holda esa rezonans amplitudaning qiymati cheksiz katta bo'lishi kerak. Lekin, amalda rezonans amplituda chekli qiymatga ega, chunki real sharoitlarda tebranuvchi sistemaga qarshilik

kuchi ta'sir etadi. Shuning uchun  $\beta$  ning nihoyat kichik qiymatlari uchun majbur etuvchi kuchning chastotasi xususiy tebranishlar chastotasiga teng bo'lganda rezonans hodisasi amalga oshadi, deb hisoblanadi.

Moddiy nuqtaning siljishi va majbur etuvchi kuch fazalarning farqi ( $\alpha$ ) ning  $\omega$  ga bog'liqligi (17.62) munosabat asosida hisoblangan va rasm 17.7 da tasvirlangan.

$\omega < \omega_0$  qiymatlarda siljish majbur etuvchi kuchdan faza bo'yicha orqada qoladi. Bu farq, avval, ancha kichik bo'ladi. Lekin,  $\omega \rightarrow \omega_0$  da kattalashadi. Rezonans hodisasi sodir bo'lganda  $\alpha$  ning qiymati  $-\pi/2$  ga teng bo'ladi.  $\omega \gg \omega_0$  da esa siljish va majbur etuvchi kuch qarama-qarshi fazada bo'ladi, ya'ni  $\alpha = -\pi$ .

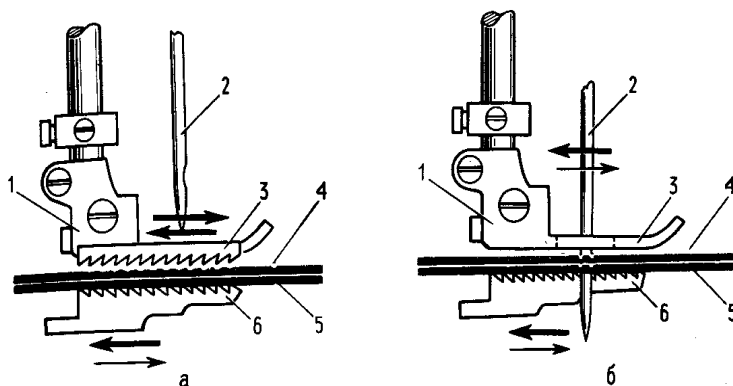
Siljish va majbur etuvchi kuch fazalarining farqi 0 emas, balki  $-\pi/2$  ga teng bo'lganda rezonans hodisasini amalga oshishi g'alati tuyuladi. Lekin, siljish va majbur etuvchi kuch orasidagi fazalar farqi  $-\pi/2$  ga teng bo'lganda tebranayotgan moddiy nuqta tezligi va majbur etuvchi kuch fazalarining farqi 0 ga teng bo'ladi. Shuning uchun majbur etuvchi kuchning ishi moddiy nuqta tezligini oshiradi. Natijada tebranish amplitudasi keskin ortadi.

## MUSTAHKAMLASH UCHUN SAVOLLAR.

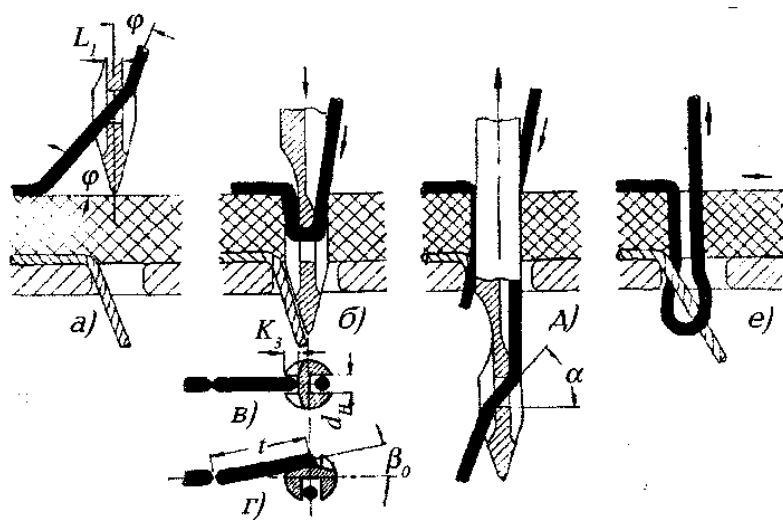
1. Garmonik tebranish va uni xarakterlovchi asosiy fizik kattaliklarni tushuntiring.
2. Vektorlar diagrammasining mohiyatini ochib bering.
3. Mexanik garmonik tebranishlar tenglamasini yozing va uning echimini izohlang.
4. Garmonik tebranma harakat qilayotgan jism to'la energiyasining formulasi qanday
5. Tebranish konturida elektromagnit tebranishlarni hosil bo'lishini tushuntirib bering.
6. Tebranishlarni qo'shish qanday aniqlanadi?
7. Furey integralini keltirib chiqaring.
7. So'nuvchi va majburiy tebranishlar nima? So'nuvchi va majburiy tebranishlarning tenglamasini keltirib chiqaring.
8. Resonans hodisasi nima?

### Uyga vazifa:

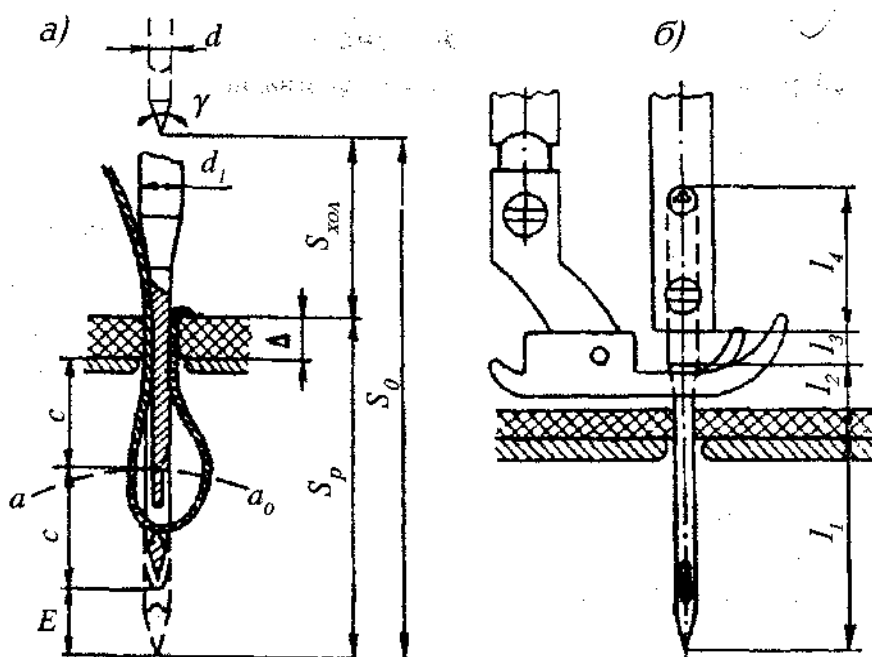
- 1) Internet saytlardan bog'langan assilyator tushunchasi va logarifmik dekremenent, asillik, izoxrolikni o'rganish.
- 2) Prujinali, matematik va fizik mayatniklar davri chastotasi va fazasi.
- 3) Mexanik va elektromagnit garmonik tebranishlar tenglamasi. Ularning echimi va talqini.



Bahya unligi yo'nalishi bo'yicha bo'ylama tebranma harakatlanuvchan igna va tishli reyka ishtirokida gazlama surilishi. 1 - tepki, 2 - igna, 3 – tepki asosi, 4 – ustki material, 5 – ostki material, 6 – tishli reyka.



Moki bahyasi hosil bo'lishida igna, ip va materialning joylashishi.

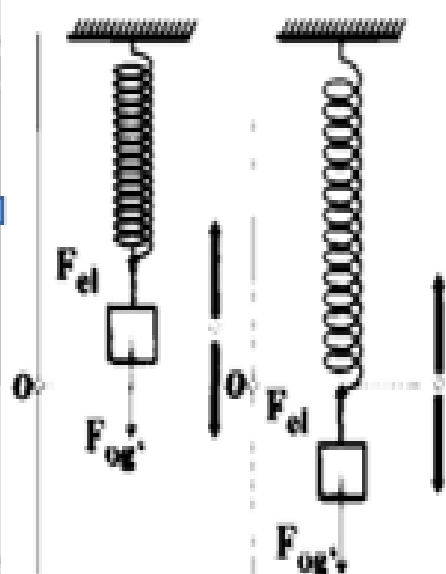


Ignaning bahya hosil bo'lish jarayoni holati.

# 17- MA'RUZANING ILOVALARI.

## PRUJINALI MAYATNIK

*Elastiklik kuchi  $F_{el}$  ostida tebranuvchi prujinaga osilgan yukdir.*



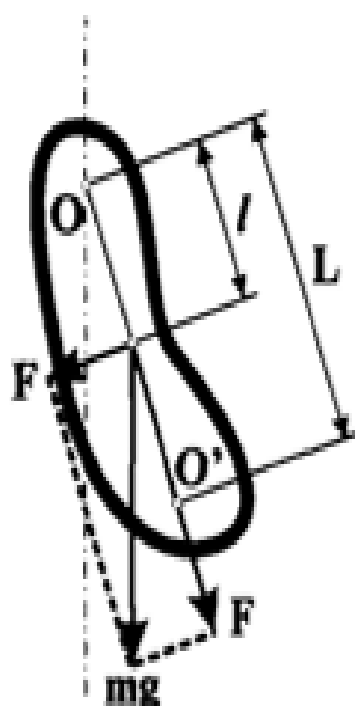
*Tebranish davri*

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

$m$  - jism massasi  
 $k$  - prujinaning bikrligi

## FIZIK MAYATNIK

*Og'irlik markazidan o'tmaydigan, harakatsiz osma o'q atrofida tebranuvchi qattiq jismdir.*



*Tebranish davri*

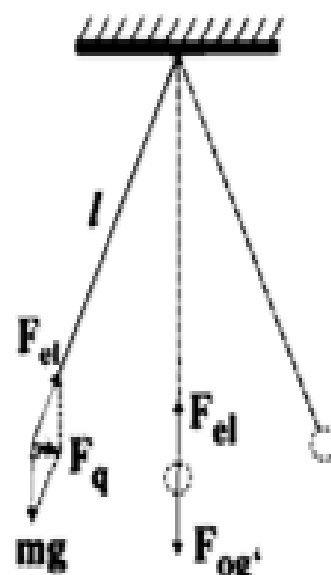
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

$L$  - keltirilgan uzunlik  
 $m$  - mayatnikning massasi  
 $g$  - erkin tushish tezlanishi

## MATEMATIK MAYATNIK

*Cho'zilmaydigan, vaznsiz ipga osilgan moddiy nuqtadir  $l \approx 1m$*

*Massa markazda*



$F_{el}$  - elastiklik kuchi  
 $F_{og'}$  - og'irlik kuchi  
 $F_q$  - qarshilik kuchi

*Tebranish davri*

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

$l$  - osma uzunligi  
 $g$  - erkin tushish tezlanishi

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$$

## 18-MA'RUZA. TO'LQIN JARAYONLARI.

### Reja:

1. Ko'ndalang va bo'ylama to'lqinlar. Yassi va sferik to'lqinlar. Yuguruvchi va turg'un to'lqinlar, ularning tenglamalari. Faza tezligi. To'lqin uzunligi va to'lqin soni.
2. Kogerentlik. Monoxramatik to'lqinlar inteferniyasi. To'lqinlar difraksiyasi.
3. Bir o'lchamli to'lqin tenglamasi.
4. Tovush to'lqinlari. Tovushning balandligi, bosimi. Tovush to'lqinlar energiyasi. Ulro tovush.

**Tayanch so'z va iboralar:** to'lqin, nur, to'lqin fronti, sferik to'lqinlar, yassi to'lqin, ko'ndalang to'lqin, yugiruvchi to'lqin, turg'un to'lqin, to'lqin tenglamasi, to'lqin uzunlik, to'lqinning davri, to'lqin soni, sinusoidal to'lqin, yugiruvchi to'lqin tenglamasi, faza va grupp tezligi, Dopler effekti, kogerentlik, to'lqin interferentsiyasi.

**Ko'rgazmali qurollar:** To'lqin. Ko'ndalang va bo'ylanma to'lqin – plakat, to'lqin interferentsiyasi, to'lqin difraksiyasi – diafilm, to'lqin difraksiyasi animatsiyalar.

### O'tgan mavzuni takrorlash:

1. Garmonik tebranish va uni xarakterlovchi asosiy fizik kattaliklarni tushuntiring.
2. Vektorlar diagrammasining mohiyatini ochib bering.
3. Mexanik garmonik tebranishlar tenglamasini yozing va uning echimini izohlang.
4. Garmonik tebranma harakat qilayotgan jism to'la energiyasining formulasi qanday
5. Tebranish konturida elektromagnit tebranishlarni hosil bo'lishini tushuntirib bering.
6. Tebranishlarni qo'shish qanday aniqlanadi?
7. Furiye integralini keltirib chiqaring.
9. So'nuvchi va majburiy tebranishlar nima? So'nuvchi va majburiy tebranishlarning tenglamasini keltirib chiqaring.
10. Resonans hodisasi nima?

### Mavzuning borishi:

1. Ko'ndalang va bo'ylama to'lqinlar. Yassi va sferik to'lqinlar. Yuguruvchi va turg'un to'lqinlar, ularning tenglamalari. Faza tezligi. To'lqin uzunligi va to'lqin soni.

*Ko'ndalang to'lqinlarni tarqalishi jarayonida muhit qatlamlarining bir-biriga nisbatan siljishi, ya'ni siljish deformatsiyasi sodir bo'ladi. Qatlamlarning nisbiy siljishiga qarshilik ko'rsatadigan elastik kuchlar (bu kuchlar tufayli muhit zararlari*

tebranadi) faqat qattiq jismlarda vujudga keladi, chunki qattiq jismlar o'z shaklini saqlashga intiladi. suyuqlik va gazsimon muhitlarda esa siljish deformatsiyasi sodir bo'lmaydi. Shu sababli suyuqlik va gazlarda ko'ndalang to'lqin vujudga kelmaydi.

*Bo'ylama to'lqinlarning* tarqalish jarayonida muhit zarralari nur yo'nalishda va unga teskari yo'nalishda siljiydi. Muhit zarralari zichlashadi va siyraklashadi. Zichlashishlar vujudga kelgan sohada hajm torayadi, siyraklanishlar vujudga kelgan sohada esa hajm kengayadi. Hajmning o'zgarishiga qarshilik ko'rsatadigan elastik kuchlar qattiq jismlarda ham, suyuqlik va gazlarda ham vujudga keladi. Shuning uchun bo'ylama to'lqinlar qattiq, suyuq va gaz xoldagi muhitlarda sodir bo'ladi

*Yassi va sferik to'lqinlar.* To'lqinlar bilan tanishishni kundalik turmushimizda ko'p kuzatgan hodisadan boshlaylik. Suvga biror jism tashlasak, uning sirti bo'ylab, to'lqinlar tarqaladi. To'lqin navbatlashgan aylanasi do'ngliklardan va chuqurliklardan iborat. Suv sirtining biror ondagi manzarasiga eotibor bersak undagi aylanasi do'ngliklar va chuqurliklarning markazi tosh tushgan nuqta ekanligini aniqlaymiz. biror muddat to'qinning tarqalish jarayonini kuzatsangiz do'nglik va chuqurlik aylanalarining radiuslari kattalashib boraveradi. Shunisi qiziqki, kuzatuvchi tasavvurida to'lqin tarqalishi tufayli suv zarralari tosh tushgan nuqtadan uzoqlashayotgandek, yaoni qirg'oq tomonga ko'chayotgandek tuyuladi. Aslida suv zarralari ko'chmaydi, balki tebranish etib kelgan zarralar o'zlarining muvozanat vaziyatlari atrofida tebranma harakat qiladilar. Kuzatishlarning ko'rsatishicha, suv sirtining biror nuqtasiga kiritilgan po'kak to'lqin bilan birgalikda qirg'oq tomon harakatalanmaydi, balki o'zi joylashgan sohadagi, suv zarralari bilan birgalikda navbatma-navbat goh pastga goh yuqoriga siljiydi, ya'ni tebranadi.

Har qanday muxitda to'lqinlarni uyg'otish uchun tebranuvchi manba bo'lishi lozim. Bu manba o'zi joylashgan sohadagi muxit zarralarini tebratadi. Muhitning tebranayotgan har bir zarrasi o'ziga qo'shni bo'lgan zarraga, u esa qo'shni boshqa zarralarga majbur etuvchi (elastik) kuch bilan ta'sir etadi. Biror vaqtdan keyin tebranish butun muhitga tarqaladi. Tebranishlarning muhitga tarqalish jarayoni to'qin deyiladi. To'lqining tarqalish yo'nalishi nur deb, ixtiyoriy t vaqtda tebranishlar etib kelgan muhit zarralarining geometrik o'rinlari esa to'lqin fronti deb ataladi. To'lqin frontining shakli muhit xossalari, tebranish manbasining shakli va o'lchamlariga bog'liq. Bir jinsli va izotrop muhitda joylashgan nuqtaviy tebranish manbaidan tarqalayotgan to'lqinlarning fronti sferik shaklda bo'ladi. Shuning uchun bunday to'lqinlarni sferik to'lqinlar deyiladi. Agar tebranish manbai tekislik shakliga ega bo'lsa, manbaga yaqin sohalardagi to'lqin fronti ham tekislikdan iborat bo'ladi. Bunday to'lqinlarni yassi to'lqinlar deyiladi. Ikkala xolda ham nur to'g'ri chiziq bo'lib, u to'lqin frontiga perpendikulyar bo'ladi. Agar muhit zarralari nurga perpendikulyar ravishda tebranayotgan bo'lsa, bunday to'lqinni ko'ndalang to'lqin deb, muhit zarralari nurga parallel ravishda tebranayotgan to'lqin bo'ylama to'lqin deyiladi.

Ko'ndalang to'lqinlarni tarqalishi jarayonida muhit qatlamlarining bir-biriga nisbatan siljishi, yaoni siljish deformatsiyasi sodir bo'ladi. Qatlamlarning nisbiy siljishiga qarshilik ko'rsatadigan elastik kuchlar (bu kuchlar tufayli muhit zarralari



tebranadi) faqat qattiq jismlarda vujudga keladi, chunki qattiq jismlar o'z shaklini saqlashga intiladi. suyuqlik va gazsimon muhitlarda esa siljish deformatsiyasi sodir bo'lmaydi. Shu sababli suyuqlik va gazlarda ko'ndalang to'lqin vujudga kelmaydi.

Bo'ylama to'lqinlarning tarqalish jarayonida muhit zarralari nur yo'nalishida va unga teskari yo'nalishda siljiydi. Muhit zarralari zichlashadi va siyraklashadi. Zichlashishlar vujudga kelgan sohada hajm torayadi, siyraklanishlar vujudga kelgan sohada esa hajm kengayadi. Hajmning o'zgarishiga qarshilik ko'rsatadigan elastik kuchlar qattiq jismlarda ham, suyuqlik va gazlarda ham vujudga keladi. Shuning uchun bo'ylama to'lqinlar qattiq, suyuq va gaz xoldagi muhitlarda sodir bo'ladi.

Faraz qilaylik, cheksiz muhitning biror nuqtasida tebranuvchi sistema joylashgan bo'lsin. U holda sistema o'ziga bevosita tegib turgan zarralarga, ular esa o'zlariga qo'shni bo'lgan zarralarga tebranish uzatadi. Bu jarayonda to'lqin xuddi o'zini vujudga keltirgan manbadan "yugurib qochayotgandek" tuyuladi. Shuning uchun uni "yuguruvchi to'lqin" deyiladi. Yuguruvchi to'lqin tenglamasini yozish muhitning ixtiyoriy zarrasi uchun siljishning vaqtga bog'liq ravishda o'zgarishini ifodalovchi munosabatni aniqlash demakdir.

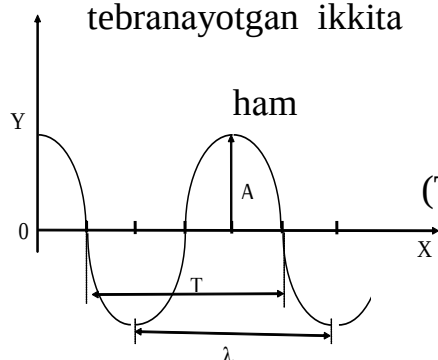
Buni xususiy hol, ya'ni bir jinsli va izotrop muhitda tarqalayotgan ko'ndalang to'lqinlar uchungina bajaramiz. Muhitning 0 nuqtasiga joylashtirilgan tebranishlar manbai  $t=0$  vaqtdan boshlab  $y=A \cos \omega t$  qonun bo'yicha garmonik tebranma harakat qilayotgan bo'lsin. Manbaning bu harakati tufayli muhit zarralari ham  $A$  amplituda va  $\omega$  chastota bilan tebranadi.

*Yuguruvchi va turg'un to'lqinlar, ularning tenglamalari.* Manbadan  $X$  masofada joylashgan zarra 0 manbaga bevosita qo'shni bo'lgan zarraga nisbatan  $\tau = \frac{x}{U}$  vaqt qadar kechroq tebrana boshlaydi. ( $U$  - to'lqinning muhitda tarqalish tezligi). Shuning uchun 0 nuqtadan  $X$  masofa uzoqlikdagi zarraning ixtiyoriy  $t$  vaqtdagi siljishi manbaga tegib turgan zarraning  $t-\tau$  vaqtdagi siljishiga teng bo'ladi, ya'ni

$$Y = A \cos \omega t \left( t - \frac{x}{U} \right) \quad (18.1)$$

Bu ifoda yuguruvchi to'lqin tenglamasi deyiladi. 1-rasmdan ko'rinishicha, to'lqin grafigi sinusoidadan iborat. Bunday to'lqinni garmonik to'lqin yoki sinusoidal to'lqin deyiladi.

Siljish maksimal qiymatga ( $y=+A$ ) erishgan nuqtalarni to'lqin do'ngliklari deb, minimal qiymatga ( $y=-A$ ) erishgan nuqtalarni esa to'lqin chuqurliklari deyiladi. Ikki qo'shni chuqurlik (yoki do'nglik) orasidagi masofa to'lqin uzunligi ( $\lambda$ ) deyiladi. *To'lqin uzunligi va to'lqin soni* To'lqin uzunligini bir xil fazada tebranayotgan ikkita



(T) vaqt davomida U  
to'lqin bosib o'tgan

ya'ni yaqin nuqtalar orasidagi masofa deyish

mumkin Demak, bitta davr

tezlik bilan. Tarqalayotgan

$$\lambda = UT \quad \text{masofa mazkur to'liqin uzunligidir:} \quad (18.2)$$

To'liqin soni birlik uzunlikka to'g'ri keluvchi to'liqin uzunliklar soni. Bu ifoda yordamida (1) ni quyidagicha yozish mumkin:

rasm 18.1

$$y = A \cos(\omega t - \omega \frac{x}{U}) = A \cos(\omega t - \frac{2\pi}{T} \frac{x}{U}) = A \cos(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x) \quad (18.3)$$

Bu tenglamadagi  $\frac{2\pi}{\lambda}$  ni, K harfi bilan belgylanadi va to'liqin son deb ataladi. U  $2\pi$  metr uzunlikdagi kesmada joylashadigan to'liqin uzunliklarining sonini ifodalaydi. Natijada yuguruvchi to'liqin tenglamasi

$$y = A \cos(\omega t - Kx) \text{ va } y = A \cos(\omega t + Kx) \quad (18.4)$$

ko'rinishga keladi. Ikkinchi tenglama qarama-qarshi yo'nalishda tarqalayotgan yassi to'liqin uchun o'rinli.

Agar muhitda taraqalayotgan to'liqin sferik bo'lsa, sferik yuguruvchi to'liqin tenglamasi

$$y = \frac{A}{x} \cos(\omega t - Kx) \quad (18.5)$$

ko'rinishda yoziladi.

To'liqlarning muhitda tarqalishining differentsial tenglamasi quyidagi ko'rinishda yoziladi.

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{1}{U^2} \frac{d^2 y}{dt^2} \quad (18.6)$$

To'liqin tenglama deb yuritiladigan bu (18.6) differentsial tenglama umumiy xoldagi to'liqin jarayoni tarqalishini ifodalaydi.

*Faza tezligi.* Yassi to'liqin biror t vaqtdan so'ng tebranish manbaidan x masofa uzoqlikka etib keladi. Bu vaqtdagi to'liqin fronti yassi tekislikdan iborat bo'lib, bu tekislikning barcha nuqtalari bir xil fazada tebranadi. Shu sababli to'liqin frontini bir xil fazalar tekisligi deyish mumkin. Bunda (18.1) tenglamadagi

$$\omega(t - \frac{x}{U}) = \text{const} \quad \text{bo'ladi. } \omega \text{ doimiy kattalik bo'lganligi uchun}$$

$$t - \frac{x}{U} = \text{const} \quad (18.7)$$

ko'rinishda yozamiz. Vaqt o'tishi bilan bir xil fazalar tekisligining koordinatasi o'zgaradi. Bu harakat tezligini topish uchun (18.7) ni differentsiallaymiz:

$$dt - (1/U) dx = 0 \quad (18.8)$$

$$\text{Bunda } U = dx/dt \quad (18.9)$$

Demak, to‘lqinning tarqalish tezligi fazaning ko‘chish tezligini bildiradi. Shuning uchun (18.9) ni fazaviy tezlik deyiladi.

To‘lqinlarning fazaviy tezligi to‘lqin parametrlariga emas, balki muhit xossalriga bog‘liq bo‘ladi, ya’ni chastotalari turlicha bo‘lgan to‘lqinlar muayyan muhitda bir xil fazaviy tezlik bilan tarqaladi. Lekin shunday to‘lqinlar ham bo‘ladiki (sirt to‘lqinlar) ularning fazaviy tezliklari chastotaga bog‘liq bo‘ladi. To‘lqinlarning fazaviy tezligini chastotasiga bog‘liqligi to‘lqinlar dispersiyasi deyiladi.

Turli chastotali to‘lqinlar yig‘indisini to‘lqinlar gruppasi yoki to‘lqin “paket” deyiladi. Paketning tezligi uning tarkibidagi to‘lqinlarning birortasini ham tezligiga mos kelmaydi. Bunday hollarda to‘lqinlar gruppasi maksimumining ko‘chish tezligi tushunchasidan foydalaniladi va uni gruppaviy tezlik deyiladi.

*Faza tezlik* To‘lqin uzunliklari  $\lambda$  dan  $\lambda+d\lambda$  gacha bo‘lgan to‘lqin paketining gruppaviy tezligi

$$U_2 = U - \lambda \frac{d\vartheta}{d\lambda} \quad (18.10)$$

munosabat bilan aniqlanadi.

$\frac{d\vartheta}{d\lambda} > 0$  bo‘lganda, gruppaviy tezlik fazaviy tezlikdan kichik bo‘ladi. Bunday xollarni normal dispersiya deyiladi.

$\frac{d\vartheta}{d\lambda} < 0$  bo‘lgan holda, gruppaviy tezlik fazaviy tezlikdan katta bo‘ladi. Bunday xollarni anomal dispersiya deyiladi.

$\frac{d\vartheta}{d\lambda} = 0$  bo‘lgan holda esa dispersiya kuzatilmaydi, ya’ni gruppaviy tezlik fazaviy tezlikka teng bo‘ladi.

## **2. Kogerentlik. Monoxramatik to‘lqinlar interfeferniyasi. To‘lqinlar difraksiyasi**

*Kogerentlik.* Agar muhitda bir nechta tebranish manbalari bo‘lsa, ulardan chiqqan to‘lqinlar bir-biriga bog‘liq bo‘lmagan holda tarqaladi va o‘zaro kesishgandan keyin bu kesishish haqida hech qanday iz qoldirmay yoyilib ketadi. Bu xodisa superpozitsiya printsipli deyiladi. Qo‘shilish natijasi uchrashayotgan to‘lqinlarning fazalari, davrlari va amplitudalariga bog‘liq bo‘ladi.

Chastotalari bir xil va fazalar farqi o‘zgarmas bo‘lgan ikki to‘lqin tufayli vujudga keladigan manzara etiborga loyiq. Bunday to‘lqinlarni kogerent to‘lqinlar, manbalarni esa kogerent manbalar deyiladi. Kogerent to‘lqinlarning qo‘shilishidan, ularning bir-birini kuchaytirishi yoki zaiflashtirish xodisasi to‘lqinlar interfeferentsiyasi deyiladi.

Amplitudalari va chastotalari bir xil bo‘lgan ikki yassi to‘lqin bir-biriga qarab harakatlenganda uchrashib, qo‘shilishdan turg‘un to‘lqin vujudga keladi. Bu to‘lqinlarni tenglamalarini yozaylik:

$$u_1 = A \cos \omega \left( t - \frac{x}{U} \right) \quad (18.11)$$

$$u_2 = A \cos \omega \left( t + \frac{x}{U} \right) \quad (18.12)$$

Ularni qo'shib, kosinuslar teoremasi asosida o'zgartiramiz:

$$u = u_1 + u_2 = A \left[ \cos \omega \left( t - \frac{x}{U} \right) + \cos \omega \left( t + \frac{x}{U} \right) \right] = 2A \cos \omega \frac{x}{U} \cdot \cos \omega t;$$

(18.13)

$\omega = 2\pi/T$ ;  $UT = \lambda$  ekanligini hisobga olib, yuqoridagi ifodani quyidagicha yozamiz:

$$u = 2A \cos 2\pi \frac{x}{\lambda} \cos \omega t. \quad (18.14)$$

(18.14) turg'un to'lqin tenglamasidir.

Demak, turg'un to'lqin chastotasi uchrashayotgan to'lqinlar chastotasiga teng. Amplitudasi esa

$$A' = 2A \cos 2\pi \frac{x}{\lambda} \quad (18.15)$$

vaqtga bog'liq emas, biroq muhit zarralarining vaziyatini ifodalovchi X koordinataga bog'liq.

a)  $|\cos 2\pi \frac{x}{\lambda}| = 1$  bo'lgan nuqtalarda turg'un to'lqin amplitudasi maksimal qiymatga (2A) teng bo'ladi. Bu nuqtalar do'ngliklar deyiladi. Do'ngliklar  $2\pi \frac{x}{\lambda} = \pm n\pi$  ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ) shart bajarilgan nuqtalarda hosil bo'ladi. Bundan do'ngliklarni koordinatalari uchun

$$X = \pm n \frac{\lambda}{2} \quad (n = 0, 1, 2, \dots) \quad (18.16)$$

ifodani hosil qilamiz. Ikki qo'shni do'nglikni orasidagi masofani topamiz:

$$X_{n+1} - X_n = (n+1) \frac{\lambda}{2} - n \frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda}{2} \quad (18.17)$$

b)  $\cos 2\pi \frac{x}{\lambda} = 0$  bo'lgan nuqtalarda, turg'un to'lqinning amplitudasi ham nolga teng. Bu nuqtalarni tugunlar deyiladi. Demak, tugunlar

$$2\pi \frac{x}{\lambda} = t(2n+1) \pi/2 \quad (n = 0, 1, 2, \dots) \text{ shart bajarilgan nuqtalarda hosil bo'ladi.}$$

Bunday tugunlarning koordinatalari

$$X = \pm (2n+1) \frac{\lambda}{4} \quad (n = 0, 1, 2, \dots) \quad (18.18)$$

ifoda bilan aniqlanadi. Ikki qo'shni tugun orasidagi masofa

$$X_{n+1} - X_n = \left[ 2(n+1) \right] \frac{\lambda}{4} - (2n+1) \frac{\lambda}{4} = \frac{\lambda}{2} \text{ ga teng. Ixtiyoriy tugundan eng yaqin do'nglikkacha bo'lgan masofa}$$

$$(2n+1) \frac{\lambda}{4} - n \frac{\lambda}{4} = \frac{\lambda}{4} \quad (18.19)$$

Do'ngliklar va tugunlar bir-biridan to'liqning chorak uzunligi qadar masofada joylashgan bo'ladi.

*Monoxramatik to'liqlar interfeferniyasi.* Yuguruvchi to'liqindan farqli ravishda turg'un to'liqning energiya oqimi nolga teng. Buning sababi shundaki, turg'un to'liqni vujudga keltirayotgan qo'shiluvchi to'liqlar - tushayotgan va qaytayotgan to'liqlar qarama-qarshi yo'nalishlarda teng miqdordagi energiyani ko'chiradi. Turg'un to'liqning tugun nuqtalar oraligidagi to'liq energiyasi o'zgarmaydi. Faqat kinetik energiyaning potentsial energiyaga, potentsial energiyani esa, kinetik energiyaga aylanishlari sodir bo'ladi.

Biror asbob tebranishlarni qabul qilnayotgan bo'lsin; vaqt birligida asbob qabul qilgan tebranishlar sonini  $U'$  orqali belgilaymiz. Asbob va manbaning tebranishlar tarqalayotgan muhitga nisbatan harakatining turli hollari uchun  $U'$  va  $U$  orasidagi bog'lanishni tekshiraylik. Soddalik uchun, bu harakatlar manba bilan asbobni tutashtiruvchi to'g'ri chiziqli bo'yicha bo'layapti, deb faraz qilamiz.

Agar manba asbobga yaqinlashayotgan bo'lsa, uning muhitga nisbatan  $\vartheta$  tezligini musbat, agar manba asbobdan uzoqlashayotgan bo'lsa manfiy deb hisoblaymiz.

1. Qayd qiluvchi asbob va manba muhitga nisbatan harakat qilmaydi,  $\vartheta_0 = 0$   $\vartheta = 0$ ; to'liq birlik vaqt ichida  $\vartheta$  tezlik bilan  $\lambda$  masofani bosib o'tganligidan, asbob qabul qilgan tebranishlar soni

$$Y' = \frac{Y}{\lambda} = \frac{Y}{Y T} = \frac{1}{T} = \gamma \text{ ga teng bo'ladi, ya'ni birlik vaqt ichida asbob qabul}$$

qilgan tebranishlar soni birlik vaqt ichida manba chiqargan tebranishlar soniga teng.

2. Qayd qiluvchi asbob muhitga nisbatan  $\vartheta$  tezlik bilan harakatlanadi; manba qo'zg'almas ( $\vartheta_0 = 0$ ),  $\vartheta > 0$  bu holda, asbob to'liqlarga qarshi harakatlanayotganligi sababli, to'liqning natijali tezligi  $\vartheta_0 + \vartheta$  ga teng.

Asbobdan vaqt birligi ichida o'tgan to'liqlar soni:

$$\gamma' = \frac{\vartheta_0 + \vartheta}{\lambda} = \frac{\vartheta_0 + \vartheta}{\vartheta_0 T}; \quad \frac{1}{T} = \gamma \text{ bo'lganligi uchun:}$$

$$\gamma' = \left( 1 + \frac{\vartheta}{\vartheta_0} \right) \gamma \quad (18.20)$$

ya'ni asbob qabul qilgan to'liqlar soni manba chiqargan to'liqlar sonidan  $\left( 1 + \frac{\vartheta}{\vartheta_0} \right)$  marta katta.

Asbob yoki manba muhitga nisbatan harakatlanganda, asbob qayd qilgan tebranishlar sonining (chastotasini) o'zgarishi Dopler effekti deyiladi.

3. Manba muhitga nisbatan  $U$  tezlik bilan harakatlanadi; qayd qiluvchi asbob qo'zg'almas  $\vartheta = 0$ .

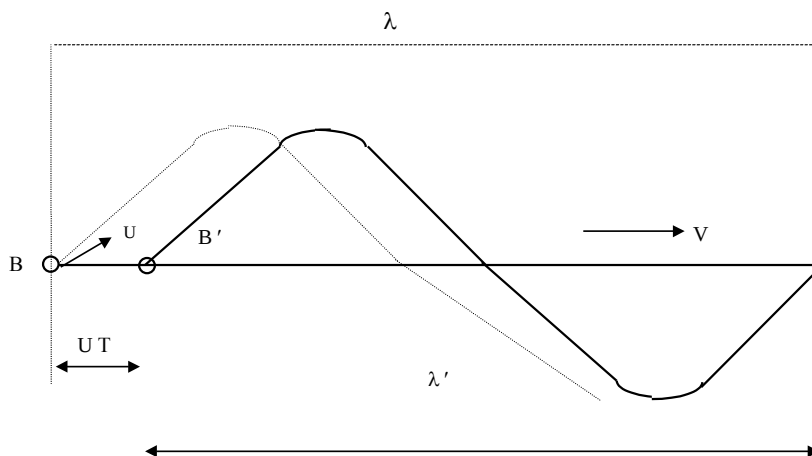
Tebranishlarning tarqalish tezligi faqat muhitning xossalarigagina bog'liq bo'lganidan, manbaning muhitga nisbatan harakat qilish- qilmasligidan qat'iy nazar, bir davrda tebranish oldinga qarab to'liq uzunligi  $\lambda$  qadar masofaga

tarqaladi; lekin shu vaqt ichida manba to‘lqin yo‘nalishda  $g_0 T$  masofani bosib o‘tadi, natijada to‘lqin uzunligi quyidagiga teng bo‘lib qoladi:

$$\lambda = \lambda - g_0 T = gT - g_0 T = (g - g_0)T. \quad (18.21)$$

To‘lqin uzunligi qisqargani sababli, asbob qabul qilgan tebranish soni (chastotasi) ortadi va quyidagiga teng bo‘ladi;

$$\gamma' = \frac{g}{\lambda} = \frac{g}{(g - g_0)T} \quad \text{yoki} \quad \gamma' = \frac{g}{g - g_0} \cdot \gamma \quad (18.22)$$



18.2-rasm

Ya'ni asbobning birlik vaqt ichida qabul qilgan tebranishlar soni  $\frac{g}{g - g_0}$  nisbatda ortadi.

Agar manba asbobdan uzoqlashayotgan bo‘lsa ( $g_0 < 0$ ), to‘lqin uzunligi  $\Delta\lambda = g_0 T$  qadar kattalashadi, asbob qabul qilgan tebranishlar soni kamayadi:  $\gamma' < \gamma$ .

4. Qayd qiluvchi asbob va manba bir vaqtda to‘lqin tarqalayotgan muhitga nisbatan harakat qiladi. ( $g_0 \neq 0$ ;  $g \neq 0$ ).

2 va 3 holatlarni hisobga olib, asbob qabul qilgan tebranishlar soni (chastotasi) quyidagiga teng deb yoza olamiz:

$$\gamma' = \frac{V + g}{\lambda - UT} = \frac{V + g}{V - U} \cdot \gamma \quad (18.23)$$

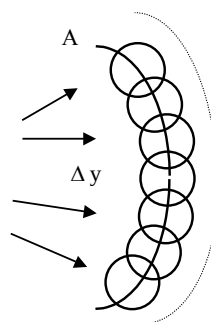
Shunday qilib,  $\gamma'$  asbobning muhitga nisbatan tezligi  $g$  ga va manbaning muhitga nisbatan tezligi  $U$  ga turlicha bog‘langan bo‘ladi.

Manbaning yoki qayd qiluvchi asbobning harakatiga bog‘liq ravishda tebranishlar sonining o‘zgarishini tovush qabul qilishda sezish oson. Tovush tebranishlarning chastotasi tovush sonini aniqlaydi: birlik vaqt ichidagi tebranishlar soni qancha ko‘p bo‘lsa, tovush soni shuncha baland bo‘ladi. Paravoz qichqirib kuzatuvchiga katta tezlik bilan yaqinlashib kelayotganda, shu narsani ravshan etish mumkinki, paravoz kuzatuvchi oldidan o‘tib, undan uzoqlashayotganda paravoz tovushining balandligi o‘zgaradi.

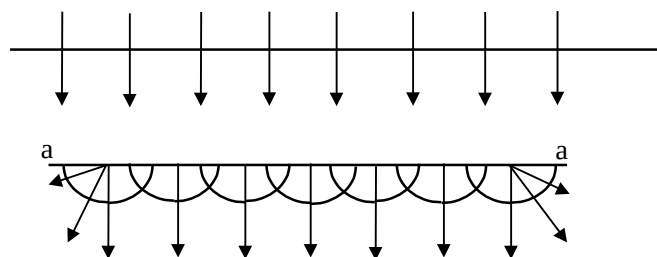
*To'lqinlar difraksiyasi.* To'lqinlarning o'z yo'lida to'siqqa uchrasa uning aylanib o'tishiga *difraksiya* deyiladi. To'lqinlarning tarqalishiga doir masalalarni echishda ko'pincha vaqtning berilgan boshlang'ich paytdagi to'lqin frontiga ko'ra vaqtning biror payti uchun to'lqin frontini yasashga to'g'ri keladi. Bu yasashni (1690 yili golland olimi) Gyugens printsipi deb ataladigan usul yordamida bajarish mumkin, uning mohiyati quyidagicha.

Deyarli bir jinsli muhitda tarqalayotgan to'lqin fronti vaqtning ayni shu paytda rasmdagi A holatda bo'lsin. Uning  $\Delta t$  sek dan keyingi vaziyatini topi sh talab qilinadi.

Gyugens printsipiga ko'ra, muhitning to'lqin etib borgan har bir nuqtasining o'zi ikkilamchi to'lqinlarning manbai bo'lib qoladi. Bu ikkilamchi to'lqinlarni yasash uchun dastlabki frontning har bir nuqtasi atrofida  $\Delta u = \vartheta \Delta t$  radiusli sfera chizamiz, bu erda  $\vartheta$  - to'lqinning tezligi. Ikkilamchi to'lqinlar dastlabki front harakatlanayotgan yo'nalishlardan boshqa barcha yo'nalishlarda so'nadi (bir-birini so'ndiradi). Tebranishlar ikkilamchi to'lqinlarning tashqi o'rovchisidagina saqlanadi ( $\vartheta$ ).



18.3-rasm

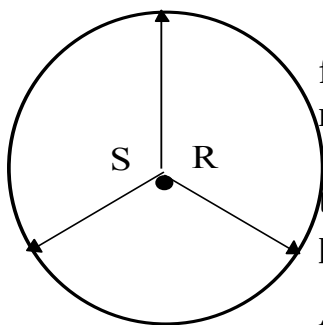


18.4-rasm

Misol sifatida Gyugens printsipini qo'llashga yassi to'lqinning o'lchami to'lqin uzunligidan katta bo'lgan tirqishli to'siqqa tushishini keltirish mumkin (18.3-rasm). To'lqin fronti (aa) to'siqqa etib borganda, tirqishning nuqtalari ikkilamchi to'lqinlarning manbalari bo'lib qoladi. Bu to'lqinlarni yasab, hamda ularning o'rovchisini chizib, tirqishdan o'tgan to'lqinning frontini hosil qilamiz.

Bu front faqat o'rta qismlaridagina yassi bo'ladi; tirqish chegaralarida to'lqin fronti to'siq ortiga egiladi, bu hodisa to'lqinlarning difraksiyasi deyiladi

**3. Bir o'lchamli to'lqin tenglamasi.** Shu vaqtgacha biz o'tgan mavzularda to'lqinlarning ma'lum bir yo'nalishda (chiziq bo'ylab) harakatini o'rgandik. Masalan sterjenlarda, havo ustunlarida, volnovodlarda va shunga o'hshash joylarda shunday bo'ladi. Umuman esa tutash muhitda bo'lgan tebranishlar manbaidan to'lqinlar hamma yo'nalishlar bo'ylab tarqaladi. Ayni shu tebranish manbaidan to'lqinlar bir vaqtda etib boradigan sirt to'lqin fronti deyiladi. To'lqin frontining shakli tebranishlar manbaining shakli va muhit xossalariga bog'liq bo'ladi. Tebranishlar manbai S nuqtaviy bo'lsa, deyarli bir jinsli muhitda to'lqin fronti sfera shaklida bo'ladi; bu sferaning R radiusi bo'lgan nurlar to'lqin frontiga perpendikulyardir. Ma'lumki  $R = \vartheta t$ , bu erda  $\vartheta$ -to'lqining tezligi, t- uning tarqalish vaqti. Sferik front hosil qiluvchi to'lqinlar sferik to'lqinlar deyiladi.



Sferik to‘lqin fronti shu bilan birga (izotrop muhitda) faza sirti yoki to‘lqin sirti ham bo‘ladi, ya’ni barcha nuqtalari bir xil fazada tebranuvchi sirt bo‘ladi.

Agar to‘lqin fronti tekislikdan iborat bo‘lsa, bunday to‘lqin tekis (yassi) to‘lqin deyiladi. Bu holda nurlar o‘zaro parallel bo‘ladi.

Agar so‘nishni hisobga olinmasa, to‘lqin frontining tebranishlar manbaidan uzoqlashishi bilan yassi to‘lqinning intensivligi o‘zgarmaydi, chunki front maydoni (yuzi)

o‘zgarmasdan qoladi.

Sferik to‘lqinning intensivligi  $I$  esa boshqacha bo‘ladi. Vaqt birligi ichida to‘lqin frontining butun maydoni  $S$  bo‘ylab olib o‘tilgan  $W$  tebranish energiyasi energiyaning saqlanish qonuniga muvofiq doimiy qoladi. Biroq front tebranishlar manbaidan uzoqlashgan sari  $S$  maydon masofa kvadratiga proporsional ravishda ortib boradi, chunki  $S=4\pi u^2$ . Shuning uchun

$$I = \frac{W}{S} = \frac{W}{4\pi u^2} \quad (18.24)$$

ya’ni sferik to‘lqinning intensivligi frontning tebranishlar manbaidan uzoqligi kvadratiga ( $u^2$ ) teskari proporsional ravishda o‘zgaradi. To‘lqinning intensivligi

$$I=\Omega\vartheta=1/2\rho\vartheta\omega^2A^2 \quad (18.25)$$

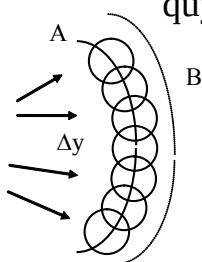
( $\rho$ -muhit zichligi,  $\omega$ -doiraviy chastota,  $A$ -to‘lqin amplitudasi)ga asosan, to‘lqinning intensivligi amplitudaning kvadratiga proporsional  $I\sim A^2$ , shuning uchun  $A\sim 1/u$ , ya’ni sferik to‘lqinning amplitudasi to‘lqin frontining tebranishlar manbaidan uzoqligiga teskari proporsional bo‘ladi. U holda to‘lqin tenglamasi

$$x=A\sin 2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{y}{\lambda}\right) \quad (18.26)$$

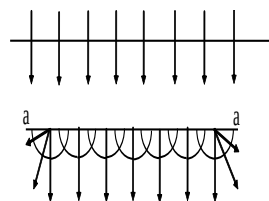
formulada  $A$  ni  $A/u$  ga almashtirib, sferik to‘lqinning quyidagi tenglamasini hosil qilamiz:

$$x=A/u \cdot \sin 2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{y}{\lambda}\right) \quad (18.27)$$

To‘lqinlarning tarqalishiga doir masalalarni echishda ko‘pincha vaqtning berilgan boshlang‘ich paytdagi to‘lqin frontiga ko‘ra vaqtning biror payti uchun to‘lqin frontini yasashga to‘g‘ri keladi. Bu yasashni (1690 yili golland olimi) Gyugens printsipi deb ataladigan usul yordamida bajarish mumkin, uning mohiyati quyidagicha.



18.6-rasm



18.7-rasm



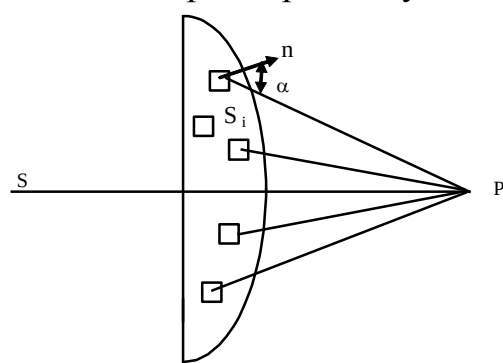
Deyarli bir jinsli muhitda tarqalayotgan to‘lqin fronti vaqtning ayni shu paytda rasmdagi A holatda bo‘lsin. Uning  $\Delta t$  sek dan keyingi vaziyatini topi sh talab qilinadi.

Gyugens printsipiga ko‘ra, muhitning to‘lqin etib borgan har bir nuqtasining o‘zi ikkilamchi to‘lqinlarning manbai bo‘lib qoladi. Bu ikkilamchi to‘lqinlarni yasash uchun dastlabki frontning har bir nuqtasi atrofida  $\Delta u = \vartheta \Delta t$  radiusli sfera chizamiz, bu erda  $\vartheta$  - to‘lqinning tezligi. Ikkilamchi to‘lqinlar dastlabki front harakatlanayotgan yo‘nalishlardan boshqa barcha yo‘nalishlarda so‘nadi (bir-birini so‘ndiradi). Tebranishlar ikkilamchi to‘lqinlarning tashqi o‘rovchisidagina saqlanadi ( $\vartheta$ ).

Misol sifatida Gyugens printsipini qo‘llashga yassi to‘lqinning o‘lchami to‘lqin uzunligidan katta bo‘lgan tirqishli to‘siqqa tushishini keltirish mumkin (18.5-rasm). To‘lqin fronti (aa) to‘siqqa etib borganda, tirqishning nuqtalari ikkilamchi to‘lqinlarning manbalari bo‘lib qoladi. Bu to‘lqinlarni yasab, hamda ularning o‘rovchisini chizib, tirqishdan o‘tgan to‘lqinning frontini hosil qilamiz.

Bu front faqat o‘rta qismlaridagina yassi bo‘ladi; tirqish chegaralarida to‘lqin fronti to‘siq ortiga egiladi, bu hodisa to‘lqinlarning difraktsiyasi deyiladi.

Biroq difraktsiya hodisasini Gyugens printsipi asosida tushuntirib bo‘lmaydi, chunki bu printsip turli yo‘nalishlarda tarqalayotgan to‘lqinlarning amplitudasi



18.8-rasm

haqida hech narsa demaydi, binobarin, to‘lqin fronti bo‘ylab intensivlikning taqsimlanishi javobsiz qoladi. Gyugens printsipining bu kamchiligini 1815 yilda frantsuz fizigi Frenel bartaraf qildi. Frenel bu printsipni ikkilamchi to‘lqinlarning interferentsiyasi haqidagi qoida bilan to‘ldirdi.

Frenel qoidasiga ko‘ra, ixtiyoriy R nuqtaga birlamchi S manbadan kelayotgan to‘lqinni biror F to‘lqin frontining ko‘plab  $\Delta S_i$  elementar ikkilamchi manbalaridan kelayotgan ikkilamchi to‘lqinlarning interferentsiyasi deb qarash kerak. Bu holda R nuqtada to‘lqinning intensivligi barcha ikkilamchi to‘lqinlarni qo‘shish bilan hosil qilinadi. Bu Gyugens-Frenel printsipi deb ataladi va to‘lqinni tarqalishiga doir ko‘p masalalarni echishda qulaylik yaratdi.

Bo‘ylama to‘lqinlarning tarqalish tezligi  $\vartheta$ , nazariyaning ko‘rsatishicha, muhitning elastiklik koeffitsienti  $\alpha$  va uning zichligi  $\rho$  dan oligan kvadrat ildizga teskari proporsionaldir:

$$\vartheta = \sqrt{\frac{1}{\alpha \rho}} \quad (18.28)$$

Bu munosabat taqriban quyidagi munosabatga teng:

$$\mathcal{G} = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (18.29)$$

$\alpha=1/E$  - silindrik hajm uchun elastiklik koeffitsienti;  $E$  - YUng moduli.

Demak, bo'ylama to'lqinlarning elastik muhitda tarqalish tezligi YUng modulining kvadrat ildiziga to'g'ri proportsional va muhit zichligining kvadrat ildiziga teskari proportsional ekan.

Shuningdek ko'ndalang to'lqinlarning elastik muhitda tarqalish tezligi quyidagi tenglama

$$\mathcal{G} = \sqrt{\frac{N}{\rho}} \quad (18.30)$$

bilan aniqlanadi, bunda  $N$  - siljish moduli.

U o'qi bo'ylab tarqalayotgan va

$$x = a \cos \omega(t - \frac{y}{\mathcal{G}}) \quad (18.31)$$

tenglama bilan ifodalanuvchi to'lqinni ko'z oldiga keltiraylik.

Muhitning bu to'lqin tarqalayotgan bo'lagidagi energiya kinetik energiya  $E_k$  va potentsial energiya  $E_p$  dan iborat. Muhitning bu bo'lagining hajmi  $\tau$  bo'lsin; uning massasini  $m$  va zarralar siljishining tezligini  $\mathcal{G}$  bilan belgilaymiz; u holda kinetik energiya

$$E_k = \frac{1}{2} m \mathcal{G}^2; \quad m = \rho \tau; \quad \mathcal{G} = dx/dt = -a\omega \sin \omega(t - \frac{y}{\mathcal{G}})$$

bo'lgani uchun

$$E_k = \frac{1}{2} \rho \tau a^2 \omega^2 \sin^2 \omega(t - \frac{y}{\mathcal{G}}) \quad (18.32)$$

ko'rinishda yozamiz.

$\Delta L/L$  nisbiy deformatsiyaga ega bo'lgan qattiq jismning potentsial energiyasi,

$$E_p = \frac{1}{2} (ES/L) \Delta L^2$$

$\alpha = 1/E$  ni hisobga olib va tenglamani o'ng tomonini  $\Delta L/L$  ga ko'paytirib

$E_p = 1/2 (1/\alpha)(\Delta L/L)^2 \cdot LS$  ifodani xosil qilamiz. Bu erdagi  $LS$  ko'paytma deformatsiyalanayotgan jismning hajmi  $\tau$  ni ifodalaydi;  $\Delta L/L$  nisbiy deformatsiyani  $dx/dy$  shaklda ifodalash mumkin: bunda  $dx$  bir-biridan  $dy$  masofadagi nuqtalar siljishlarining ayirmasi.

$$E_p = 1/2 (1/\alpha)(dx/dy)^2 \tau \quad (18.33)$$

(18.31) dan;  $dx/dy = a\omega/V \sin \omega(t-y/V)$ . ekanligini topib, potentsial energiyani quyidagicha yozamiz.

$$\dot{E}_p = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\alpha} \right) \frac{\epsilon^2 \omega^2 \tau}{\mathcal{G}^2} \sin^2 \omega \left( t - \frac{y}{\mathcal{G}} \right) \quad (18.34)$$

(18.34) va (18.35) ni qo'shib muhit hajmining  $\tau$  bo'lagidagi to'la energiya  $E$  ni topamiz.

$$E = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\alpha g^2} + \rho \right) a^2 \omega^2 \tau \sin^2 \omega \left( t - \frac{y}{g} \right). \quad (18.35)$$

tengmani hisobga olsak E ning ko‘rinishi quyidagicha bo‘ladi:

$$E = \rho a^2 \omega^2 \tau \sin^2 \omega \left( t - \frac{y}{g} \right) \quad (18.36)$$

Demak to‘lqin energiyasi tebranish amplitudasining kvadratiga, chastotasining kvadratiga va muhitning zichligiga proportsionaldir.

Energiya zichligi

$$\varepsilon = \frac{\dot{F}}{\tau} \rho a^2 \omega^2 \sin^2 \omega \left( t - \frac{y}{g} \right) \quad (18.37)$$

energiya zichligining o‘rtacha qiymati:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{2} \rho a^2 \omega^2 \quad (18.38)$$

Tebranishlar tarqalayotgan yo‘nalishga tik joylashgan sirt orqali o‘tadigan o‘rtacha energiya oqimi energiyaning o‘rtacha zichligi bilan to‘lqin tarqalish tezligining va sirt kattaligining ko‘paytmasiga teng.

$$\bar{E} = \bar{\varepsilon} S \quad (18.39)$$

Birlik yuzadan vaqt birligi ichida oqib o‘tuvchi energiya miqdori  $\bar{W}$  oqim zichligi deyiladi.

$$\bar{W} = \frac{\dot{F}}{S} = \bar{\varepsilon} g \quad (18.40)$$

Tezlik  $g$  vektor bo‘lgani uchun, energiya oqim zichligini ham to‘lqin tarqalayotgan tomonga yo‘nalgan vektor deb qarash mumkin. Bunday vektorni birinchi bo‘lib, Moskva universitetining professori N.A.Umov kiritgan va u Umov vektori deyiladi.

Agar nuqtaviy manbadan tarqalayotgan sferik to‘lqinga ega bo‘lsak, bu holda energiya oqimining o‘rtacha zichligi manbagacha bo‘lgan masofaning kvadratiga (R) teskari proportsional bo‘ladi.

$$\bar{W} = \frac{\dot{F}}{4\pi R^2} \quad (18.41)$$

Tovush to‘lqinlari tarqaladigan asosiy muhit havo bo‘lgani uchun, elastik to‘lqinlarning gazda tarqalish tezligi masalasini qaraymiz.

Tovush tebranishlari gazning siqilish va siyraklanishlarini adiabatik protsesslar deb hisoblash mumkin bo‘ladigan darajada tez yuz beradi, shuning uchun gaz xolatining o‘zgarishi Puasson formulasini qanoatlantiradi.  $\rho g^\gamma = \text{const.}$

$\gamma = \frac{C_p}{C_g}$  - gazning o‘zgarmas hajmdagi ( $S_g$ ) va o‘zgarmas bosimdagi ( $S_p$ ) issiqlik sig‘imlarining nisbati.

$E = \gamma r$  - gazlar uchun yung moduli (r-gaz bosimi). Gazning zichligi  $\rho = \frac{p \mu}{R T}$  (R-gaz doimiysi) Bularni hisobga olsak, (18.42) formula quyidagi ko‘rinishga keladi:

$$\vartheta = \sqrt{\frac{\gamma R T}{\mu}} \quad (18.42)$$

Demak, berilgan gazda tovush to'liqlarining tarqalish tezligi apsalyut temperatura  $T$  ning kvadrat ildiziga to'g'ri proporsional va gaz bosimi  $r$  ga bog'liq emas.

#### 4. Tovush to'liqlari. Ulro tovush. Tovushning balandligi, bosimi va uning energiyasi.

*Tovush to'liqlari.* Tovush to'liqlari tarqaladigan asosiy muhit havo bo'lgani uchun, elastik to'liqlarning gazda tarqalish tezligi masalasini qaraymiz.

Tovush tebranishlari gazning siqilish va siyraklanishlarini adiabatik protsesslar deb hisoblash mumkin bo'ladigan darajada tez yuz beradi, shuning uchun gaz xolatining o'zgarishi Puasson formulasini qanoatlantiradi.  $\rho \vartheta^\gamma = \text{const}$ .

$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$  - gazning o'zgarish hajmdagi ( $S_v$ ) va o'zgarish bosimdagi ( $S_p$ ) issiqlik sig'irlarining nisbati.

$E = \gamma r$  - gazlar uchun yung moduli ( $r$ -gaz bosimi). Gazning zichligi  $\rho = \frac{p \mu}{R T}$  ( $R$ -gaz doimiysi) Bularni hisobga olsak, (18.43) formula quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\vartheta = \sqrt{\frac{\gamma R T}{\mu}} \quad (18.43)$$

*Ulro tovush.* Berilgan gazda tovush to'liqlarining tarqalish tezligi apsalyut temperatura  $T$  ning kvadrat ildiziga to'g'ri proporsional va gaz bosimi  $r$  ga bog'liq emas.

Havoda tarqalayotgan elastik to'liqlarning chastotasi taxminan 20 dan 20000  $\text{z}u$  oralig'ida bo'lsa, u holda ular inson qulog'ida tovush sezgisini uyg'otadi. Shuning uchun chastotasi ana shu ko'rsatilgan chegarada yotgan istalgan muhitdagi elastik to'liqlar tovush to'liqlari yoki to'g'ridan to'g'ri tovush deb ataladi. Chastotasi 20  $\text{z}u$  dan kichik bo'lgan elastik to'liqlar infratovush deb ataladi: chastotasi 20000  $\text{z}u$  dan katta bo'lgan to'liqlar ultrotovush deyiladi. Infra va ultratovushlarni inson qulog'i eshitmaydi.

*Tovushning balandligi, bosimi va uning energiyasi.* Tovush to'liqlari energetic xarakteristikasi tovush intensivligi hisoblanadi va u tovush bosimi amplitudasiga bog'liq bo'ladi. Gazdagi elastik to'liq gazning fazoda galma - gal nuqtasida o'rtacha  $\rho$  qiymatidan davriy ravishda  $\Delta p$  ga og'ib turadi. Shunday qilib fazoning biror nuqtasidagi bosimning oniy qiymatini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$P' = p + \Delta p \quad (18.44)$$

$$\Delta p = p' - p = -\gamma p \frac{\partial \xi}{\partial x} \quad (18.45)$$

Bu yerda  $\gamma$  - birga yaqin son  $\left| \frac{\partial \xi}{\partial \chi} \right| \approx \left| \frac{\Delta p}{p} \right|$

Tovush to'liqlarining tezligi bilan bosimi orasidagi bog'lanish.

$$g = \sqrt{\gamma \frac{p}{s}}$$

Bu yerda  $p$  va  $p'$  to'liqlanmagan gazning bosimi va hajmi  $p'$  to'liqlangan gaz bosimi tovush to'liql bosimi db (Debey) larda o'lchanadi. Odam eshitadigan tovush bosimi  $p = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa. Bu vaqtda detsibellar soniga  $N=20$  la  $(p/p_0)$  teng bo'ladi. Shunday qilib eshitiladigan tovush to'liqlari bosimi  $10^{-5} : 10^3$  Pa intervalida bo'ladi.

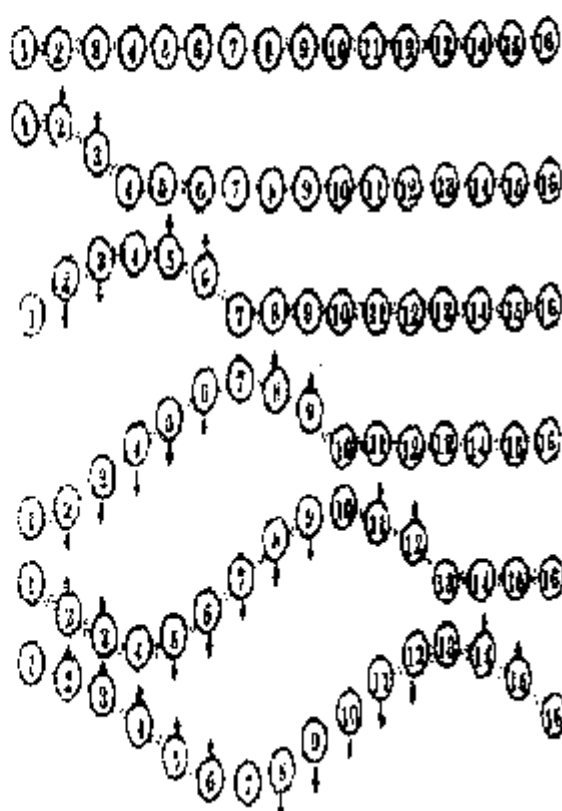
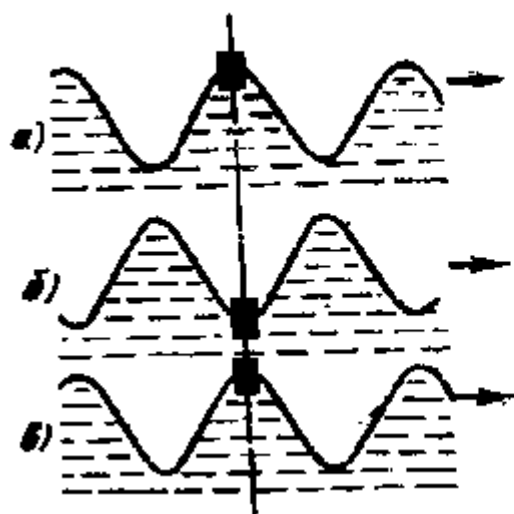
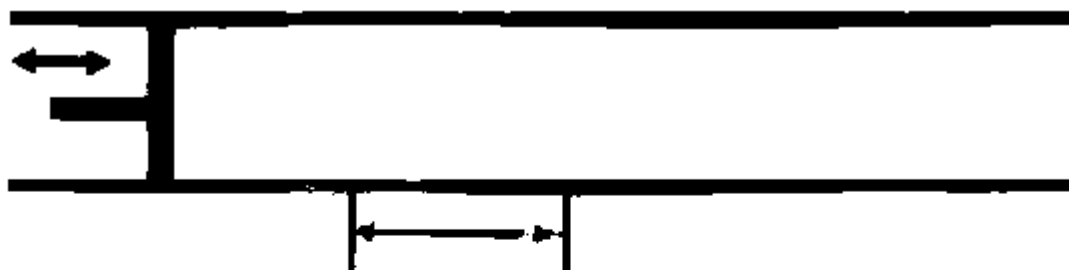
### **MAVZUNI MUSTAXKAMLASH UCHUN SAVOLLAR.**

1. Bo'ylama to'liql deb qanday to'liqlga aytiladi
2. Ko'ndalang to'liql qanday hosil bo'ladi
3. Umov vektorini tushuntiring.
4. Gyugens-Frenel printsiplini tushuntiring.
5. Elektromagnit to'liqlning fazoviy tezligini tushuntiring.

### **Uyga vazifa:**

1. To'liqlar tenglamasi.
2. Dopler effekti
3. Yopiq hajmdagi tovush to'liqlari.
4. Rezonatorlar.

18- maruza ilovalari.



## To'lqin energiyasi

$$E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} = \frac{1}{2}\rho A^2\omega^2 \sin^2 \omega(t - \frac{x}{u})\Delta V$$

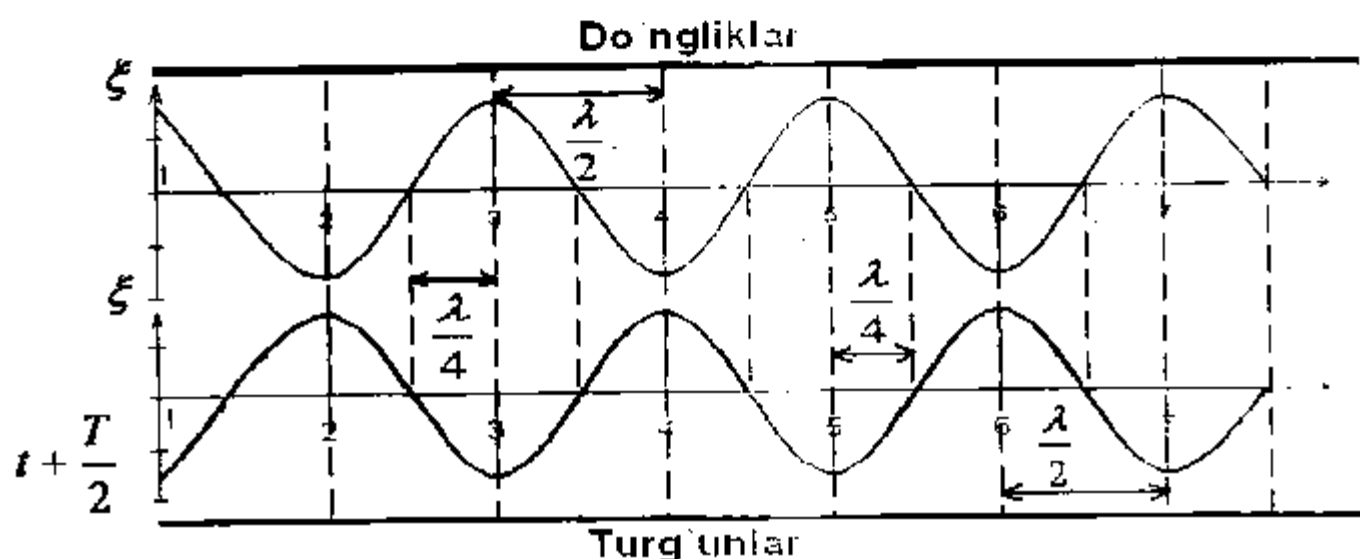
$$W = E + U = \rho A^2\omega^2 \sin^2 \omega(t - \frac{x}{u})\Delta V$$

$$\omega = \frac{W}{\Delta V} \rho A^2\omega^2 \sin^2 \omega(t - \frac{x}{u})\Delta V$$

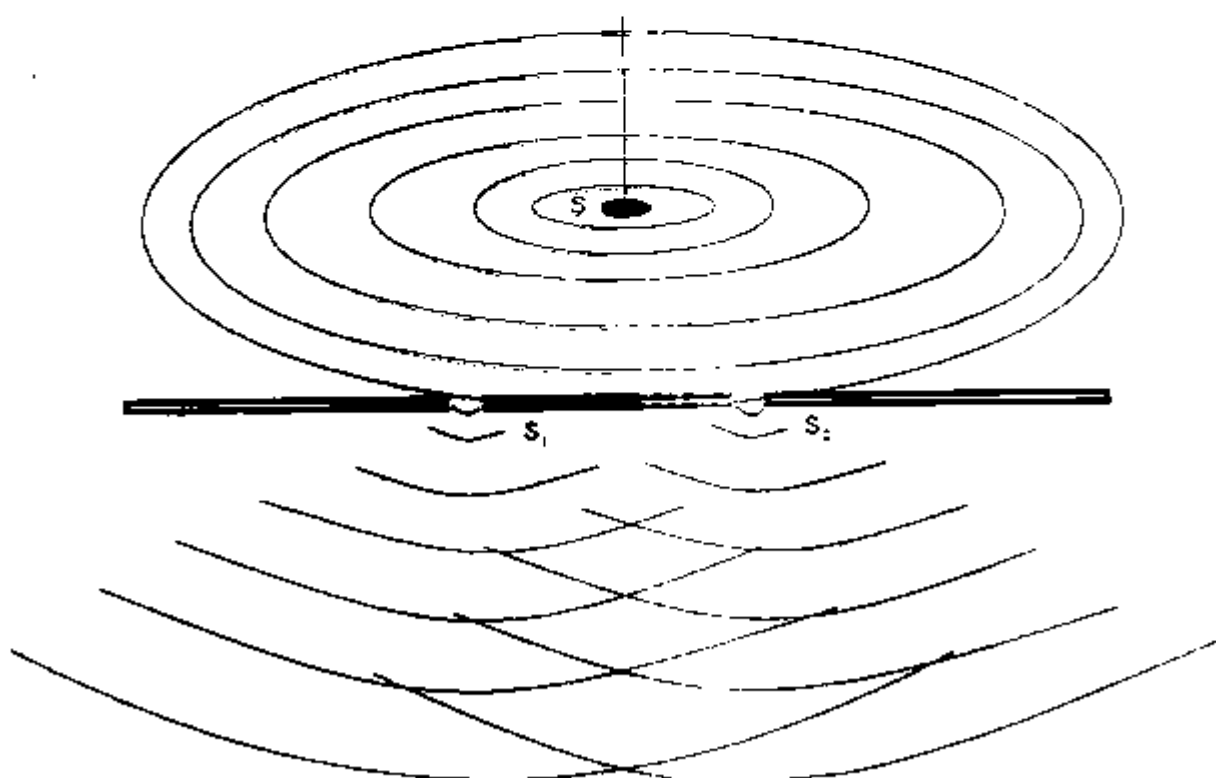
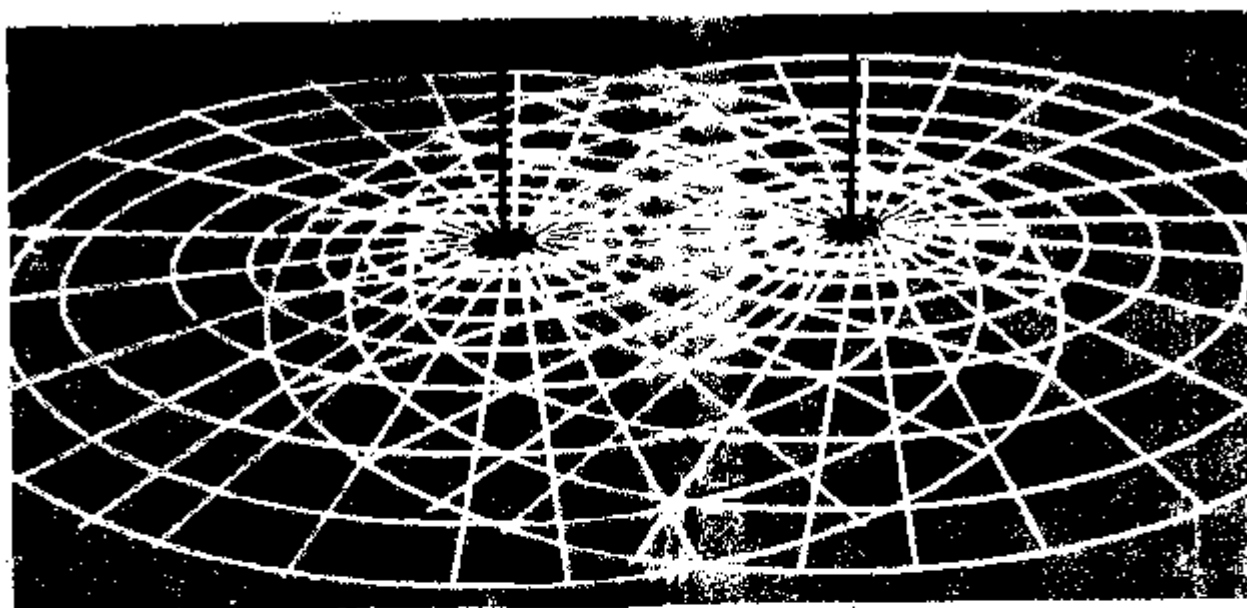
$$\omega_{o' r} = \frac{1}{2}\rho A^2\omega^2$$

$$\xi_1 = A \cos \omega(t - \frac{x}{u})$$

$$A_1 = 2A \cos 2\pi \frac{x}{\lambda}$$



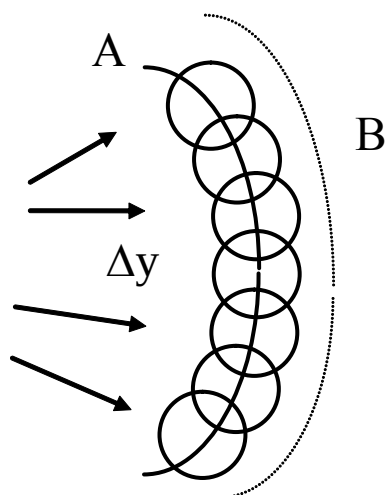
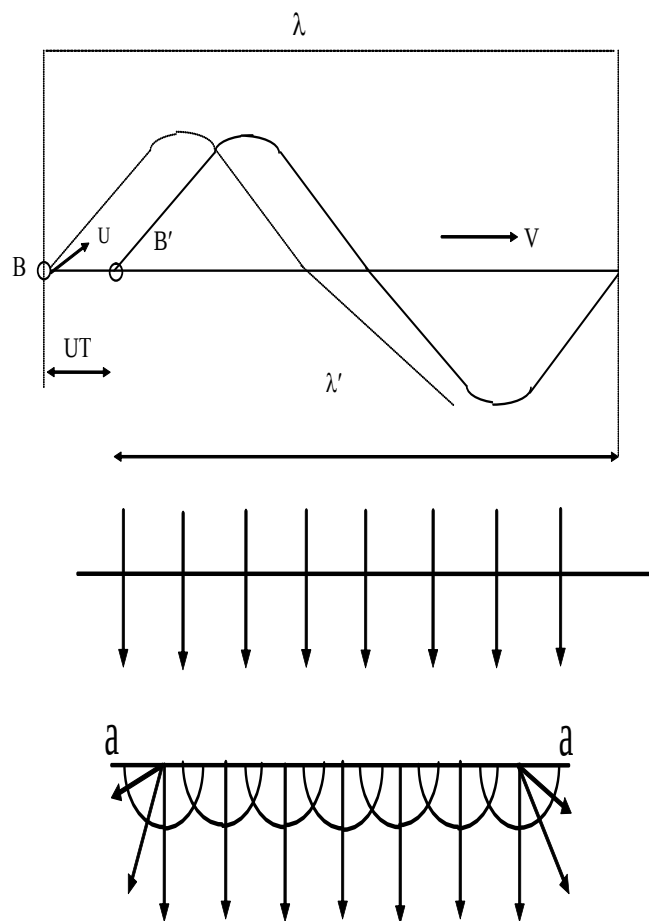
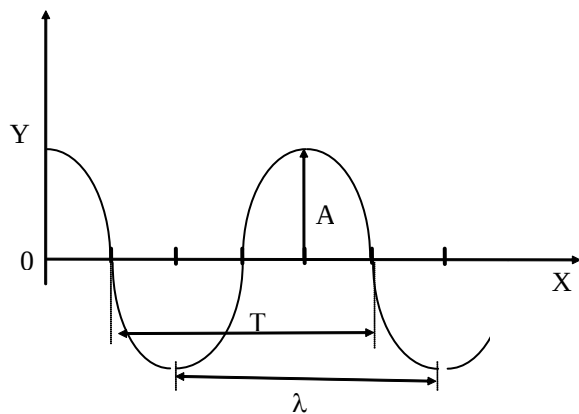
# To'lqin interferensiyasi



$S$  - to'lqin manbasi

$S_1 S_2$  - bir xil o'lchamli tirqishlar





**To'lqin tenglamasi.** Yassi to'lqinlar tenglamasi:

$$\xi = a \cos \omega \left( t - \frac{x}{v} \right)$$

$$\frac{dx}{dt} = v$$

**Turg'un to'lqinlar tenglamalari:**

$$\varepsilon_1 = A \cos \omega \left( t - \frac{x}{u} \right);$$

Turg'un to'lqin chastotasi uchrashayotgan to'lqinlar chastotasiga teng.  
Ampulitudasi esa

$$2A \cos 2\pi \frac{x}{\lambda}$$

## **Adabiyotlar.**

1. I.V.Savelyev. "Umumiy fizika kursi." I-qism. Toshkent: O'qituvchi,1973 y.
2. I.V.Savelyev. "Umumiy fizika kursi." II-qism. Toshkent: O'qituvchi,1973 y.
3. I.V.Savelyev. "Umumiy fizika kursi." III-qism. Toshkent: O'qituvchi,1973 y.
4. S.X. Astanov, M.Z. Sharipov, N.N. Dalmuradova, M.Sh.Ivayev "Fizik kattaliklar va ularning o'lchov biriliklari" elektron o'qitish kursi EHM uchun yaratilgan dastur. O'zbekiston Respublikasi davlat patent idorasi GUVOHNOMA № DGU 00975 Toshkent, 12 iyul 2005 y.
- 5.С.Х.Астанов, М.З.Шарипов, Н.Н.Далмурадова, М.Ш.Иваев «Физические величины и единицы их измерений» электрон ўқитиш курси ЭХМ учун яратилган дастур. Ўзбекистон республикаси давлат патент идораси ГУВОҲНОМАСИ № DGU 00974, Тошкент, 12 июл 2005 й.
- 6.A.G.G'aniyev, A.K.Avliyoqulov, G.A.Almardonova "Fizika" I qism Toshkent 2007 y.
7. S.X.Astanov, M.Z.Sharipov, N.N.Dalmuradova, R.V.Metanidze "Umumiy fizika kursining elektr bo'limidan" elektron darslik.

## MUNDARIJA.

|                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. MEXANIKA HAQIDA UMUMIY MA'LUMOT.....                                             | 3   |
| 2. KINEMATIKANING ELEMENTLARI. NUQTANI AYLANA BO'YLAB<br>HARAKATI.....              | 10  |
| 3. MODDIY NUQTA DINAMIKASI.....                                                     | 22  |
| 4. NOINERSIAL SANOQ TIZIMLARI.....                                                  | 30  |
| 5. QATTIQ JISMLARNING DEFORMATSIYASI.....                                           | 38  |
| 6. QATTIQ JISM HARAKATIDAGI SAQLANISH QONUNLAR. ISH,<br>QUVVAT VA ENERGIYA.....     | 49  |
| 7. MEXANIKADA NISBIYAT NAZARIYASI.....                                              | 60  |
| 8. YAXLIT MUHIT ELEMENTLARI. SUYUQLIK VA GAZLAR<br>STATISTIKASI .....               | 67  |
| 9. YOPISHQOQ SUYUQLIK VA UNING GIDRODINAMIKASI.....                                 | 76  |
| 10. STATISTIK FIZIKA VA TERMODINAMIKA.....                                          | 81  |
| 11. SATISTIK TAQSIMOTLAR. MOLEKULALARNING O'RTACHA<br>KINETIK ENERGIYASI.....       | 88  |
| 12. TERMODINAMIKA ASOSLARI.....                                                     | 101 |
| 13. KO'P ATOMLI GAZLARNING ISSIQLIK SIG'IMI. TERMODINAMIKA<br>II VA III QONUNI..... | 108 |
| 14. REAL GAZLAR VA SUYUQLIKLAR.....                                                 | 122 |
| 15. QATTIQ JISMLAR.....                                                             | 136 |
| 16. KO'CHISH HODISALARI.....                                                        | 149 |
| 17. TEBRANISHLAR SO'NUVCHI VA MAJBURIY<br>TEBRANISHLAR.....                         | 158 |
| 18. TO'LQIN JARAYONLARI.....                                                        | 175 |
| 19. ADABIYOTLAR.....                                                                | 194 |

